

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 23

Маріуполь

2020

УДК 001:65

doi.org/10.31498/2522-9990222020

Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. Вип. 23 / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, ПДТУ, 2020. – 486 с.

Редакційна колегія

Angeliki G. Lekatou: Dr., PhD (Chemical Metallurgy), Professor, Director of the Applied Metallurgy Laboratory, University of Ioannina (UOI), Greece, h-індекс: 20

Hossam Ahmed Mohamed Halfa: Dr., PhD (Metallurgy), Associate professor, Central Metallurgical Research & Development Institute, Cairo, Egypt, h-індекс: 4

Sergey Edward Lyshevski: Dr., PhD (Electrical Engineering), Professor of electrical engineering department of electrical and microelectronic engineering, Rochester Institute of Technology, New York, USA, h-індекс: 18

Блоконь К. В.: кандидат технічних наук (21.06.01 – Екологічна безпека; 183 Технології захисту навколишнього середовища), доцент, доцент кафедри прикладної екології та охорони праці, Запорізька державна інженерна академія, Україна, h-індекс: 3

Білоусов С. В.: кандидат технічних наук (05.08.05 – Суднові енергетичні установки; 142 Енергетичне машинобудування), доцент, декан факультету суднової енергетики, Херсонська державна морська академія, Україна, h-індекс: 1

Бурлака В. В.: доктор технічних наук (05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології; 132 Матеріалознавство), доцент, професор кафедри систем автоматизації і електроприводу, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 4

Бялобржеський О. В.: кандидат технічних наук (05.09.01 - Електричні машини й апарати; 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка), В. О. завідувачою кафедрою систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна, h-індекс: 2

Володарець М. В.: кандидат технічних наук (05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів; 273 Залізничний транспорт), старший викладач кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту, Український державний університет залізничного транспорту, Україна, h-індекс: 2

Гричук І. В.: доктор технічних наук (05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту; 271 Річковий та морський транспорт, 272 Авіаційний транспорт, 275 Транспортні технології (за видами), професор, Херсонська державна морська академія, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Україна, h-індекс: 5

Губинський М. В.: доктор технічних наук (05.14.06 – Технічна тепловітика та промислова теплоенергетика; 144 Теплоенергетика), професор, Національна металургійна академія України, професор кафедри промислової теплоенергетики, Україна, h-індекс: 1

Гулаков С. В.: доктор технічних наук (05.03.06 – Технологія і машини зварювального виробництва; 132 Матеріалознавство), професор, завідувач кафедри систем автоматизації і електроприводу, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 4

Жежеленко І. В.: доктор технічних наук (05.14.02 – Електричні станції, мережі й системи та управління ними; 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка), професор, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 2

Ковалевська О. С.: кандидат технічних наук (05.02.08 – Технологія машинобудування; 131 Прикладна механіка), доцент, доцент кафедри технології машинобудування, Донбаська державна машинобудівна академія, Україна, h-індекс: 1

Кухар В. В.: доктор технічних наук (05.03.05 – Процеси та машини обробки тиском; 132 Матеріалознавство), професор, завідувач кафедри обробки металів тиском, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 1

Лук'яненко А. О.: кандидат технічних наук (05.26.01 – Охорона праці; 263 Цивільна безпека), доцент, завідувач відділу проблем охорони праці і екології в зварювальному виробництві, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України, Україна, h-індекс: 1

Мазур В. О.: кандидат технічних наук (05.03.07 – Процеси фізико-технічної обробки; 132 Матеріалознавство), доцент, доцент кафедри нанотехнологій в галузевому машинобудуванні, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 2

Матвіснюк В. М.: доктор технічних наук (05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології; 132 Матеріалознавство), професор, завідувач кафедри автоматизації та механізації зварювального виробництва, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 2

Молчанова В. С.: кандидат технічних наук (05.13.06 – Інформаційні технології; 122 Комп'ютерні науки та інформаційні технології), доцент кафедри інформатики, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 1

Парфененко Ю. В.: кандидат технічних наук (05.13.06 – Інформаційні технології; 122 Комп'ютерні науки та інформаційні технології), доцент, старший викладач кафедри комп'ютерних наук, Сумський державний університет, Україна, h-індекс: 3

Петренко Т. Г.: кандидат технічних наук (05.13.03 – Системи та процеси керування; 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології), доцент, доцент кафедри інформаційних технологій, Український державний університет залізничного транспорту, Україна, h-індекс: 2

Плахтій О. А.: кандидат технічних наук (05.09.12 – Напівпровідникові перетворювачі електроенергії; 171 Електроніка), доцент, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Український державний університет залізничного транспорту, Україна, h-індекс: 2 **Сагіров Ю. Г.:** кандидат технічних наук (05.05.05 – Підійомно-транспортні машини; 133 Галузеве машинобудування), доцент, декан факультету інженерної та мовної підготовки, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 1

Саснюк Ю. Л.: доктор технічних наук (05.09.05 – Теоретична електротехніка; 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка), професор, декан енергетичного факультету, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 2

Сорочан О. М.: кандидат технічних наук (05.11.17 – Біологічні та медичні прилади і системи; 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, 163 Біомедична інженерія), старший викладач кафедри біомедичної інженерії, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 3

Ткачов В. В.: доктор технічних наук (05.13.07 – Автоматизація процесів керування; 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології), професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна, h-індекс: 2

Чейлях О. П.: доктор технічних наук (05.16.01 – Металознавство та термічна обробка металів; 132 Матеріалознавство, 136 Металургія), професор, проректор з науково-педагогічної роботи, науковий керівник кафедри матеріалознавства та перспективних технологій, ДВНЗ «Призовський державний технічний університет», Україна, h-індекс: 4

Ачкасова С. А.: кандидат економічних наук (08.00.08 – Гроші, фінанси і кредит; 051 Економіка, 072 Фінанси, банківська справа та страхування, 073 Менеджмент) доцент, доцент кафедри банківської справи і фінансових послуг, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна, h-індекс: 2

Мягих І. М.: доктор економічних наук (08.00.04 – Економіка та управління підприємствами; 051 Економіка, 073 Менеджмент, 075 Маркетинг, 076 Підприємство, торгівля та біржова діяльність) професор, завідувач кафедри підприємництва та бізнесу, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, h-індекс: 2

Галузь науки,
код (шифр) спеціальності або галузь знань, що відповідає категорії «Б» Переліку
наукових фахових видань України

Спеціальності:

- 131 - Прикладна механіка (02.07.2020)
- 132 - Матеріалознавство (02.07.2020)
- 133 - Галузеве машинобудування (02.07.2020)
- 136 - Металургія (02.07.2020)
- 271 - Річковий та морський транспорт (02.07.2020)
- 272 - Авіаційний транспорт (02.07.2020)
- 273 - Залізничний транспорт (02.07.2020)
- 274 - Автомобільний транспорт (02.07.2020)
- 275 - Транспортні технології (за видами) (02.07.2020)
- 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (24.09.2020)
- 142 - Енергетичне машинобудування (24.09.2020)
- 144 - Теплоенергетика (24.09.2020)
- 163 - Біомедична інженерія (24.09.2020)
- 171 - Електроніка (24.09.2020)
- 183 - Технології захисту навколишнього середовища (24.09.2020)
- 263 - Цивільна безпека (24.09.2020)

Головний редактор: **Чигарьов В. В.** Заступник головного редактора: **Анділахай О. О.**
Відповідальний секретар редакції: **Рассохін Д.О.** 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. Перереєстрований Державною
реєстраційною службою України 26.12.2016. Свідоцтво про державну реєстрацію – серія КВ
№ 22493-12393ПР. Збірник входить до Переліку наукових фахових видань України та
включений до категорії «Б», в якому можуть публікуватися основні результати
дисертаційних робіт (Наказ 24.09.2020 № 1188). Друкується згідно рішення Ученої Ради
ДВНЗ «ПДТУ» (**протокол № 6 від 30.01.2020 р.**). Видається 2 рази на рік.

© Приазовський державний технічний університет (ПДТУ), 2020

ЗМІСТ

Бурлаков В. І., Шабунін М. І., Костигов Б. О. Процес різання при вібно-магнітно-абразивної обробці (ВІМАО) надтвердої кераміки.....	12
Водзянский В. В., Потлов В. А., Бантюков В. В. Обробка точних (підшипникових) шийок валів на важких токарних верстатах в умовах ремонтного виробництва.....	18
Іванов Є. І., Сергієнко Ю. В. Дослідження можливостей підвищення довговічності механізму пересування візка вагоноштовхача ВРПД 93-110 за рахунок зниження паразитних навантажень	26
Каргін Б. С., Вороніна Н. А. Дослідження впливу поверхнево-плазмового зміцнення на зносостійкість штампового інструменту.....	35
Кухар В. В., Нагнібеда М. М. Напружено-деформований стан листової заготовки із врахуванням впливу властивостей матеріалів при гнутті з послідовним зменшенням внутрішнього радіусу	41
Потлов В. О., Водзянский В. В. Аналіз існуючих методів обробки деталей вільним абразивом	50
Потлов В. О. Огляд обладнання для відцентрової обробки деталей малої маси.....	57
Ширяєв О. В., Буцукін В. В., Ширяєв І. А., Грицюк А. О., Коршунов Є. Г. Дослідження профілю контактної поверхні при випробуваннях на опір контактної втоми....	67
Щетинін С. В., Никитенко П. В., Елсаєд Халед Ударна в'язкість при односторонньому високошвидкісному зварюванні труб для газо- і нафтопровідних магістралей.....	74
Щетиніна В. І., Коваль О. В., Елсаєд Халед Механізм підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків.....	80
Манойлов О. В., Гагарін В. О., Кудінова К. В. Здобутки і перспективи впровадження міжнародних стандартів інформаційного забезпечення інструментальних систем оброблення різанням	86
Сергєєв А. С. Розвиток теоретико-імовірнісного підходу до визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні	97
Новіков Ф. В., Новіков Д. Ф., Анділахай О. О., Анділахай В. О. Технологічне забезпечення параметрів точності та якості механічної обробки матеріалів різанням.....	106
Сагіров Ю. Г., Суглобов В. В. Методологічні основи застосуванням топологічної оптимізації та генеративного дизайну для удосконалення несучих елементів порталних кранів	116

Кривонос В. Є., Василенко В. В., Бухлал Н. А.

Розробка програмного забезпечення виявлення межвиткового замикання в статорних обмотках електродвигуна в умовах несиметрії напруг 130

Годун Т. М., Коваленко А. С., Бочарова О. А.

Цегляний стиль в екстер'єрі та інтер'єрі архітектурної спадщини та сучасності 141

Коваленко А. С., Гібаленко О. М., Бочарова О. А., Годун Т. Н.

Лінгвістичні дослідження термінологічних систем англійських технічних термінів у галузі будівництва та архітектури 149

Коваленко А. С., Бочарова О. А., Годун Т. М.

Застосування об'ємно-планувальних засобів забезпечення мікрокліматичних умов будівель цивільного призначення 157

Коваленко А. С., Бочарова О. А., Годун Т. Н.

Архітектурні та конструктивні заходи при проектуванні дитячих установ нового типу 165

Сілі І. І., Азархов О. Ю., Федюшко Ю. М., Головаха Р. В.

Фетальний пульсометр з мікропроцесорним управлінням 173

Юшкевич П. О., Юшкевич О. П.

Характеристика основних конструктивних параметрів продувних блоків для одноярусних та багатоярусних фурм 182

Аліпа М. Н., Куріленко А. Р., Волощук С. О.

Оцінка ефективності рекомендаційних систем iptv, що врахують неявні уподобання користувачів 193

Добровольська Л. О., Лісов Є. В.

АСУТП процесом прокатки заготовок в чорновій кліті ТЛС 203

Добровольська Л. О., Серета С. Є.

Модернізація асупт прокатки листа в чистовій кліті ТЛЦ 209

Кравченко А. О., Воротнікова З. Є.

Проектування автоматичної системи збору та аналізу відгуків та думок 217

Міроненко Д. С., Сезін Б. В.

Дослідження методів оптимального розподілу замовлень в центрах сервісного обслуговування 225

Міроненко Д. С., Резков Д. М.

Моделювання системи централізованого управління кондиціонуванням повітря в учбовому закладі з використанням алгоритму ройового інтелекту 232

Семусєв О. Р., Воротнікова З. Є.

Бот-консультант в телекомунікаційній компанії 239

Черевко О. О., Климов Б. А.

Система автоматичного контролю та регулювання рівня конденсату в барабані-сепараторі котла-утилізатора конвертерних газів з корекцією по тиску пари 247

Черевко О. О., Щербаков С. В., Шаповалов О. І.

Інваріантна система автоматичного регулювання рівня металу в кристалізаторі МБЛЗ.....256

Ясінська Т. А., Федотова Н. А., Вашенко С. М.

Веб-ресурс візуалізації 3d-моделей.....266

Остапенко А. О., Ліпунов Д. О.

Моделювання багатофазних течій засобами сучасних пакетів прикладних програм274

Щербаков С. В., Ісаєва Ю. С.

Математичне моделювання процесу управління нагріванням рейок в рейкогартівній машині.....287

Амурський Є. О., Кравченко В. П.

Система автоматичної корекції температури зон методичної печі при коливаннях типу (геометричних розмірів) і темпу прокатки нагрітих заготовок.....298

Проніна О. І., Ховалець А. С.

Профорієнтація з використанням експертного системного підходу305

Федосова І. В., Бухаров Д. В.

Визначення місцезнаходження пристрою за допомогою Wi-Fi - датчиків.....312

Федосова І. В., Сметаннікова Є. А.

Експертна система визначення захворювання за аналізом крові.....319

Койфман О. О., Горобченко М. О., Клімов Є. Г., Доля Д. Т.

Застосування інтелектуального аналізу архівної бази даних асупт в управлінні блоком доменних повітрянагрівачів.....327

Койфман О. О., Орехов М. В., Солдатов Д. В., Будур В. С., Голоядов А. В.

Управління нагріванням насадки доменного повітрянагрівача з використанням програми розрахунку горіння палива337

Федосова І. В., Осадчий М. С.

Система прогнозування стану автомобіля на основі статистичних даних діагностичного роз'єму OBD-II.....346

Кривенко О. В., Лемещенко М. І.

Дослідження методів моделювання траєкторії руху безпілотної літального апарату353

Абдулалімов В. Є., Дубовкіна М. Ю., Левицька Т. О., Хохлова К. Ю.

Моделювання процесів теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів.....361

Федосова І. В., Жуков Д. С.

Прогнозування просування баскетбольної команди в турнірі з використанням дерева рішень368

Левицька Т. О., Король М. Д.

Система підтримки рішення при управлінні запасами дрібнооптових товарів методами нечіткої логіки377

Зубко А. А., Койфман О. О.

застосування математичної моделі теплообміну для управління охолодженням злитку у кристалізаторі МБРЗ 388

Рубінський В. А., Койфман О. О., Федоренко Д. Ю.

Застосування частотно-регульованого приводу при управлінні витратою живильної води на випарну установку теплосилового цеху металургійного комбінату 397

Літвіненко А. А., Воротнікова З. Є.

Проектування системи формування мульті-іміджу користувача в мережі Інтернет 407

Щербаков С. В., Черевко О. О.

Математичне моделювання процесу кристалізації злитку 421

Самотугіна Ю. С., Джелалі В. О.

Система адаптивного управління плазмовим модифікуванням великогабаритних чавунних виробів 430

Зінченко С. Г., Хвостович В. Г.

Обґрунтування планування рівня надійності транспортних систем морських портів в період їх експлуатації 436

Коваленко І. В.

Етапи забезпечення надійності при експлуатації суднових енергетичних установок з застосуванням різнорідних сталей 443

Дакі О. А., Ткаченко В. В., Будолак С. Ю., Бажак О. В.

Модель роботи малорозмірного дизеля засобу колективного порятунку при виконанні стандартної рятувальної операції 451

Тахтамиш І. В., Аніщенко О. С., Тарасюк Л. І.

Використання інтелектуальної власності – ефективний шлях підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств 459

Волошин В. С.

Термодинаміка відходоутворення і стратегія розвитку сучасних енергетичних технологій 469

Новини України та світу 481

Вимоги до публікацій 483

CONTENTS

Burlakov V. I., Shabunin M. I., Kostygov B. A. <i>Cutting process at vibro-magnetic-abrasive treatment over hard ceramics</i>	12
Vodzyansky V. V., Potlov V. A., Bantyukov V. V. <i>Finishing precise (bearing) shaft neckles on a heavy lathe under repair conditions</i>	18
Ivanov E. I., Sergienko Yu. V. <i>Research of possibilities for increasing the durability of the movement movement trolley of VARPD 93-110 car trolley because of reducing variable loads</i>	26
Kargin B. S., Voronina N. A. <i>Investigation of the effect of surface-plasma hardening on the wear resistance of a punch tool</i>	35
Kukhar V. V., Nahnibeda M. M. <i>Stress-deformed state of sheet blank considering the influence of the material properties during bending with constantly decreasing inner radius</i>	41
Potlov V. O., Vodzianskyi V. V. <i>Analysis of existing methods of processing parts with free abrasive</i>	50
Potlov V. O. <i>Overview of centrifugal parts machining equipment low mass</i>	57
Shiryaev A. V., Butsukin V. V., Shiryaev I. A., Gritsyuk A. A., Korshunov E. G. <i>Modeling and re-engineering of information protection processes based on graphic theory and idef methodology</i>	67
Shchetinin S. V., Nikitenko P. V., Elsaed Khaled <i>The impact toughness at the one-sided high-speed welding of pipes for gas and oil pipelines</i>	74
Shchetinina V. I., Koval A. V., Elsaed Khaled <i>The banded support rolls crack resistance increase mechanism</i>	80
Manoilov O. V., Haharin V. O., Kudinova K. V. <i>Achievements and prospects of implementation of international standards of information support of instrumental cutting processing systems</i>	86
Serhieiev A. S. <i>Development of theoretical-probability approach to determining the parameters of surface roughness during grinding</i>	97
Novikov F. V., Novikov D. F., Andilakhai O. O., Andilakhai V. O. <i>Technological support of parameters of accuracy and quality of mechanical processing of materials by cutting</i>	106

Sahirov Yu. G., Suglobov V. V. <i>Methodological fundamentals of application of topological optimization and generative design for improvement of elements of portal crane</i>	116
Krivonosov V. E., Vasilenko V. V., Bouhlal N. A. <i>Development of software for detecting an inter-turn fault in the stator windings of an electric motor under conditions of voltage asymmetry</i>	130
Hodun T. M., Kovalenko A. S., Bocharova O. A. <i>Brick style in the exterior and interior of the architectural heritage and modernity</i>	141
Kovalenko A. S., Gibalenko O. M., Bocharova O. A., Hodun T. M. <i>Linguistic research of terminological systems english technical terms in the field of construction and architecture</i>	149
Kovalenko A. S., Bocharova O. A., Hodun T. M. <i>Application of volume-planning means of providing microclimate conditions of civil buildings</i>	157
Kovalenko A. S., Bocharova O. A., Hodun T. M. <i>Architectural and constructive measures when designing new type children's institutions</i>	165
Sili I. I., Azarkhov O. Yu., Fediushko Yu. M., Golovakha R. V. <i>Fetal heart rate monitor with microprocessor control</i>	173
Yushkevich P. O., Yushkevich O. P. <i>Characteristics of the main constructive parameters of supply blocks for single-tier and multi-tier tuyere</i>	182
Alipa M. N., Kurilenko A. R., Voloschuk S. A. <i>Estimating the efficiency of IPTV recommendation systems taking into account the implicit custom preferences</i>	194
Dobrovolskaya L. O., Lisov E. V. <i>Automated process control system by the process of rolling billets in the roughing stand of TLS</i>	204
Dobrovolskaya L. O., Sereda S. E. <i>Modernization of automated process control systems for sheet rolling in the finishing stand of the TSS</i>	210
Vorotnikova Z. J., Kravchenko A. O. <i>Designing an automatic system for collecting and analyzing reviews and opinions</i>	218
Mironenko D. S., Sezin B. V. <i>Research of methods of optimal order distribution in service centers</i>	226
Mironenko D. S., Rezkov D. M. <i>Modeling of the centralized control system of air conditioning in educational institutions using the royal intelligence algorithm</i>	233

Vorotnikova Z. J., Semusev A. R. <i>Bot consultant in telecommunication companie</i>	239
Cherevko O. O., Klimov B. A. <i>System of automatic control and regulation of the condense level in the drum-separator of the boiler-utilizer of converter gases with correction by dorection</i>	247
Cherevko O. O., Shcherbakov S. V., Shapovalov A. I. <i>Invariant system of automatic regulation of the metal level in the ccm crystallizer</i>	256
Yasinska T. A., Fedotova N. A., Vashchenko S. M. <i>Web resource for 3D-models visualisation</i>	266
Ostapenko A. A., Lipunov D. A. <i>Simulation of multiphase flows using modern engineering packages</i>	274
Shcherbakov S. V., Isaeva Y. S. <i>Mathematical simulation of the rail heating control process in the rail quickering machine</i>	287
Amursky E. O., Kravchenko V. P. <i>System for automatic correction of the temperature of the zones of the continuous furnace with fluctuations in the type and rate of rolling of heated billets</i>	298
Pronina O. I., Khovalts A. S. <i>Career guidance using an expert system approach</i>	305
Fedosova I. V., Bukharov D. V. <i>Determining the location of the device using Wi-Fi - sensors</i>	312
Fedosova I. V., Smetannikova Y. A. <i>Expert system for determination of disease by blood analysis</i>	319
Koyfman O. O., Horobchenko M. O., Klimov Ye. G., Dolya D. T. <i>Application of the acs archive database mining in managing of a hot blast stoves block</i>	327
Koyfman O. O., Oriekhov M. B., Soldatov D. V., Budur V. S., Holoiadov A. V. <i>Control of heating of the hot blast stove checkerwork with the program for calculation of fuel combustion</i>	337
Fedosova I. V., Osadchyi M. S. <i>System for predicting the condition of the vehicle based on the statistical data of the OBD-II diagnostic connector</i>	346
Kryvenko O. V., Lemeshchenko M. I. <i>Investigation of methods of modeling the traction of the movement of an unmanned aircraft</i>	353

Abdulalimov V. E., Dubovkina M. Yu., Levytska T. O., Khokhlova K. Yu. <i>Simulation of processes of thermal work of lining of cast iron buckets</i>	361
Fedosova I. V., Zhukov D. S. <i>Construction of decision trees for determining the passage to the final of a basketball team using machine learning</i>	368
Levitskaya T. O., Korol N. D. <i>Solution support system for fuzzy logic stock management of small-wholesale goods</i>	377
Zubko A. A., Koyfman O. O. <i>Application of mathematical model of heat exchange for controlling the cooling of the ingot in the continuous-casting mold</i>	388
Rubinskyi V. A., Koyfman O. O., Fedorenko D. Yu. <i>Application of variable frequency drive in control of feed water consumption per evaporator of a heat and power department of an iron and steel plant</i>	397
Litvinenko A. A., Vorotnikova Z. J. <i>Designing a system for forming a multifaceted user image on the internet</i>	407
Shcherbakov S. V., Cherevko E. A. <i>Mathematical modeling of ingest crystallization process</i>	421
Samotugina Yu. S., Dzhelali V. O. <i>System for adaptive control of the process of plasma modification of massive cast iron parts</i>	430
Zinchenko S. G., Senatosenko V. A., Khvostovich V. G. <i>Substantiation of planning the level of reliability of transport systems of seaports during their operation</i>	436
Kovalenko I. V. <i>Stages of ensuring reliability in the operation of ship power plants with the use of dissimilar steels</i>	443
Daki O. A., Tkachenko V. V., Budolak S. Y., Bazhak O. V. <i>Model of operation of a small-sized diesel of a collective rescue during a standard rescue operation</i>	451
Takhtamysh I. V., Anischenko O. S., Tarasyuk L. I. <i>The use of intellectual property is an effective way to increase the competitiveness of industrial enterprises</i>	459
Voloshin V. S. <i>Waste thermodynamics and development strategy modern energy technologies</i>	469
News Ukraine and the world	481
Requirements for publications	483

УДК 621.923.74

Бурлаков В. І., Шабунін М. І., Костигов Б. О.

ПРОЦЕС РІЗАННЯ ПРИ ВІБНО-МАГНІТНО-АБРАЗИНОЇ ОБРОБЦІ (ВіМАО) НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ

Роль керамічних різальних пластин важко недооцінювати. За останні десятиліття машинобудівне виробництво досягло значного прогресу. Створені високоефективні верстатні системи дозволяють підвищити продуктивність механічної обробки за рахунок високих і надвисоких швидкостей різання. Проте практичне використання цього потенціалу значно обмежується експлуатаційними показниками різальних інструментів і їх недостатньо високою здатністю чинити опір процесам зношування і руйнування під дією високих термомеханічних навантажень. Очевидно, що для вирішення цієї проблеми потрібні інструменти, орієнтовані на високошвидкісну лезвійну обробку.

За останні десятиліття машинобудівне виробництво досягло значного прогресу. Створені високоефективні верстатні системи дозволяють підвищити продуктивність механічної обробки за рахунок високих і надвисоких швидкостей різання. Проте практичне використання цього потенціалу значно обмежується експлуатаційними показниками різальних інструментів і їх недостатньо високою здатністю чинити опір процесам зношування і руйнування під дією високих термомеханічних навантажень. Очевидно, що для вирішення цієї проблеми потрібні інструменти, орієнтовані на високошвидкісну лезвійну обробку.

Оскільки кераміка має підвищену червоностійкість, вона забезпечує найбільшу швидкість різання. Крім того, вона хімічно інертна по відношенню до оброблюваного матеріалу, що має велике значення при механічній обробці жароміцних і нержавіючих матеріалів. Кераміка не містить дорогих легуючих елементів, тому вона є дешевим інструментальним матеріалом. Пластинами з кераміки оснащують торцеві фрези при фрезеруванні конструкційних, легованих і хромистих сталей.

Дуже часто керамічні пластини використовуються на фінішних операціях. Оброблену з їх допомогою поверхню, як правило, можна відразу шліфувати, якщо в цьому є необхідність. Керамічні пластини зайняли свою нішу навіть в космічній галузі, де з їх допомогою обробляються деталі з жароміцних матеріалів.

У статті зроблена спроба показати деякі аспекти обробки надтвердої кераміки, які полягають у впливі деяких чинників на обробку матеріалу новим способом вібро-магнітно-абразивним.

Ключові слова надтверда кераміка, різальні пластини, керамічні пластини, вібраційна обробка, рідина що охолоджує, інструмент, щільність насичення, абразив.

Постановка проблеми. Проблема якісної металообробки стоїть дуже гостро. Тому використання в якості різального інструменту надтвердої кераміки може підвищити

продуктивність та якість оброблення. Таким чином розробка нових методів оброблення надтвердої кераміки є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом інструменту з надтвердої кераміки все більше приділяється увага з боку вчених як України так і зарубіжжя. Розкриттю схожих проблем приділяють увагу такі учені, як: Бабічев А. П. [1], який працює у вібраційних та зміцнюючих процесах, а також Гречишніков В. А. [2], Колесов М. В., Петухов Ю. Є. які займалися математичним моделюванням у інструментальному виробництві, що дає можливість суттєвим чином підвищити параметри якості деталей та окремих вузлів машин. Кузін В. В. [3], який працював у сфері обробки різальних пластин з надтвердої кераміки, її заточки та випробуванні. Власов В. І. приділяв увагу розробці режимів різання конструкційних матеріалів[4]. Пронін А. І., Мильніков В. В., Рожков І. І. [5] зробили вагомий внесок у розробку різального інструменту який оснащений різальними пластинами з надтвердої кераміки. Але проблема досі не розкрита багатогранно. В Україні відсоток інструменту який вживається у виробництві дуже малий в порівнянні з США та Євросоюзом. Тому процес підготовки різальних пластин їх заточування та використання це актуальне питання яке вимагає рішення.

Мета досліджень. Показати, що вібро-магнітно-абразивна обробка здатна вирішувати досить складне питання яке пов'язано з обробкою різальних пластин з надтвердої кераміки. Розповісти про роль ущільнення середовища яке оброблює кераміку і використання змащувально-охолоджуючої рідини сприяє підвищенню продуктивності процесу обробки надтвердої кераміки.

Викладення основного матеріалу. Утворені в процесі пластичної деформації ультрамікроскопічні тріщини поширюються з надзвичайно високою швидкістю. Ультрамікроскопічні тріщинки в зоні різання перетворюються в мікроскопічні. При цьому виникають новоутворені ювенільні поверхні, які мають викривлену кристалічну решітку, і з високою швидкістю покриваються молекулами сольватного шару.

У даний час існують дві точки зору з питання вибору фінішних абразивних операцій. Одні дослідники вважають за краще обробку брусками, інші - вільним абразивом. Шліфувальний круг або абразивний брусок принципово відрізняються від вільного абразиву, хоча, на перший погляд, як інструменти, вони мають одну і ту саму природу. Можна було б очікувати, що доведення брусками, як найтонший процес шліфування, буде аналогічним процесу ВіМАО. Насправді це не так.

Для фінішних операцій, які будуть імітувати процес притирання, абразивний матеріал є більш досконалим інструментом. Він має властивість автоматичного регулювання процесу протягом одного робочого циклу, забезпечуючи тим самим поступовий перехід від різання до процесу притирання.

Відомо, що навіть при однаковому маркуванні фактичні характеристики абразиву можуть значно відрізнятися один від одного. При однакових умовах, але при зміні абразиву може виходити різна шорсткість обробки поверхні. Якщо абразив більш твердий, він буде працювати з затупленням і з засалюванням, при цьому обробка не припиниться але не буде достатньо якісною тому що такий абразив повільніше буде перетворюватися на порошок.

Якщо ж абразив м'якший, він буде скоріш переведений у стан порошку і так само якісно оброблювати поверхню, тобто працювати в режимі притирання.

ВіМАО, що розробляється, в процесі роботи створює стабільні умови утворення доведеної поверхні. Процес дроблення зерен до кінця циклу призводить робочу поверхню зерна в однаковий стан, а тому і вигладжуваний ефект завжди однаковий.

У кожному циклі характер переходу від процесу різання до процесу загладжування абсолютно однаковий і автоматично підтримується. Отже, можна сказати, що при ВіМАО зберігається суворя внутрішня закономірність протікання робочого циклу, а при роботі іншими методами такої закономірності може і не існувати. Розкид вихідної фактичної характеристики видів обробки створює розкид результатів, що характеризують шорсткість поверхні. В останньому випадку сталість режимів обробки не гарантує сталої якості поверхні.

За параметри порівняльної оцінки ефективності оздоблювальної обробки прийняті: знімання матеріалу з деталі Q , шорсткість обробленої поверхні та інші показники. Ефективність абразивного доведення визначається фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу, матеріалу абразиву, мастильно-охолоджувальною рідиною, яка подається в зону обробки, а також факторами, що характеризують режим обробки.

Геометрію абразивного зерна можна оцінювати за кількістю різальних кутів і виступів (макрогеометрія), ступенем гладкості поверхонь, що утворюють ці кути і виступи (геометрія зерна), і за радіусом заокруглення кутів і виступів.

Н. І. Богомолів, вивчаючи процес абразивної обробки з використанням одиничного зерна, встановив можливість саморегулювання процесу, яка полягає в тому, що при певному тиску абразивне зерно руйнується і, тим самим, автоматично регулює максимальну глибину свого проникнення в метал.

Різальна здатність абразивних зерен визначається не тільки їх твердістю, але міцністю і іншими властивостями абразивних матеріалів.

В основу вивчення механізму оздоблювальних процесів І. Кремень пропонує покласти дві основні ознаки:

- 1) число ступенів свободи абразивного зерна;
- 2) вид взаємодії зерна з оброблюваною металевою поверхнею.

Число ступенів свободи вільного абразивного зерна - 6 так як воно не закріплено. Ступінь шаржування абразивними зернами в поверхню деталі визначається питомим тиском, твердістю притиру і деталі, кінематикою їх відносного переміщення, зернистістю абразивних зерен.

Істотно впливає на знімання матеріалу щільності «насичення» стовпчика інструмента при обробці м'якими абразивними зернами. Встановлено, що залежність знімання матеріалу від щільності м'яких абразивних зерен має пік при $0,25-0,35 \text{ г/см}^3$. Подальше збільшення щільності веде до зниження знімання матеріалу і підвищенню шорсткості обробленої поверхні (рис. 1).

Машинобудування і зварювальне виробництво

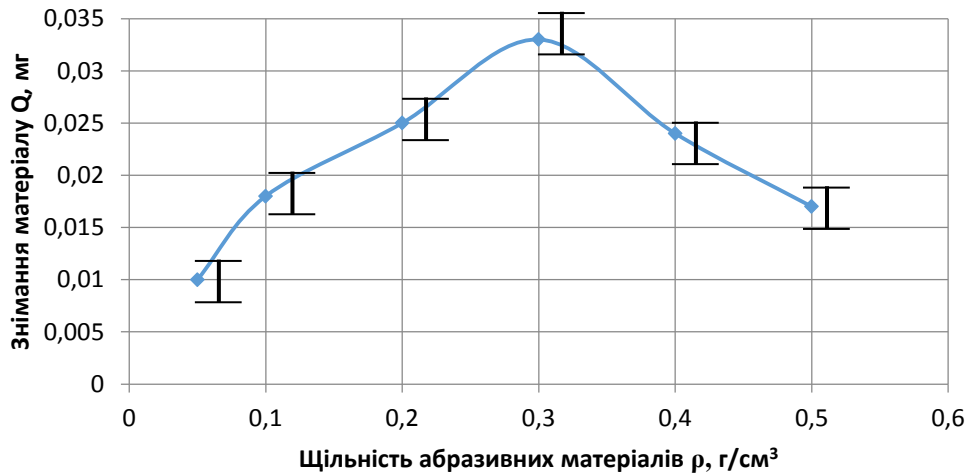


Рисунок 1 – Залежність знімання матеріалу від щільності «насичення» абразивними зернами

В даному випадку ми маємо завдання лінійного програмування. У завданнях лінійного програмування необхідно знайти екстремум лінійної функції (цільовій функції) на множині, обмеженій системою лінійних рівнянь і нерівностей.

Математична модель загального завдання лінійного програмування має вигляд:

$$\begin{aligned}
 f(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \min(\max) \\
 \sum_{i=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, k \\
 \sum_{i=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i \quad i = k+1, \dots, l \\
 \sum_{i=1}^n a_{ij} x_j &\geq b_i \quad i = l+1, l+2, \dots, m, \quad x_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, p, p \leq n
 \end{aligned}$$

Безліч точок $M(x_1, x_2, \dots, x_n)$, що задовольняють цим обмеженням, утворюють допустиму множину. Далі вважатимемо, що усі змінні невід'ємні, т. е. $p = n$. Введенням додаткових змінних завдання зводиться до канонічного виду, в якому усі обмеження являються вище розглянута рівність, т. е. отримуємо завдання:

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \min(\max) \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n a_{ij} x_j &= b_i \quad i = 1, 2, \dots, k, k \leq n \\
 x_j &\geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}$$

У основі рішення цієї задачі лежить наступне твердження: якщо завдання має рішення, то екстремум цільової функції досягається в одній з кутових точок допустимої великої кількості.

У практичному відношенні цікавлять процедури Minimize і Maximize пакету MathCAD, що дозволяють вирішити це завдання. Чисельно вирішуючи дане завдання, отримаємо, що щільність насичення абразивним матеріалом буде знаходитися у межі 0,25 - 0,35 г/см³.

Такий результат й буде підтвердженням коректності проведених експериментів.

Використання змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР) при будь-якому виді обробки необхідно по деяким параметрам. По-перше це охолоджувальний ефект, по-друге це дає

ефект рівномірності обробки і по-третє очистка деталей. Але при ВіМАО охолоджувальний ефект не дуже важливий в нашому випадку тому що як було сказано вище про відвід тепла з зони різання ця проблема не може бути істотною.

Представляти інтерес може й третя складова, замінивши обмивання деталі після обробки в окремої ємності.

При вібраційній обробці вільним гранульованим середовищем існує вірогідність використання робочого розчину, що має відповідні властивості, тобто малим поверхневим натягненням, що забезпечує змочування поверхонь оброблюваних деталей, оскільки це сприяє рівномірній обробці. Оптимуму можна досягти шляхом регулювання в'язкості робочого розчину, від якої залежить товщина плівки, що утворюється на поверхні оброблюваних деталей.

Одночасно в'язкий шар збільшує площу зони контакту, за рахунок чого розширюється дія прикладеної сили на поверхню що оброблюється. Це дозволить одночасно деформувати більшу кількість гребінців мікронерівностей, знижуючи шорсткість поверхні, і в той же час знижувати адгезійні властивості. Для збільшення в'язкості і хімічної активності робочого розчину в нього додають поверхнево-активні речовини (ПАР). Такі розчини полегшують процес пластичної деформації за рахунок розклинюючого ефекту (ефект Ребіндера) і сприяють рівномірності обробки.

ВИСНОВКИ

Отримана математична модель екстремумам що має на увазі максимальну щільність абразивного інструменту, яку необхідно враховувати при обробці. Істотний вплив на знімання матеріалу надає щільність «насичення» оброблюваної поверхні м'якими абразивними зернами і має екстремум при $0,3 \text{ г/см}^3$. Встановлено, що використання ЗОР при ВіМАО сприяє очищенню деталей підвищує рівномірність обробленої поверхні.

Перелік використаних джерел:

1. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом / *А. П. Бабичев [и др.]*. – Ростов-на-Дону, ДГТУ, 2003. – 192 с.
2. *Гречишников, В. А.* Математическое моделирование в инструментальном производстве / *В. А. Гречишников, Н. В. Колесов, Ю. Е. Петухов*. – М. : МГТУ «Станкин». 2003. – 113 с.
3. *Кузин, В. В.* Технология заточки режущих пластин из нитридной керамики / *В. В. Кузин* // Технология машиностроения. – 2006. – № 9. – С. 33–37.
4. *Власов, В. И.* Процессы и режимы резания конструкционных материалов : справочник / *В. И. Власов*. – М. : ИТО, 2007. – 189 с.
5. *Пронин, А. И.* Повышение эффективности обработки за счет использования режущего инструмента, оснащенного упрочненными пластинами из сверхтвердых материалов и режущей керамики / *А. И. Пронин, В. В. Мьльников, И. И. Рожков* // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10-3. – С. 377–380.

Бурлаков В. И., Шабунин М. И., Костыгов Б. А.

ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ ПРИ ВИБРО-МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СВЕРХТВЕРДОЙ КЕРАМИКИ

Роль керамических режущих пластин трудно недооценить. За последние десятилетия машиностроительное производство достигло значительного прогресса. Созданные высокоэффективные станочные системы позволяют повысить производительность механической обработки за счет высоких и сверхвысоких скоростей резания. Однако практическое использование этого потенциала значительно ограничивается эксплуатационными показателями режущих инструментов и их недостаточно высокой способностью сопротивляться процессам изнашивания и разрушения под действием высоких термомеханических нагрузок. Очевидно, что для решения этой проблемы необходимы инструменты, ориентированные на высокоскоростную лезвийную обработку.

Требованиям высокоскоростного резания в наибольшей степени отвечают инструменты, оснащенные керамическими режущими пластинами, которые успешно применяются на окончательных операциях механической обработки деталей из чугунов, закаленных сталей и цветных сплавов. Эти инструменты позволяют значительно увеличить производительность механической обработки и повысить качество изготовленных деталей при выполнении постоянно возрастающих экологических требований.

В статье сделана попытка показать некоторые аспекты обработки сверхтвердой керамики, которые заключаются во влиянии отдельных факторов на обработку материала новым способом - вибро-магнитно-абразивным.

Ключевые слова: *сверхтвердая керамики, режущие пластины, керамические пластины, вибрационная обработка, охлаждающая жидкость, инструмент, плотность насыщения, абразив.*

Burlakov V. I., Shabunin M. I., Kostygov B. A.

CUTTING PROCESS AT VIBRO-MAGNETIC-ABRASIVE TREATMENT OVER HARD CERAMICS

The role of ceramic cutting plastins it is difficult to underestimate. For the last decades a machine-building production attained considerable progress. Created the high-efficiency machine-tool systems allow to promote the productivity of tooling due to high and very high-rates of cutting. However, the practical use of this potential is considerably limited to the operating indexes of cutting instruments and them by high not enough ability to offer resistance to the processes of wear and destruction under the action of the high thermal mechanical loading. Obviously, that for the decision of this problem the necessary instruments oriented to high-speed blade treatment.

For the last decades a machine-building production attained considerable progress. Created the high-efficiency machine-tool systems allow to promote the productivity of tooling due to high and very high-rates of cutting. However, the practical use of this potential is considerably limited to the operating indexes of cutting instruments and them by high not enough ability to offer resistance to the processes of wear and destruction under the action of the high thermal mechanical loading.

Obviously, that for the decision of this problem the necessary instruments oriented to high-speed blade treatment.

As ceramics have increase red-hardness, she provides most speed of cutting. In addition, she chemically inert in relation to the processed material that matters very much at tooling of heatproof and non-rusting materials. Ceramics do not contain expensive alloying elements, that is why she is more cheap instrumental material. From ceramics equip butt-end milling cutters plates at milling of construction, alloyed and chromic steels. Very often ceramic plates are used on finish operations. A treat with their help surface, as a rule, it can at once polish, if herein there is a necessity. Ceramic plates occupied the niche even in space industry, where with their help details are processed from heatproof materials.

In the article the done attempt to show some aspects treatments of over hard ceramics, that consist in influence of some factors on treatment of material by a new method a vibro - magnetic - abrasive.

Keywords: *over hard ceramics, cutting plates, ceramic plates, oscillation treatment, cooling a liquid, instrument, closeness of satiation, abrasive.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С. С.
Стаття надійшла 14.12.2020 р.*

УДК 621.91

Водзянский В. В., Потлов В. А., Бантюков В. В.

ОБРОБКА ТОЧНИХ (ПІДШИПНИКОВИХ) ШИЙОК ВАЛІВ НА ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ В УМОВАХ РЕМОНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Розроблена, випробувана на підприємстві і теоретично обґрунтована технологія ремонту точних підшипникових шийок крупногабаритних "сирих" валів на токарних верстатах в якій наголос зроблено на використання незвичної методики при обробці таких поверхонь на важких токарно-гвинторізних верстатах, суть якої полягає в регулюванні верхніх санчат супорта верстата з врахуванням відстані між ремонтуємими шийками. Розроблена технологія у статті обґрунтована теоретичними викладками, які представлені як рішення поставленої задачі методом розмірних ланцюгів і ця методика була використана у нашій роботі з врахуванням методу підгонки і підтверджено що вона реальна і може бути застосована у ремонтному виробництві. Відомо що обробка на важких токарних верстатах виконується з використанням лезвійного інструменту, а тим паче в умовах ремонтного виробництва, то не завжди можливо одержати необхідні діаметральні і лінійні розміри з необхідною точністю тому що вони залежать від геометричної точності верстата, а також параметри поверхні по шорсткості $Ra = 0,8-0,4$ мкм, одержавши також необхідні на поверхні стискаючи остаточні напруження потрібної величини і напрямку, які можливо одержати якимсь конкретним засобом. Тому у роботі представлені результати проведених нами досліджень у вигляді графіків по виявленню залежності величин і напрямків стискаючих остаточних напружень від режимних характеристик обробки. Також нами було проведено аналіз і прийнято рішення щодо одержання необхідних параметрів по стискаючих

напруженням, які можливо одержати не різанням різцем, а методом торцевого шліфування, одночасно при цьому одержуючи необхідну шорсткість, розробивши при цьому необхідну конструкцію шліфувальної головки, змонтувавши її на верстаті і підібравши потрібну марку шліфувального круга, його форму, а дослідним шляхом підібрали необхідні режими шліфування (швидкість різання, глибину різання, поздовжню та поперечну подачі).

Ключові слова. Опори ковзання, геометрична форма шийок, напруження у поверхневому шарі, супорт, шорсткість, розмірні ланцюги.

Постановка проблеми. Крупногабаритні вали, це вали масою більше 1000 кг у народному господарстві використовуються дуже часто: в металургійній, енергетичній, вантажно-підйомній, транспортній та інших галузях. Під час ремонту крупногабаритних валів, суть якого частіше усього зводиться до ремонту, найбільш зношених відповідальних поверхонь, а конкретно їх підшипникових шийок – опор ковзання, які ніколи у таких випадках не гартуються, виникають складності, які носять, як виробничий, так і технологічний характер. Їх звичайно ремонтують на важких токарно-гвинторізних верстатах і їх геометрична точність не завжди відповідає необхідній точності деталі, яку ремонтують тому його потрібно додатково налагодити. До поверхонь шийок валів у цьому випадку завжди пред'являють достатньо високі вимоги до якості ремонтуємої поверхні, а конкретно, по відношенню до параметрів шорсткості поверхні ($R_a = 0,08 \dots 0,16$ мкм), а також по геометричній формі (різниці діаметрів шийок по усій довжині не більше 0,02 мм) при діаметрі і довжині шийки відповідно приблизно 250 мм і 300 мм і вище, а також остаточних напружень. У нашому випадку вали для металургійної промисловості (ексгаустери аглофабрики), виходячи з серійності виробництва (ремонтне – одиничне), а також розмірів ремонтуємих деталей ($D=500$ мм, $L=4000$ мм) ці вимоги можливо забезпечити без труднощів на круглошліфовальних верстатах, але круглошліфовальні верстати таких габаритів не виготовляє промисловість, тому ми змушені такого виду операції виконувати на важких токарних верстатах, які в силу своїх конструктивних і точностних характеристик, можуть забезпечити похибки форми шийок наших розмірів (різниця діаметрів по усій довжині до 0,15мм), а також шорсткості (не більше 1,6 мкм по параметру R_a) і позитивних остаточних напружень, тому трудомісткість процесу обробки підшипникових шийок на валу до необхідних параметрів якості становиться достатньо великою, але її можливо забезпечити. Крім цього пошук, будь-яких літературних пошуків по цій проблематиці не дав нам ніяких результатів. хоч і ця проблема не вирішена у цілому і нам прийдеться опираючись на існуючу технічну літературу вирішити поставлену виробництвом задачу. Достатньо важливим при обробці «сирих» валів також є наявність у поверхневому шарі напружень, їх знак, а також їх глибина при обробці лезвійним (різцем) інструментом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглядаючи технологічну можливість одержання підшипникових поверхонь, які необхідно відремонтувати, забезпечивши необхідні параметри точності, шорсткості і остаточних напружень з мінімальним зніманням металу, а також мінімальну трудомісткість, керуючись висновками і рекомендаціями викладеними у [1 – 7], а також при цьому враховуючи основні витікаючи з них положення:

1. Для одержання найбільшої точності, потрібно усі поверхні обробити, використовуємо принцип єдності баз, або кажучи по іншому з однієї установки;

2. Найвища точність досягається за допомогою розмірних або кінематичних ланцюгів, які мають у своєму складі найменшу кількість ланок;

3. Установка на верстаті додаткового приладдя з потрібною точністю і жорсткістю.

4. Розширення технологічних можливостей металорізального верстата.

Мета дослідження. У наданій праці поставлена мета - обґрунтувати рішення поставленої задачі теоретичними і практичними рекомендаціями, які забезпечують максимально можливу точність, мінімальну шорсткість та якісні характеристики поверхневого шару при мінімальній трудомісткості.

Основний матеріал дослідження. Аналіз розмірів представлених креслень деталей, які ремонтують на підприємстві “Метінвест”, а також паспортних даних представленого токарного верстата мод. 1А660 показав, що довжина обробки шийок по усій номенклатурі ремонтіваних валів менше довжини ходу верхніх санчат, розміщених на поворотній частині супорта. Це дозволило нам виключити похибки, які виникають при переміщенні поздовжнього супорта по станіні та його фіксуванням у потрібному місці, при цьому здійснюючи подачу тільки за допомогою верхніх санчат супорта. З метою підвищення точності обробки шийок на токарній операції, нами на верстаті було проведено пришабрування направляючих верхніх санчат і поворотної частини верхніх санчат супорта, після цього відхилення від прямолінійності (допуск прямолінійності) переміщень санчат по усій довжині (500 мм), складав 0,003...0,004 мм, в ту чи іншу сторону, в залежності від напрямку переміщення. Симетричність зношення шийок валів при експлуатуванні в поперечному перетину (тому що по довжині вона нерівномірна), дозволила розробити методику вивірювання паралельності верхніх санчат лінії центрів верстата безпосередньо по шийці оброблюваного валу, з врахуванням теорії розмірних ланцюгів. Розробляємо теоретичне обґрунтування розмірного ланцюга використовуючи метод підгонки. Складемо схему розмірного ланцюга, яка має вид

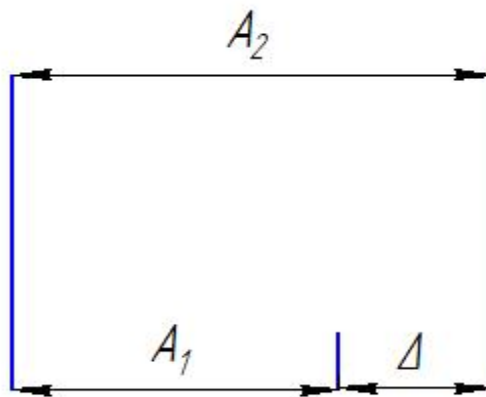


Рисунок 1 – Схема трьох ланкового розмірного ланцюга

Виходячи з схеми трьох ланкового розмірного ланцюга

$$\sigma_{A2} - \sigma_{A1} = \sigma_k,$$

тоді:

$$\Delta_k = \frac{\sigma_k}{2} + (\Delta_{A2} + \Delta_{A1}) - (\Delta_{A1} + \Delta_{A2}) \quad (1)$$

де:

Машинобудування і зварювальне виробництво

Δ_k – поправка до координати поля допуску компенсуючої ланки;
 Δ_{A1}, Δ_{A2} – координати середин полів розширених допусків;
 Координата середин полів допусків можуть збільшувати або зменшувати величину замикаючої ланки A_Δ нашого трьохланкового розмірного ланцюга $A_1 + A_\Delta - A_2 = 0$.

Тоді формулу (1) можна записати

$$\Delta_k = \frac{\sigma_k}{2} + (\pm \Delta_{0A2} \pm \Delta_{0A1}) - (\pm \Delta_{\Delta A1} \pm \Delta_{\Delta A2}) \quad (2)$$

Формулу (2) можна перетворити, враховуючи алгебраїчну суму координати середин полів допусків вказаних ланок, тоді:

$$\Delta_k = \frac{\sigma_k}{2} + (\pm \sum A_{d1} \pm \sum A_{d2}) - (\pm \sum \Delta_{d1} \pm \sum \Delta_{d2}) \quad (3)$$

де:

- n – загальна кількість збільшуючих ланок ланцюга
- m – загальна кількість усіх ланок ланцюга

Аналіз рівності (2) показує, що при симетричності допусків, або $\Delta_{\Delta A1} = 0; \Delta_{\Delta A2} = 0; \Delta_{\Delta A3} = 0$, тоді рівняння (3) буде мати вигляд $\Delta_k = \sigma_k / 2$.

Враховуючи запропоновану методику розрахунку нами було виконана практична частина роботи, яка підтвердила теоретичні припущення вказані при розгляді положень теорії розмірних ланцюгів.

Вал встановлюється на верстат з базуванням по центровим отворам, що забезпечує при цьому мінімальне радіальне биття шийки. Мікрометром заміряємо діаметри шийки у трьох перетинах: по середині, а по краям на відстані 10 мм від бурта і торця відповідно. Верхні санчата верстата встановлюємо у середнє, по довжині направляючих, положення. Переміщенням поздовжнього супорту верстата, центр обертання поворотної частини супорта встановлюємо напроти середини шийки валу (рис. 2).

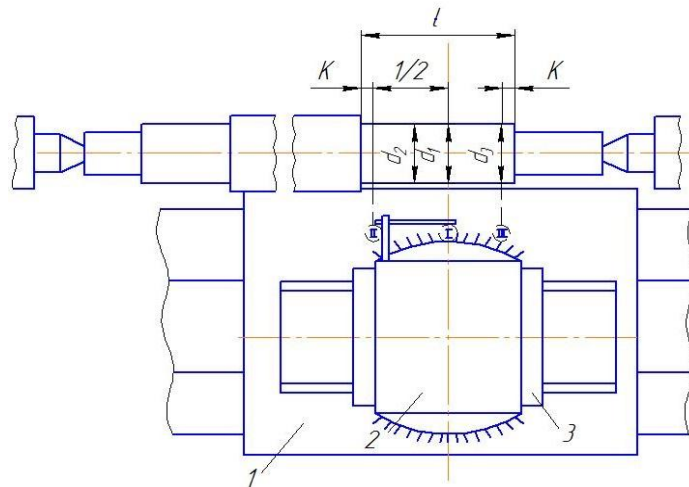


Рисунок 2 – Схема вивіряння паралельності напрямлення переміщення верхніх санчат супорта відносно лінії центрів верстата:

Машинобудування і зварювальне виробництво

1 - поздовжній супорт; 2 - різцетримач; 3 - верхні санчата поперечного супорту

Індикатор годинникового типу ИЧ-10, з ціною градуювання 0,001 мм встановлюємо на верхніх санчатах таким чином, щоби головка вимірювального стрижня, у початковому положенні 1 знаходилась на лінії, перпендикулярній лінії центрів и проходила через середину шийки валу і центр обертання поворотної частини супорта. Перпендикулярність переміщення різцетримача по верхнім санчатам лінії центрів буде забезпечена, якщо індикатор, виставлений на нуль у положенні I, у положеннях II і III показує відповідно значення $\frac{d_2-d_1}{2}$ і $\frac{d_3-d_1}{2}$ з відповідними знаками.

Обточування шийки після зробленого вивіряння практично забезпечує одержання потрібної геометричної форми її, однак шорсткість, при цьому, виходить такою що і була ($R_a > 1,6$ мкм), також, що дуже важливо для нашого випадку, при обточуванні виникають розтягувальні напруження, які також негативно впливають у майбутньому на експлуатаційні характеристики ремонтуємої поверхні. Аналогічна операція виконується, по необхідності, і з іншими поверхнями, які цього потребують, при цьому деталь з верстата не знімають.

Для рішення питань пов'язаних з забезпеченням максимальної якості поверхні з точки зору остаточних напружень, їх знаку, глибини залягання і шорсткості поверхні, були проведені додаткові дослідження, які дозволили рішення задачу комплексно. Фізико-механічні властивості поверхневого шару, який лежить під обробленою поверхнею, як відомо, у багатьох випадках визначають експлуатаційні якості деталей любых машин. Так як у нашому випадку ми виконуємо обробку «сирих» валів, то ці властивості мають важливе значення.

Загально відомо, що найважливішими показниками при різанні лезвійним інструментом будуть: знак і глибина залягання остаточних напружень. Остаточні напруження які виникають у поверхневому шарі виникають внаслідок дії силового поля, яке виникає внаслідок дії сил різання і структурних перетворень. При обробці м'яких матеріалів утворюються розтягувальні напруження, що негативно впливає на експлуатаційні характеристики поверхні. Величина, знак і глибина залягання остаточних напружень залежать від переднього кута різця, подачі (товщини зрізаного шару), товщини зрізаного кулі швидкості різання, ступені зношення різця [5]. Принциповий вплив S , V , γ з конкретними режимними характеристиками процесу різання на величину напружень і глибину їх залягання Δ представлено на рисунку 3 (а, б, в).

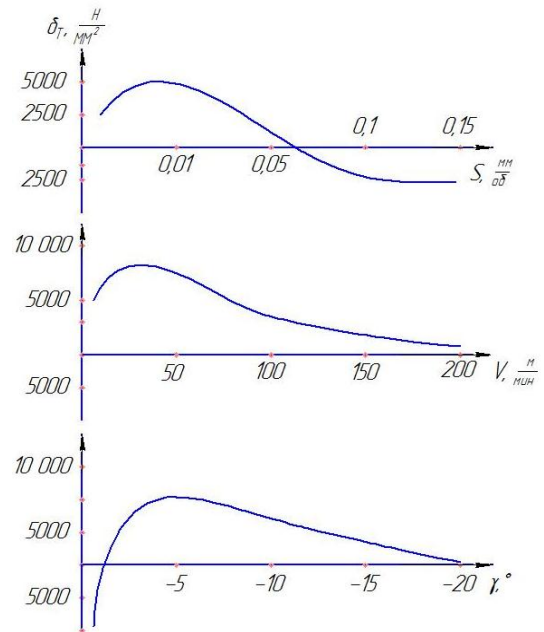


Рисунок 3 – Графіки впливу подачі S , швидкості різання V і переднього кута γ на величину напружень і глибину їх залягання

З представлених графіків видно, що при швидкостях різання, при обробці заданих «сирих» деталей вище $V \geq 150 - 170$ м/хвилину виникнення негативних напружень поверхневого шару стабілізується, значить обробку їх необхідно вести на $V \leq 120$ м/хвилину, збільшення величини подачі, також впливає на їх величину і глибину залягання розтягуючих напружень після $S \geq 0,05$ мм / об. Передній кут різця також сильно впливає на остаточні розтягуючих напруження, і нами було виявлено що передній кут повинен бути не більше $\gamma \geq -15^\circ$.

Крім остаточних напружень, при різанні створюється наклеп, який, у нашому випадку є позитивним. Наклеп поверхневого шару в основному пов'язаний з деформацією і зміцненням феритної фази обробляемого матеріалу. Глибина різання мало впливає на величину наклепу, але на наклеп суттєва впливає підвищення зносу ріжучого різця.

З метою досягнення потрібної шорсткості поверхні, нами було розроблено пристрій для шліфування шийки валу торцем абразивного чашкового круга по схемі, показаній на рисунку 4. Пристрій встановлюємо у різцетримач верстата (на поворотній частині супорта і затискаємо планкою, яку одіваємо на дві шпильки. Основу пристрою складає високоточний шпиндельний вузол з радіальним биттям базової конічної посадочної поверхні шпинделя не більше 3 мкм.

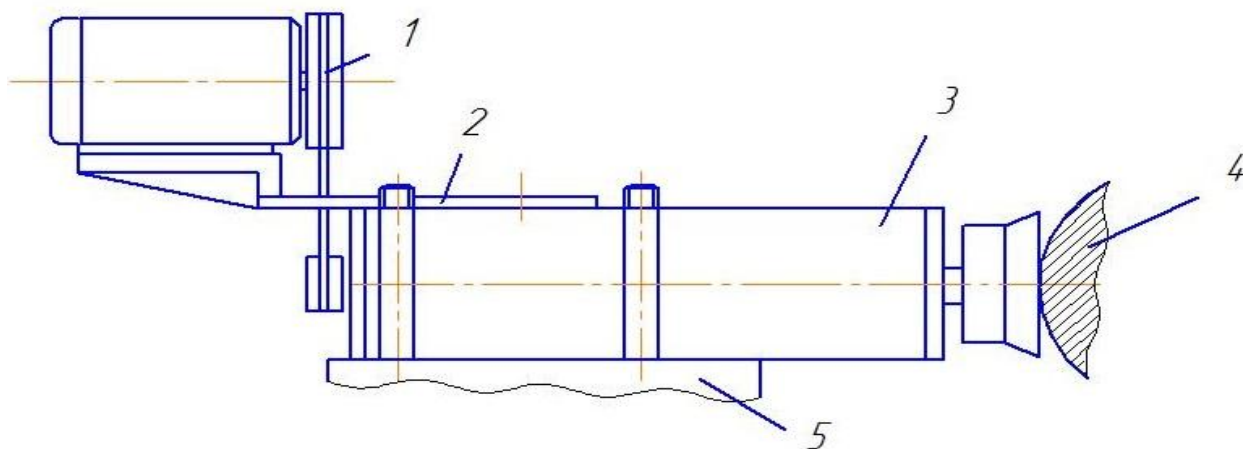


Рисунок 4 – Пристрій для шліфування шийок валу:
 1 - електродвигун; 2 - корпус пристрою; 3 - шпиндельний вузол;
 4 - шийка вала; 5 - різцетримач

Шліфувальний круг кріпиться на оправці, встановленій на посадочний конус шпиндельного вузла. Найменша величина биття робочих поверхонь шківів відносно осей їх обертання була забезпечена остаточною обробкою цих поверхонь у зібраному виді. Для передавання обертального руху від електродвигуна до шпинделю, використовувався плоский прогумований бавовняний ремінь, для погашення можливих вібрацій. Проведені досліді виявили, що для нашого випадку доцільно використовувати круги форми ЧК з характеристикою ЭБ 25СМ1К56, що дозволило нам одержати шорсткість поверхні шийок ($R_a = 0,2$ мкм).

Машинобудування і зварювальне виробництво

Так як існує два варіанта установки шліфувального круга при торцевому шліфуванні, відносно шліфуємої поверхні, а саме: 1-коли круг орієнтують перпендикулярно оброблювальній поверхні; 2- коли круг орієнтується під нахилом $3-5^\circ$ до оброблювальної поверхні. При першому варіанті установки забезпечується мінімальна величина шорсткості поверхні по параметру R_a , але при цьому низька продуктивність процесу, що для нас не суттєво, а при другому варіанті продуктивність підвищується, а шорсткість погіршується; але у тому і другому випадку на оброблювальній поверхні створюються стискаючі напруження. Режим шліфування, який забезпечує необхідну якість оброблених поверхонь (ремонтуючих), наступний: частота обертання круга $n_k = 5000$ об /хвилину; частота обертання деталі $n_d = 40$ об/хвилину; поздовжня подача $S_{пр} = 1,68$ мм/об ($V_k = 35 - 40$ м/с; $V_d = 30$ м/хвилину; $S_{пр} = 1,68$ мм/об). Шліфування виконувалось за такої технології: круг що обертається підводився до шийки валу до торкання з валом, що обертається, і виконувалась обробка; подальша обробка виконувалась або без радіальної подачі, або аналогічно першому варіанту. За один прохід знімався припуск $0,005 - 0,05$ мм на сторону. Необхідна якість поверхні шийок валів ($R_a = 0,2 \dots 0,3$ мкм) була одержана за два подвійних хода без другої радіальної подачі.

Розроблений на кафедрі "Технологій машинобудування" Приазовського державного технічного університету та випробуваний на підприємстві "Метінвест" засіб ремонту шийок роторів ексгаустерів і компресорних машин дозволив одержати необхідну якість підшипникових шийок валу, при відносно низьких затратах.

ВИСНОВКИ

1. Розроблена технологія ремонту підшипникових або любых інших точних поверхонь на валах важких машин дозволяє одержати любую потрібну якість ремонту.
2. Запропоновано засіб ремонту суттєво зменшує трудомісткість ремонту приблизно в 4 – 5 разів з одночасним поліпшенням якості ремонту
3. Розроблена технологія значно розширює технологічні можливості, завантажених не завжди, важких токарних верстатів.
4. Розроблені теоретичні передумови для вибору режимів різання при точінні лезвійним і абразивним інструментами.
5. Запропонована технологія, з нашої точки зору, підвищує технологічну культуру виробництва.

Список використаних джерел:

1. Балакишин, Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакишин. – М : Машиностроение, 1969. – 358 с.
2. Егоров, М. Е. Технология машиностроения : учебник для вузов / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев. – М : Высшая школа, 1976. – 534 с.
3. Решетов, Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – Машиностроение, 1986. – 336 с.
4. Новиков, М. П. Основы сборки машин и механизмов / М. П. Новиков. – М. : Машгиз, 1955. – 507 с.
5. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 343 с.

Машинобудування і зварювальне виробництво

6. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / Б. М. Базров [и др.]. – М : Машиностроение, 2018. – 1574 с.

7. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1 / под ред. А. М. Дальского. – М : Машиностроение, 2003. – 910 с.

Водзянский В. В., Потлов В. А., Бантюков В. В.

ОТДЕЛКА ТОЧНЫХ (ПОДШИПНИКОВЫХ) ШЕЕК ВАЛОВ НА ТЯЖЕЛЫХ ТОКАРНОМ СТАНКЕ В УСЛОВИЯХ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Разработана, испытана на предприятии и теоретически обоснована технология ремонта точных подшипниковых шеек крупногабаритных "сырых" валов на токарных станках в которой упор сделан на использование необычной методики при обработке таких поверхностей на тяжелых токарно-винторезный станок, суть которой заключается в регулировании верхних салазок суппорта станка с учетом расстояния между ремонтируемых шейками. Разработанная технология в статье обоснована теоретическими выкладками, которые представлены как решение поставленной задачи методом размерных цепей и эта методика была использована в нашей работе с учетом метода подгонки и подтверждено что она реальна и может быть применена в ремонтном производстве. Известно, что обработка на тяжелых токарных станках выполняется с использованием лезвийного инструмента, а тем более в условиях ремонтного производства, то не всегда возможно получить необходимые диаметральные и линейные размеры с необходимой точностью так как они зависят от геометрической точности станка, а также параметры поверхности по шероховатости $Ra = 0,8-0,4$ мкм, получив также необходимы на поверхности сжимаемая окончательные напряжения нужной величины и направления, которые можно получить каким-то конкретным средством. Поэтому в работе представлены результаты проведенных нами исследований в виде графиков по выявлению зависимости величин и направлений сжимающих остаточных напряжений от режимных характеристик обработки. Также нами был проведен анализ и принято решение по получению необходимых параметров по сжимающим напряжением, которые можно получить не резкой резцом, а методом торцевых шлифовки, одновременно при этом получая необходимую шероховатость, разработав при этом необходимую конструкцию шлифовальной головки, смонтировав ее на станке и подобрав нужную марку шлифовального круга, его форму, а опытным путем подобрали необходимые режимы шлифования (скорость резания, глубину резания, продольную и поперечную подачи).

Ключевые слова. *Опоры скольжения, геометрическая форма шеек, напряжение в поверхностном слое, суппорт, шероховатость, размерные цепи.*

Vodzyansky V. V., Potlov V. A., Bantyukov V. V.

FINISHING PRECISE (BEARING) SHAFT NECKLES ON A HEAVY LATHE UNDER REPAIR CONDITIONS

Developed, tested at the enterprise and theoretically substantiated the technology of repairing precision bearing journals of large "raw" shafts on lathes in which the emphasis is placed

on the use of an unusual technique when processing such surfaces on a heavy screw-cutting lathe, the essence of which is to adjust the upper slide of the taking into account the distance between the repaired necks. The developed technology in the article is substantiated by theoretical calculations, which are presented as a solution to the problem by the method of dimensional chains, and this technique was used in our work taking into account the fitting method and it was confirmed that it is real and can be used in repair production. It is known that processing on heavy lathes is carried out using a blade tool, and even more so in a repair production, it is not always possible to obtain the required diametrical and linear dimensions with the required accuracy, since they depend on the geometric accuracy of the machine, as well as surface roughness parameters $Ra = 0.8-0.4$ microns, having also obtained necessary on the surface compressing the final stresses of the desired magnitude and direction, which can be obtained by some specific means. Therefore, the work presents the results of our studies in the form of graphs to identify the dependence of the magnitudes and directions of compressive residual stresses on the regime nature of processing. We also carried out an analysis and made a decision to obtain the necessary parameters for the compressive stress, which can be obtained not by a sharp cutter, but by the method of face grinding, while at the same time obtaining the necessary roughness, while developing the necessary design of the grinding head, mounting it on the machine and choosing the required the brand of the grinding wheel, its shape, and empirically selected the necessary grinding modes (cutting speed, depth of cut, longitudinal and transverse feed).

Keywords. *Sliding bearings, geometric shape of journals, stress in the surface layer, caliper, roughness, dimensional chains,*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Анділахай О.О.
Стаття надійшла 05.11.2020 р.*

УДК 621.874.04:539.4.012.1

Іванов Є. І., Сергієнко Ю. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕСУВАННЯ ВІЗКА ВАГОНОШТОВХАЧА ВРПД 93-110 ЗА РАХУНОК ЗНИЖЕННЯ ПАРАЗИТНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Для переміщення завантажених вагонів і передачі їх у вагоноперекидач використовується вагоноштовхач. Виникаючі навантаження при експлуатації цього устаткування діляться на корисні і шкідливі. Найбільш небезпечними є динамічні навантаження. Для вирішення цієї проблеми запропоновано застосувати активні пристрої-амортизатори. Ці пристрої повинні мати функції буфера, демпфера і адаптера. Застосовані два амортизуючі пристрої. Перший виготовляється з товстостінної труби і працює на стискування в осьовому напрямі. Другий забезпечує рівномірний розподіл контактної напруги по площі платформи. Застосовані пристрої стабілізують роботу машини і істотно підвищують довговічність її роботи. При цьому адаптер забезпечує рівномірний розподіл навантажень. Для всіх деталей які знаходяться між платформою і приводним валом колісної пари навантаження врівноважені. Адаптер виготовляють зі

Машинобудування і зварювальне виробництво

спеціального поліуретану. При цьому твердість застосовуваного поліуретану може бути не дуже великий. Адаптер стабілізує навантаження на всі деталі, що знаходяться між платформою і приводним валом колісної пари. Адаптери зменшують паразитні навантаження і поліпшують розподіл напруг, що стабілізує роботу машин і істотно підвищує довговічність її деталей. Зроблено висновок, що періодична взаємна заміна приводних і холостих колісних пар підвищує їх ресурс у 1,5-2 рази. Розроблені амортизатори дозволяють значно зменшити виникаючі в період експлуатації навантаження і покращують динамічні характеристики пристрою. Застосовані конструктивні рішення по амортизаторам покращують їх експлуатаційні якості, збільшують довговічність, спрощують конструкцію і знижують вартість пристрою.

Ключові слова: корисні навантаження, шкідливі навантаження, динамічні навантаження, буфер, демпфер, адаптер, матеріал адаптера, паразитні навантаження, колісні пари, опорні підшипники, еластомери, динамічний модуль пружності.

Вступ. Вагоноштовхач використовується для переміщення навантажених вагонів і подачі їх в вагоноперекидач. Як і всі металургійні машини вагоноштовхач відчуває впливу з боку контактуючих з ним пружних систем. В результаті таких взаємодій виникають навантаження, причому це навантаження двох типів - корисні і шкідливі.

Постановка задачі. До корисних навантажень відносяться навантаження функціонально заплановані (або технологічні). В даному випадку це навантаження, необхідні для переміщення вагонів. До шкідливих (або паразитних) слід віднести всі інші навантаження; перш за все це динамічні навантаження. Вони виникають при впливі енергією (ударний варіант навантаження), інерцією (при розгоні і гальмуванні), нерівностями шляху, зазорами в з'єднаннях, поганим приляганням контактуючих поверхонь деталей. Результат цих впливів - підвищені навантаження (особливо в перехідних режимах роботи машини) і погане розподіл напружень в зонах контакту деталей. Такі машини мають потребу в амортизації паразитних навантажень і максимальних контактних напружень. Для цього потрібно розробити і впровадити активні пристрої - амортизатори.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Штовхач потребує двох подібних пристроїв, одне з них повинно мати властивості буфера і демпфера, тобто мати енергоємність, порівнянну з енергоємністю всієї машини до її модернізації, і розсіювати велику частину накопиченої енергії для запобігання тривалого впливу коливань, що викликають утомлюючи пошкодження деталей. Інший пристрій має являти собою «адаптер», що забезпечує пристосування двох контактуючих жорстких (сталевих) поверхонь. При установці адаптера максимальні контактні напруги знижуються в 3 ... 6 разів; довговічність вузла підвищується на порядок.

Коли штовхач спільно з навантаженим вагоном рушає з місця, виникають інерційні навантаження, які носять коливальний характер. Ці навантаження передаються на приводні вали колісних пар штовхача. В результаті цих циклічних навантажень на приводних валах виникають втомні пошкодження, які протягом 9 ... 12 місяців групуються в тріщини, розташовані у опорних підшипників. В результаті вали руйнуються, показавши довговічність не більше 12 місяців. Заміна зруйнованих валів призводить до тривалих простоїв і значних збитків.

Мета і завдання дослідження. Запропонована модернізація полягає в розробці, виготовленні та встановленні амортизувальних пристроїв. Одне з них встановлено на візку

Машинобудування і зварювальне виробництво

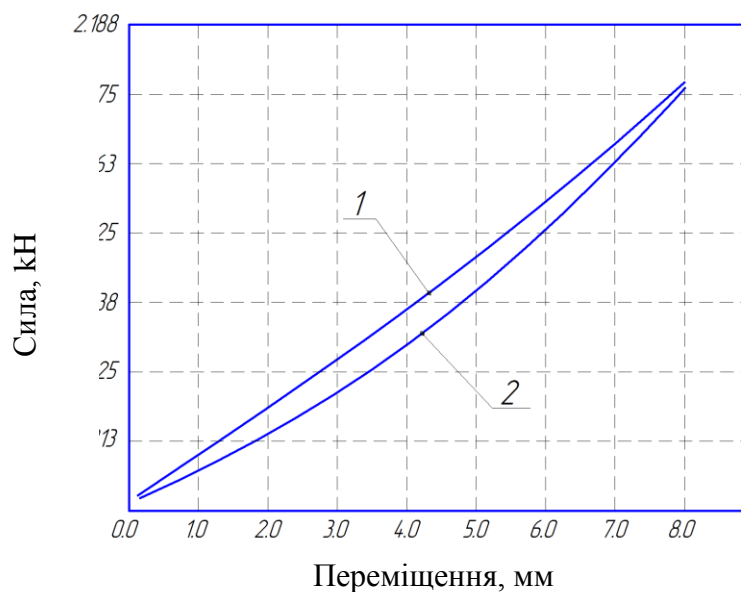
портального вагоноштовхача. Для цього пропонується верхню опору зменшити по висоті в порівнянні з існуючою. Між верхньою опорою і візком встановити амортизатор на під'ятник.

Рішення проблеми. Перша серія експериментів полягала у визначенні нормального модуля пружності при стисненні статичним навантаженням. При випробуваннях записувалися діаграми стиснення. Результати представлені на рис. 1.

Крім характеристика жорсткості, з проведеного експерименту були отримані і параметри внутрішнього тертя, наприклад, коефіцієнт розсіювання енергії ψ , який представляє собою (у відсотках) частку розсіяною енергії від загальної витраченої за один цикл навантаження. Знайдені по діаграмах модулі пружності наведені в табл. 1.

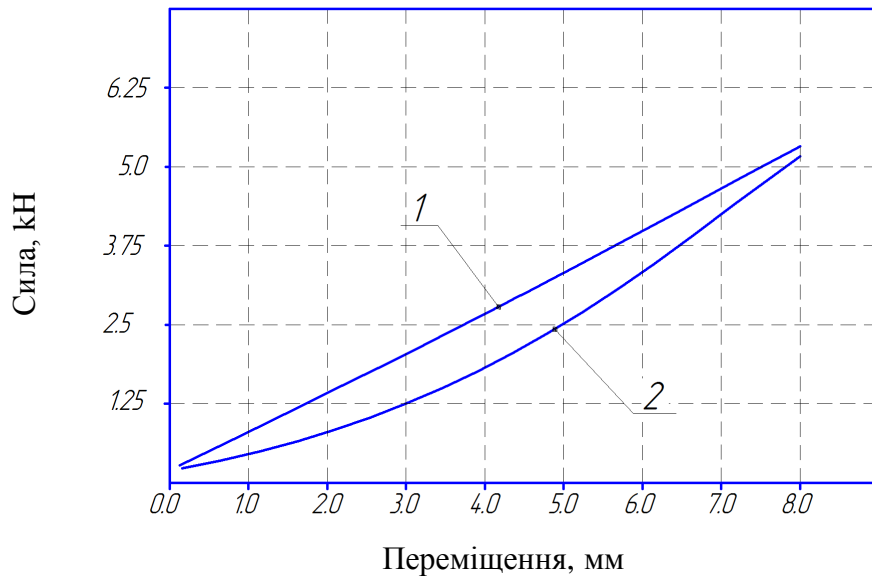
Таблиця 1 – Механічні характеристики конструкційних поліуретанів

Матеріал	Модуль пружності, Е МПа	Коефіцієнт розсіювання енергії, Ψ %	Коефіцієнт посилення, γ	Втрати навантаження при релаксації, % за 60 хв.
V8000 AhA 65	7,5	8,0	7,10	5,5
V8000 ShA 85	20,0	20,0	1,12	12,1
A16 AhA 95	46,8	45,0	1,14	18,5
Adipren L 100V AhA 90	9,5	12,0	1,09	13,0

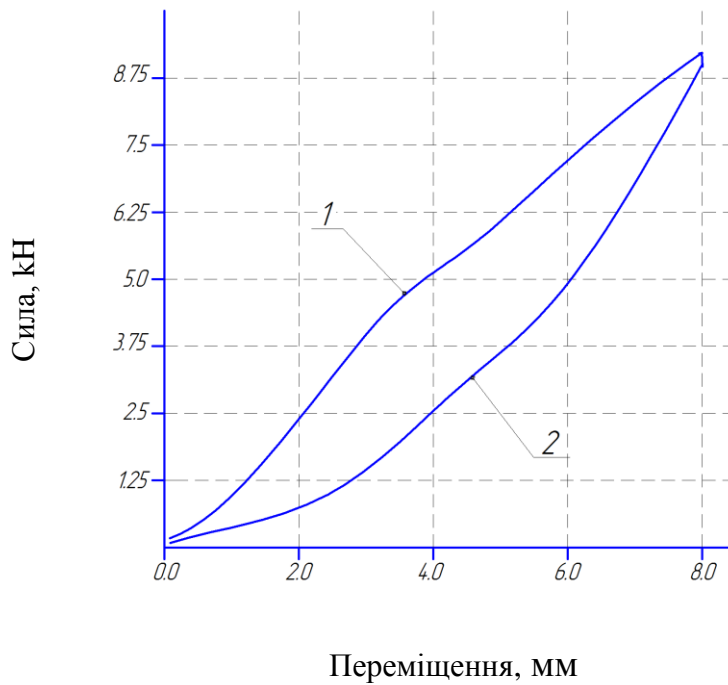


а) vibrathan 8000 ShA 65;

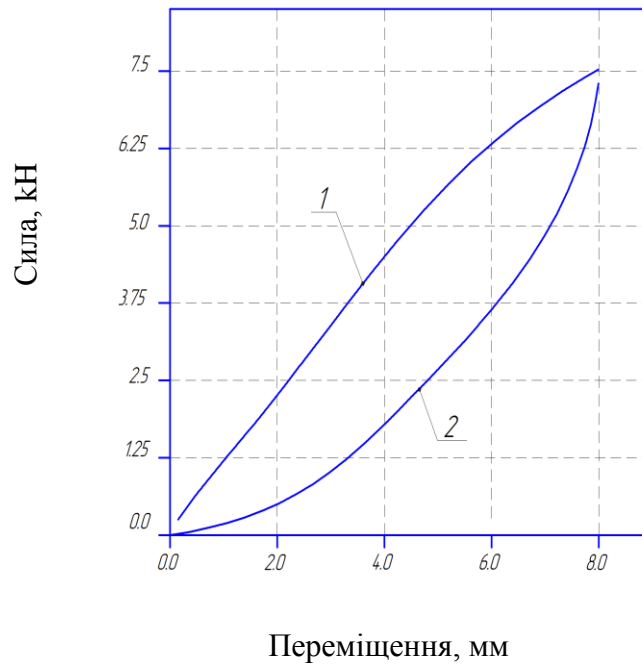
Машинобудування і зварювальне виробництво



б) vibrathan 8000 ShA85;



в) adipren A16 ShA 95;



г) adipren B16 ShA 95

Рисунок 1 – Діаграми стиснення поліуретанових зразків:
1 – навантаження; 2 – розвантаження

Отримані значення ψ для чотирьох зразків також наведені в табл. 1. Цей параметр змінюється в межах від 8 % до 50 %.

Друга серія експериментів мала на меті встановити залежність жорсткості матеріалів від швидкості навантаження.

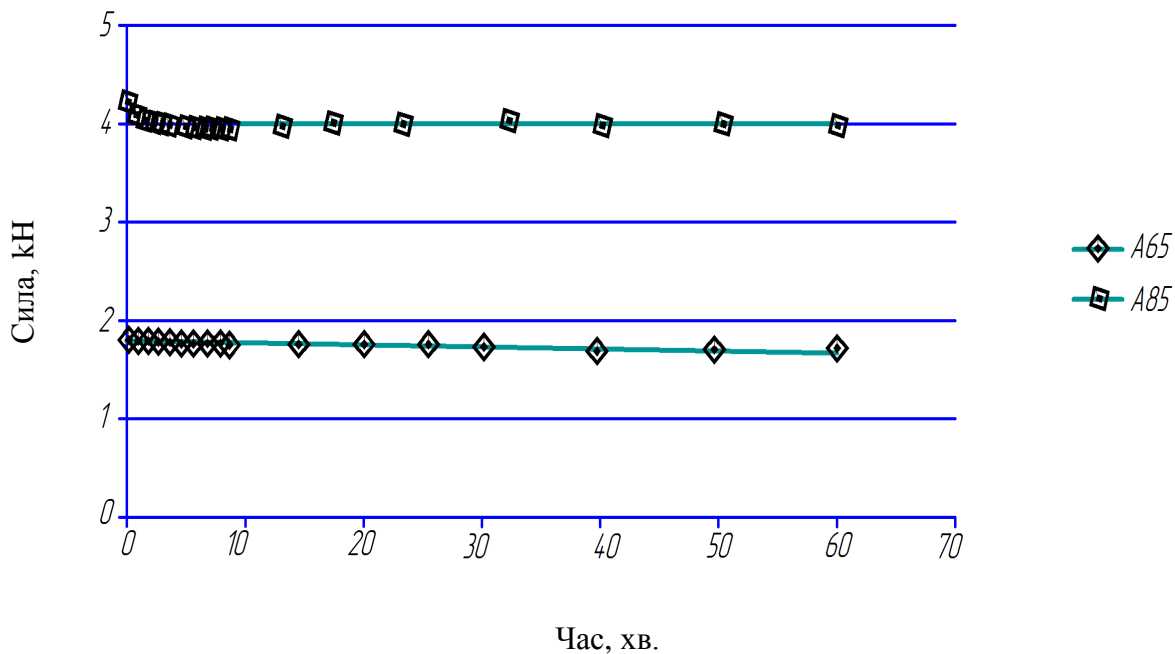
За результатами випробувань можна зробити висновок про експоненційному характері зростання модуля пружності, що дозволяє ввести для еластомерів нову механічну характеристику - динамічний модуль пружності E_D , який більше статичного і може бути представлений у вигляді

$$E_D = E \cdot \gamma,$$

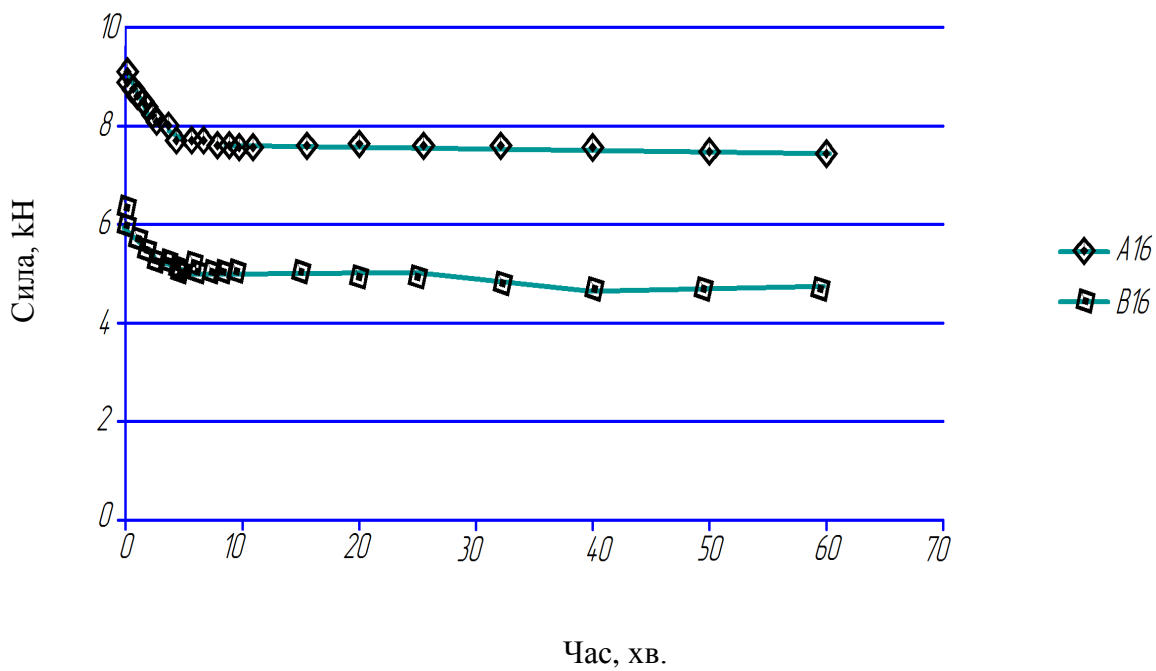
де γ – коефіцієнт посилення матеріалу; його значення представлені в табл. 1.

У третій серії досліджувалася короткочасна релаксація зразків поліуретанів. Початкова їх деформація становила $\varepsilon_0 = 20\%$. На рис. 2 представлені графіки релаксації, побудовані по вимірах в часі.

Машинобудування і зварювальне виробництво



а) vibrathan 8000 ShA 65; ShA 85;



б) adipren A16 ShA 95; B16 ShA 95

Рисунок 2 – Релаксація в стислих поліуретанових зразках.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Амортизатор являє собою товстостінну трубу ($D = 270$ мм, $d = 172$ мм, $H = 160$ мм), що працює на стиск в осьовому напрямку. Робоча характеристика амортизатора представлена на рис. 3.

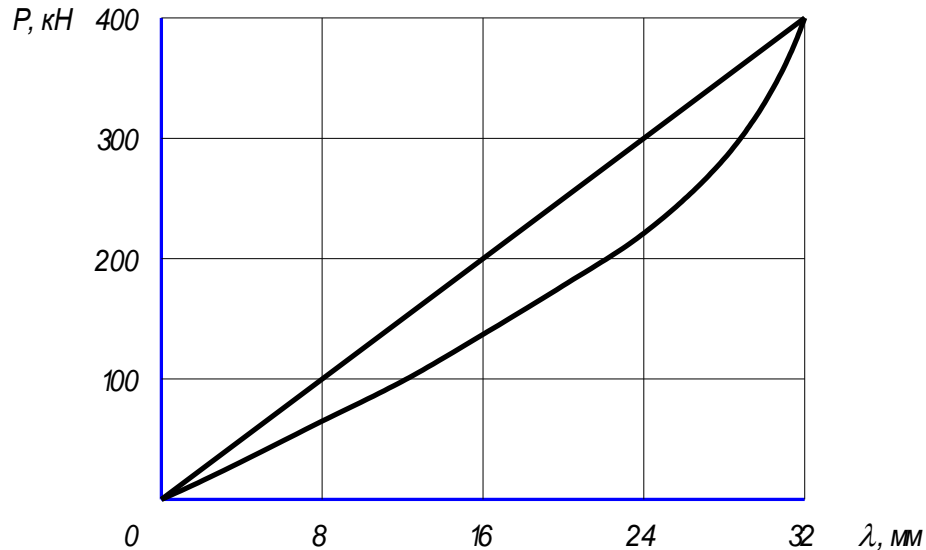


Рисунок 3 – Робоча характеристика амортизатора

Найбільше зусилля стиснення складає $P^* = 400$ кН, найбільше осідання $\lambda^* = 32$ мм, енергоємність амортизатора 6,4 кДж. Матеріал амортизатора - поліуретан серії adipren L-167 с твердістю ShA 95, який має температурний інтервал експлуатації – $50 \leq t^{\circ}\text{C} \leq + 120$.

Крім цього, на платформі передбачена установка адаптера, який забезпечує рівномірний розподіл контактних напружень по площі платформи. Це стабілізує навантаження на всі деталі, що знаходяться між платформою і приводним валом колісної пари. Адаптер також може бути виготовлений з поліуретану серії adipren. Для цієї деталі вимоги до твердості не настільки великі, – можна застосувати матеріал з твердістю ShA (85 ... 95). Це - ерапол 83; adipren L-100 ShA 90; adipren L-167 ShA 95.

Застосування зазначених амортизаторів зменшить паразитні навантаження і поліпшить розподіл напружень, що стабілізує роботу машини і істотно підвищить довговічність її деталей. Крім амортизації паразитних навантажень може бути запропонована періодична (через 6 ... 9 місяців) взаємна заміна приводних і холостих колісних пар, що може підвищити їх ресурс в 1,5 ... 2,0 рази.

ВИСНОВКИ

Вагоноштовхач відноситься до металургійних машин, які відчувають впливу з боку контактують з ним пружних систем. Це призводить до виникнення двох типів навантаження - корисна і шкідлива.

Машинобудування і зварювальне виробництво

У даній роботі були розглянуті і проаналізовані причини виникнення навантажень і яких негативних наслідків це може призвести. Запропоновано розробити та впровадити активні пристрої - амортизатори.

Запропоновано виготовити і встановити два амортизувальних пристроїв. Перше встановлюється на візку порталного вагоноштовхача і є амортизатором. Другий пристрій називається адаптером і дозволяє стабілізувати навантаження на всі деталі, що знаходяться між платформою і приводним валом колісної пари.

Застосування зазначених амортизаторів зменшить паразитні навантаження і поліпшить розподіл напружень, що стабілізує роботу машини і істотно підвищить довговічність її деталей.

Список використаних джерел:

1. *Артюх, В. Г.* Нагрузки и перегрузки в металлургических машинах : монография / В. Г. Артюх. – Мариуполь : ПГТУ, 2008. – 246 с.
2. *Артюх, Г. В.* Амортизация нагрузок в металлургических машинах / Г. В. Артюх // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь. – 1999. – Вып. 4. – С. 160–165.
3. *Артюх, Г. В.* Инженерные проблемы прочности металлургических машин / Г. В. Артюх // Захист металургійних машин від поломок. – Мариуполь. – 2003. – Вип. 7. – С. 85–95.
4. *Артюх, Г. В.* Особенности применения эластомеров для снижения динамических нагрузок в металлургических машинах / Г. В. Артюх // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 1997. – Вып. 2. – С. 155–158.
5. *Артюх, Г. В.* Предохранители на основе эластомеров / Г. В. Артюх, В. Г. Артюх // Захист металургійних машин від поломок. – Мариуполь, 2002. – Вип. 6. – С. 94 – 99.
6. *Артюх, Г. В.* Энергоемкость полиуретановых амортизаторов / Г. В. Артюх // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь, 1999. – Вып. 4. – С. 166 – 172.
7. *Артюх, В. Г.* Основы защиты металлургических машин от поломок : монография / В. Г. Артюх. – Мариуполь : ПГТУ, 2015. – 287 с.

Иванов Е. И., Сергиенко Ю. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ ВАГОНОТОЛКАТЕЛЯ ВРПД 93-110 ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ПАРАЗИТНЫХ НАГРУЗОК

Для перемещения гружёных вагонов и передачи их в вагонопрокидыватель используются вагонотолкатель. Возникающие нагрузки при эксплуатации данного оборудования делятся на полезные и вредные. Наиболее опасными являются динамические нагрузки. Для решения этой проблемы предложено применить активные устройства-амортизаторы. Эти устройства должны обладать функциями буфера, демпфера и адаптера. Применено два амортизирующих устройства. Первое изготавливается из толстостенной трубы и работает на сжатие в осевом направлении. Второе обеспечивает равномерное распределение контактных напряжений по площади платформы. Применённые устройства стабилизируют работу машины и существенно повышают долговечность её

Машинобудування і зварювальне виробництво

работы. При этом адаптер обеспечивает равномерное распределение контактных напряжений по площади платформы. Для всех деталей находящихся между платформой и приводным валом колёсной пары нагрузка стабилизирована. Адаптер изготавливают из специального полиуретана. При этом твёрдость применяемого полиуретана может быть не очень большой. Адаптеры уменьшают паразитные нагрузки и улучшают распределение напряжений, стабилизируют работу машин и существенно повысит долговечность ее деталей. Сделан вывод, что периодические взаимная замена приводных и холостых колесных пар повысит их ресурс в 1,5-2 раза. Разработанные амортизаторы позволяют значительно уменьшить возникающие в период эксплуатации нагрузки и улучшают динамические характеристики устройства. Применённые конструктивные решения по амортизаторам улучшают их эксплуатационные качества, увеличивают долговечность, упрощают конструкцию и снижают стоимость устройства.

Ключевые слова: полезные нагрузки, вредные нагрузки, динамические нагрузки, буфер, демпфер, адаптер, материал адаптера, паразитные нагрузки, колёсные пары, опорные подшипники, эластомеры, динамический модуль упругости.

Ivanov E. I., Sergienko Yu. V.

RESEARCH OF POSSIBILITIES FOR INCREASING THE DURABILITY OF THE MOVEMENT TROLLEY OF VARPД 93-110 CAR TROLLEY BECAUSE OF REDUCING VARIABLE LOADS

For moving of the loaded carriages and transmission of them car pusher is used in car dumper. The nascent loading during exploitation of this equipment is divided by useful and harmful. Most dangerous are the dynamic loading. For the decision of this problem it offers to apply active shock devices-absorbers. These devices must possess the functions of buffer, damper and adapter. Two amortizable devices are applied. The first is made from the thick-walled pipe and works on a compression in axial direction. The second provides even distribution of pin tensions areally platform. The applied devices stabilize work of machine and substantially promote longevity of her work. In this case, the adapter provides uniform distribution of contact stresses over the platform area. For all parts between the platform and the drive shaft of the wheelset, the load is stabilized. The adapter is made of special polyurethane. Moreover, the hardness of the polyurethane used may not be very large. The adapters reduce parasitic loads and improve stress distribution, stabilize machine performance and significantly increase the durability of machine parts. It is concluded that periodic mutual replacement of drive and idle wheelsets will increase their resource by 1.5-2 times. The developed shock absorbers can significantly reduce the loads occurring during the operation and improve the dynamic characteristics of the device. The applied design solutions for shock absorbers improve their performance, increase durability, simplify the design and reduce the cost of the device.

Keywords: are actual loads, harmful loading, dynamic loading, buffer, damper, adapter, material of adapter, parasite loading, wheelpairs, supporting bearing, elastomers, dynamic modulus of elasticity.

Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» О.О. Анділахай
Стаття надійшла 09.11.2020 р.

УДК 621.735.3:621.73.01-02

Каргін Б. С., Вороніна Н. А

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАЗМОВОГО ЗМІЦНЕННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ШТАМПОВОГО ІНСТРУМЕНТУ

Досліджено вплив поверхнево-плазмового зміцнення (ППЗ) на зносостійкість, твердість поверхневого шару і структуру сталей У10 і Х12МФ. Випробування проводили на плазмотроні побічної дії (розробка ДВНЗ «ПДТУ»), що працює на інертному газі аргоні. Зносостійкість оцінювали після випробування зразків на спеціальному пристрої «тертя металу по металу». Час випробувань на зносостійкість склало від 15 до 150 хв. Встановили, що ППЗ забезпечує підвищення експлуатаційного ресурсу штампового інструменту в порівнянні з традиційною базовою технологією зміцнення (загартуванням). Зокрема, твердість поверхні металу збільшується на 100 – 120 НВ, зносостійкість підвищується в 3 рази, а структура зони, зміцненої сталі. Показано, що якісно новий рівень експлуатаційних властивостей штампів досягається при обробці висококонцентрованими джерелами нагріву. Завдяки локальному і надшвидкісному потужній термічній обробці при ППЗ створюється можливість отримання більш високих значень зносостійкості і твердості в порівнянні з об'ємною загартовуванням. У роботі приведена схема плазмового технологічного комплексу, розробленого і випробуваного в ДВНЗ «ПДТУ», зазначені розміри і матеріал зразків для випробувань, дані фотографії структури сталей У10 і Х12МФ після загартовування і поверхневого плазмового зміцнення. У таблицях наведені результати по визначенню твердості зразків і результати випробувань на зносостійкість. Встановлено, що результати структурного аналізу зразків аналогічні тим, що були отримані професором С. С. Сомотугініним.

Ключові слова: *плазмове зміцнення, сталь, штамп, випробування, знос, твердість, структура, зносостійкість, гарт.*

Постановка проблеми. Незадовільна стійкість штампового інструменту в ковальсько-штампувальному виробництві призводить до значних простоїв обладнання, пов'язаних із заміною інструменту і налаштуванням пресів, тому вирішення питань, пов'язаних з підвищенням стійкості штампового інструменту є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зміцнення ріжучого інструменту і інструментів для холодної обробки металів тиском (операції вирубки-пробивання) дозволяє значно підвищити стійкість штампів.

Існує безліч різних способів зміцнення штампів. Одним з них є плазмове зміцнення. Якісно новий рівень експлуатаційних властивостей сталей досягається при обробці висококонцентрованими джерелами нагріву. Завдяки локальному і надшвидкісному тепловому впливу створюється можливість отримання більш високих значень твердості, міцності, в'язкості в порівнянні з об'ємним загартовуванням і традиційними засобами поверхневого зміцнення. Це обумовлено, перш за все, наявністю в поверхневому шарі високодисперсної метастабільної структури [1-3].

Мета роботи - дослідити вплив плазмового поверхневого зміцнення (ППЗ) на властивості штампового інструменту. Зокрема, встановити вплив ППУ на зносостійкість, твердість, структуру вуглецевих і низьколегованих інструментальних сталей, застосовуваних для виготовлення матриць і пуансонів при холодному деформуванні.

Основний матеріал дослідження. Установка плазмового технологічного комплексу, створеного в ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», показана на рис. 1.

Основним інструментом для здійснення процесу поверхневої модифікації є плазмотрон непрямої дії з секціонованою міжелектродною вставкою (рис. 2), що працює на інертному газі і має оптимальні конструктивні параметри [4].

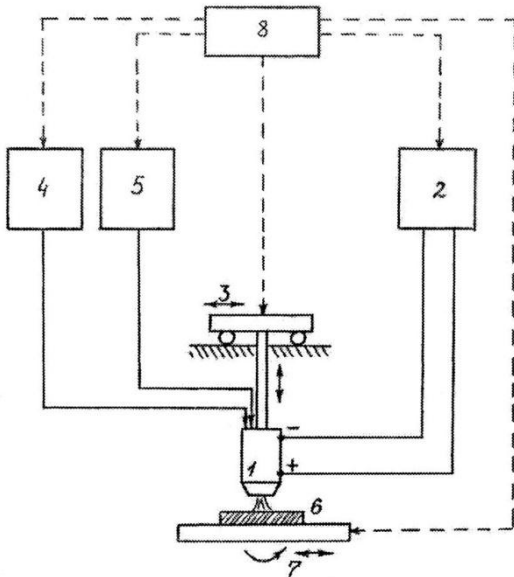


Рисунок 1 – Схема плазмового технологічного комплексу:

- 1 - плазмотрон; 2 - джерело живлення плазмового струменя; 3 - механізм переміщення плазмового струменя;
- 4 - система подачі плазмуутворюючого газу;
- 5 - система охолодження плазмотрона;
- 6 - оброблюваний виріб; 7 - механізм переміщення виробу; 8 - система автоматичного (комп'ютерного) контролю і регулювання технологічного процесу

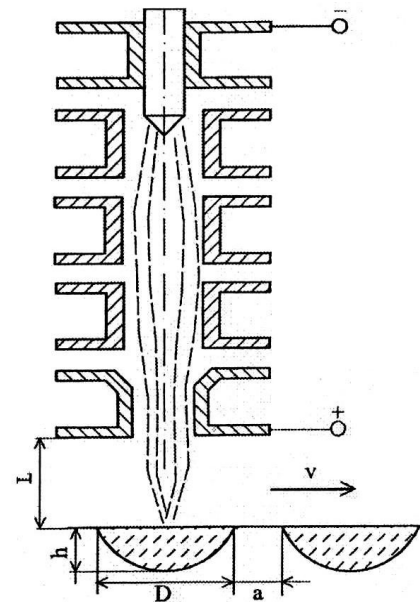


Рисунок 2 – Схема плазмотрона для поверхневої обробки

В якості вихідних зразків застосовувалися циліндри (матеріал зразків сталь Х12МФ (ГОСТ 5950-2000) і сталь У10 (ГОСТ 1435-99)) з розмірами $D_0: h_0 = 50: 20$ мм. Для підвищення достовірності даних дослідження проводилися на зразках однакової маси і розмірів.

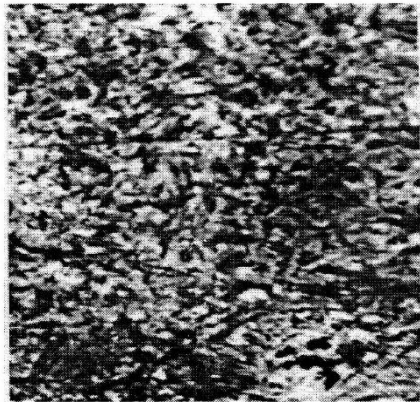
Експерименти були проведені в декілька етапів:

1. Об'ємний гарт зразків;
2. Аналіз структури зразків після гарту;
3. Поверхнево-плазмове зміцнення;
4. Вивчення структури зміцнених зразків;
5. Зміна твердості оброблених зразків;

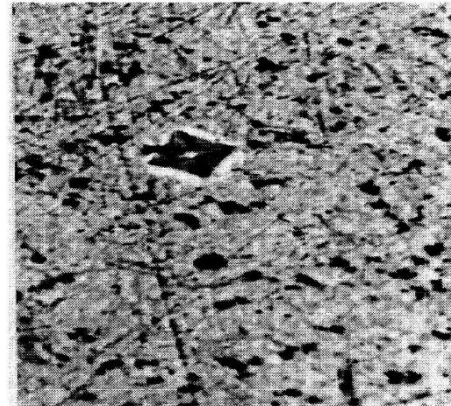
Машинобудування і зварювальне виробництво

6. Проведення дослідження зносостійкості зміцнених зразків.

На фотографіях (рис. 3, 4) можна спостерігати, що структура зони, зміцненої ППЗ, складається з мартенситу, залишкового аустеніту і карбідів, що за ступенем дисперсності значно перевершує структуру загартованої сталі.

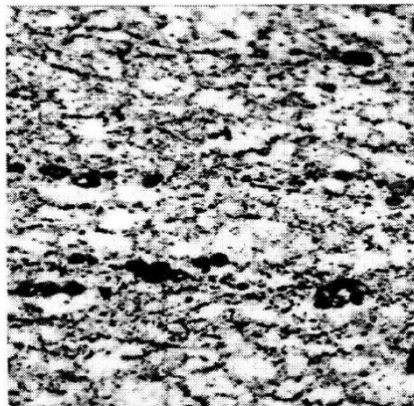


а)

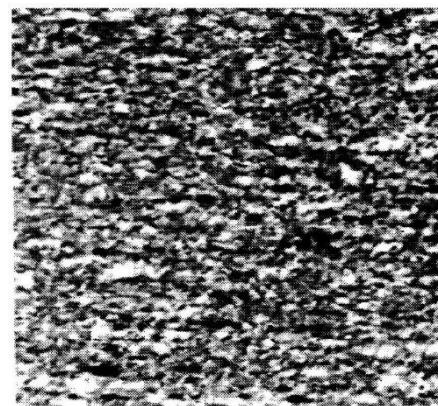


б)

Рисунок 3 – Структура сталі У10 (збільшення $\times 400$):
а - після об'ємної гарту; б - після поверхневого плазмового зміцнення



а)



б)

Рисунок 4 – Структура сталі Х12МФ (збільшення $\times 400$):
а - вихідна структура; б - після поверхневого плазмового зміцнення

Кількісною характеристикою зносостійкості в даній роботі є коефіцієнт зносостійкості, який визначали за відомою залежністю:

$$\hat{E}_z = \frac{\Delta m_1}{\Delta m_2}, \quad (1)$$

де Δm_1 і Δm_2 - відповідно втрати в масі досліджуваного зразка-еталона і зміцненого зразка при терті в заданих умовах протягом заданого часу.

Твердість зразків визначали після об'ємної гарту в маслі і після ППЗ. Дані представлені в таблиці 1.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Дослідження зносостійкості зразків проводили на спеціальній установці «тертя металу по металу». Час випробувань на зносостійкість знаходилося в межах від 15 до 150 хв.

Таблиця 1 – Результати по визначенню твердості зразків

Марка сталі	загартування		Режим плазмової обробки		Твердість HV		
	t ₃ , °C	охладжуюче середовище	I, A	V × 10 ⁻³ м/с	В початковому стані	Після об'ємного гарту	Після плазмової обробки
У10	800	масло	400	7,0	205-220	740-755	865-885
X12МФ	1050	масло	400	8,3	250-265	730-750	850-865

Таблиця 2 – Результати випробувань на зносостійкість (сталь У10)

Вид зміцнення	Час, хв.									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
загартування	1,20	1,17	1,15	1,14	1,12	1,09	1,07	1,04	1,02	1,00
ППЗ	4,32	4,30	4,29	4,27	4,22	4,19	4,10	4,04	3,99	3,95

Таблиця 3 – Результати випробувань на зносостійкість (сталь Х12МФ)

Вид зміцнення	Час, хв.									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
загартування	1,23	1,21	1,19	1,17	1,11	1,08	1,06	1,04	1,03	1
ППЗ	3,55	3,53	3,5	3,48	3,46	3,43	3,39	3,35	3,34	3,3

Результати випробувань на зносостійкість сталі У10 і Х12МФ показали, що при поверхнево-плазмовому зміцненні (ППЗ) відбувається значне підвищення зносостійкості приблизно в 3 рази. Проведений аналіз твердості дозволив встановити, що при ППЗ твердість поверхні зразків збільшується на 100 - 120 НВ на глибину до 1,5 мм. Це обумовлено утворенням в зміцненій зоні мартенситу переважно пластинчастої морфології з надвисоким ступенем дисперсності. Надшвидкісне нагрівання та охолодження при плазмовому гарту призводить до підвищення дефектності структури, оскільки посилюються фазовий наклеп, гальмуються процеси відпочинку і рекристалізації, і більш повно успадковуються дефекти γ - фази. При цьому відбувається подрібнення блоків, підвищення щільності дислокації і збільшення мікронапруг в кристалічній решітці. Швидкісний плазмовий нагрів до околосолідусних температур викликає також більш інтенсивне, ніж при об'ємному загартуванню, розчинення карбідної фази і додаткове насичення твердого розчину вуглецем і легуючими елементами. У той же час при охолодженні з твердого розчину виділяються високодисперсні карбідні частинки, рівномірно розподілені в мартенситній матриці. Це свідчить про частковий самовідпуск мартенситу. Аналогічні результати по аналізу структури були представлені в роботі С. С. Самотугіна [4, 5].

ВИСНОВКИ

Поверхнево-плазмове зміцнення штампового інструменту забезпечує підвищення експлуатаційного ресурсу в порівнянні з базовою технологією зміцнення (загартуванням).

Список використаних джерел:

1. *Самотугин, С. С.* Влияние конструктивных параметров плазмотрона на эффективность поверхностного упрочнения инструментов / *С. С. Самотугин, И. И. Пирч, В. А. Мазур* // Тезисы докладов IX региональной научно-технической конференции. – Мариуполь, 2002. – Т. 1. – С. 137–138.
2. *Кухтаров, В. И.* Холодная штамповка / *В. И. Кухтаров*. – М. : Машгиз, 1956. – 175 с.
3. Плазменное поверхностное упрочнение / *Л. К. Лецинский [и др.]*. – К. : Техника, 1990. – 109 с.
4. Материаловедение : учебник для высших технических заведений / *Б. Н. Арзамасов [и др.]*. – М. : Машиностроение, 1986. – 302 с.
5. *Самотугин, С. С.* Плазменное упрочнение инструментальных материалов / *С. С. Самотугин, Л. К. Лецинский*. – Донецк : Новый мир, 2002. – 338 с.

Каргин Б. С., Воронина Н. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Исследовано влияние поверхностно-плазменного упрочнения (ППУ) на износостойкость, твердость поверхностного слоя и структуру сталей У10 и Х12МФ. Испытания проводили на плазмотроне косвенного действия (разработка ГВУЗ «ПГТУ»), работающем на инертном газе аргоне. Износостойкость оценивали после испытания образцов на специальном устройстве «трение металла по металлу». Время испытаний на износостойкость составило от 15 до 150 мин. Установили, что ППУ обеспечивает повышение эксплуатационного ресурса штампового инструмента по сравнению с традиционной базовой технологией упрочнения (закалкой). В частности, твердость поверхности металла увеличивается на 100 – 120 НВ, износостойкость повышается в 3 раза, а структура зоны, упрочненной стали. Показано, что качественно новый уровень эксплуатационных свойств штамповых сталей достигается при обработке высококонцентрированными источниками нагрева. Благодаря локальному и сверхскоростному тепловому воздействию при ППУ создается возможность получения более высоких значений износостойкости и твердости в сравнении с объемной закалкой. В работе приведена схема плазменного технологического комплекса, разработанного и испытанного в ГВУЗ «ПГТУ», указанные размеры и материал образцов для испытаний, даны фотографии структуры стали У10 и Х12МФ после закалки и поверхностного плазменного упрочнения. В таблицах приведены результаты по определению твердости образцов и результаты испытаний на износостойкость. Установлено, что результаты структурного анализа образцов аналогичны тем, что были получены профессором С. С. Самотугиным.

Ключевые слова: *плазменное упрочнение, сталь, штамп, испытание, износ, твердость, структура, износостойкость, закалка.*

Kargin B. S., Voronina N. A.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SURFACE-PLASMA HARDENING ON THE WEAR RESISTANCE OF A PUNCH TOOL

The effect of surface-plasma hardening (SPH) on the wear resistance, hardness of the surface layer and the structure of U10 and Kh12MF steels is investigated. The tests were carried out on an indirect plasma torch (developed by the Pryazovskyi State Technical University) operating on an inert argon gas. Wear resistance was evaluated after testing the samples on a special device "metal-to-metal friction". The wear test time ranged from 15 to 150 minutes. It was found that PPU provides an increase in the operational life of a stamping tool in comparison with the traditional basic technology of hardening (hardening). In particular, the hardness of the metal surface increases by 100 – 120 HB, the wear resistance increases by 3 times, and the structure of the zone of hardened steel. It is shown that a qualitatively new level of operational properties of stamped steels is achieved by processing with highly concentrated heat sources. Due to the local and ultra-high-speed thermal effects during PUF it is possible to obtain higher values of wear resistance and hardness in comparison with volume hardening. The paper gives a diagram of a plasma technological complex developed and tested at the Pryazovskyi State Technical University, the indicated dimensions and material of test samples, photographs of the structure of U10 and Kh12MF steel after quenching and surface plasma hardening are given. The tables show the results for determining the hardness of the samples and the results of tests for wear resistance. It was established that the results of the structural analysis of the samples are similar to those obtained by Professor S. S. Samotugin.

Keywords: *plasma hardening, steel, bars, test, wear, hardness, structure, wear resistance, hardening.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С. С.
Стаття надійшла 09.11.2020 р.*

УДК 621.981.1

Кухар В. В., Нагнібеда М. М.

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ГНУТТІ З ПОСЛІДОВНИМ ЗМЕНШЕННЯМ ВНУТРІШНЬОГО РАДІУСУ

У роботі виконано стислий огляд методів дослідження залишкових напружень та деформацій при гнутті листових заготовок. Існуючі тенденції металообробки свідчать, що гнуття заготовок з листового металу широко розповсюджено завдяки високій ефективності використання матеріалу та продуктивності виробництва, що вимагає врахування таких важливих факторів, як властивості матеріалу, пружинення і наявність остаточних напружень, які, в свою чергу, приводять до невідповідності кінцевої геометрії та розмірів профілів відповідно їх креслень та приймально-здавальних характеристик. Було проведено аналіз останніх досліджень і публікацій, що виявив недостачу уваги приділяємої таким важливим питанням як, вибір матеріалу профілів, підсилення профілів за рахунок додаткових конструкційних елементів, та розвиток методики розрахунку напружено-деформованого стану гнутих профілів. Використана методика розрахунку компонентів тензорів та величин залишкових напружень при гнутті листових заготовок, в яку впроваджено математичні моделі деформаційного зміцнення сталей 08кп, 10ХНДП, 3Гпс та 09Г2. Методика враховує не лише модель матеріалу, а й внутрішній радіус гнуття заготовки, що зменшується по технологічним переходам. Використання даної математичної моделі дає значну перевагу у порівнянні із класичними, основаними лише на геометричних параметрах заготовок. В якості прикладу виконано розрахунок та порівняльний аналіз характеристик напружено-деформованого стану при гнутті заготовок з послідовним зменшенням внутрішнього радіусу. Отримані закономірності зміни напружено-деформованого стану у поперечному перерізі, на зовнішньому та внутрішньому радіусах заготовок із врахуванням вказаних матеріалів при гнутті. Показана доцільність використання додаткових конструкційних елементів для підсилення профілів та економії матеріалу.

Ключові слова: послідовне гнуття, листова заготовка, зменшення радіусу, деформаційне зміцнення, напруження, залишкові напруження, холодногнутий профіль

Постановка проблеми. Останні тенденції у сфері металообробки показують, що гнуття заготовок з листового металу набуло широкого розповсюдження завдяки високій ефективності використання матеріалу та продуктивності виробництва [1, 2]. Зростаючі вимоги до виробів кидають виклик характеристикам та функціональним можливостям як інструменту, так і матеріалу заготовок, що згинають [3, 4]. Неврахування таких важливих факторів, як властивості матеріалу, пружинення і наявність остаточних напружень, приводить до невідповідності кінцевої геометрії та розмірів профілів щодо їх креслень та іншого комплексу приймально-здавальних характеристик. Врахування внутрішнього радіусу гнуття заготовки та деформаційного зміцнення дозволяє спрогнозувати пружинення заготовки після деформації із похибкою у 3 %, що на 8 % успішніше від прогнозування за базовою емпіричною моделлю, що враховувала лише геометричні параметри заготовки [5].

Тому тема дослідження, що спрямована на удосконалення методики розрахунку напруженого стану і залишкових напружень при гнутті листових заготовок із послідовним зменшенням внутрішнього радіусу за рахунок врахування властивостей матеріалів при деформаційному зміцненні є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Роботи присвячені цій темі вивчають ефект пружинення використовуючи як данні власних експериментів, так і данні кінцево-елементного моделювання [6, 7]. Однак у даних роботах недостатньо уваги приділяється впливу різних матеріалів на кінцевий результат дослідження. Проводяться дослідження з пошуку найкращих марок сталей для різних галузей промисловості, але маркам сталей конструкційного призначення та більш доступного сегменту не приділяється увага [2, 8, 9]. Також немає інформації, щодо використання додаткових конструкційних елементів для підсилення профілів, таких як повздожні рифти. Сучасні експериментальні, чисельні та кінцево-елементні методики розрахунку напружено-деформованого стану листових заготовок при гнутті потребують уточнень [10–12]. Розробка методики для розрахунку напружень при кінцевій формозміні має бути науково-обґрунтована і базуватись на результатах теоретичних розрахунків.

Мета дослідження. Метою роботи є розрахунок за математичною моделлю напружено-деформованого стану і залишкових напружень листових заготовок з різних матеріалів при згинальних операціях зі зменшенням внутрішнього радіусу з перспективою оцінки підсилення профілів за рахунок накатки ребер жорсткості.

Основний матеріал дослідження. Було апробовано метод теоретичних досліджень напружено-деформованого стану заготовки при гнутті. Раніше було розроблено математичну модель (1) і (2) процесу гнуття для визначення напружено-деформованого стану у вигляді компонент тензору напружень $\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z$ та залишкових напружень у матеріалі з врахуванням його деформаційного зміцнення [13, 14] (σ_s – опір матеріалу пластичній деформації, МПа). Прийmemo: R_H, R_B, r, ρ – зовнішній, внутрішній, поточний та нейтральний радіуси при гнутті (рис. 1).

При $R_H = r \geq \rho$ маємо:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_s \ln \frac{R_H}{r} + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} - 4 + \frac{3}{2} R_H R_B \left(\frac{1}{r^2} + \frac{5}{3\rho^2} \right) \right]; \\ \sigma_\varphi &= \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_s \left(\frac{3}{2} \ln \frac{R_H}{r} - 2 \right) + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} + \frac{5}{2} R_H R_B \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{\rho^2} \right) \right]; \\ \sigma_z &= \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_s \left(\frac{3}{2} \ln \frac{R_H}{r} - 1 \right) + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} - 2 + \frac{1}{2} R_H R_B \left(5 \frac{1}{\rho^2} - \frac{1}{r^2} \right) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де M – момент, що вигинає.

При $R_H = r \leq \rho$:

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_s \ln \frac{R_B}{r} + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} - 4 + \frac{3}{2} R_H R_B \left(\frac{1}{r^2} + \frac{5}{3\rho^2} \right) \right]; \\ \sigma_\varphi &= \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_s \left(\frac{3}{2} \ln \frac{R_B}{r} - 2 \right) + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} + \frac{5}{2} R_H R_B \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{\rho^2} \right) \right]; \\ \sigma_z &= \frac{1}{\sqrt{3}} \sigma_s \left(\frac{3}{2} \ln \frac{R_B}{r} - 1 \right) + \frac{M}{K} \left[3 \ln \frac{r}{\rho} - 2 + \frac{1}{2} R_H R_B \left(5 \frac{1}{\rho^2} - \frac{1}{r^2} \right) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

У формулах (1–2) значення K розраховують як [15, 16]:

$$K = -3 \left(\frac{R_H^3 - R_B^3}{2} \right) \left(\ln \frac{R_H}{R_B} - \frac{1}{2} \right) + \frac{5}{2} R_H R_B \rho \left[\ln \frac{R_H}{R_B} - \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{R_H^2 - R_B^2}{2} \right) \right]. \quad (3)$$

При цьому була використана модель опису зміцнення матеріалу (4), яку було отримано по результатах власних досліджень для сталі 08кп [17]. Також ці данні були порівняні із іншими марками сталей [18], які описують рівняння зміцнення (5)–(7).

$$\text{- 08кп:} \quad \sigma_s = (\sigma_i)_{08kp} = 48,038 \ln(\varepsilon_i) + 601,085; \quad (4)$$

$$\text{- 10ХНДП:} \quad \sigma_{S_2} = (\sigma_i)_{10HNDP} = -3869,2\varepsilon_i^2 + 1777,0\varepsilon_i + 233,14; \quad (5)$$

$$\text{- 3Гпс:} \quad \sigma_{S_3} = (\sigma_i)_{3Gps} = -5527,6\varepsilon_i^2 + 2273,3\varepsilon_i + 262,74 \quad (6)$$

$$\text{- 09Г2:} \quad \sigma_{S_4} = (\sigma_i)_{09G2} = -762,53\varepsilon_i^2 + 673,06\varepsilon_i + 410,86 \quad (7)$$

де ε_i – інтенсивність деформацій, що розраховують попередньо [15, 16, 18].

На основі отриманого аналітичного апарату для розрахунку напружено-деформованого стану та залишкових напружень [13, 14] було розроблено програмне забезпечення у системі РТС Mathcad Prime 5.0.0.0. У результаті виконаного розрахунку за схемою (див. рис. 1) та розробленій математичній моделі були отримані данні та побудовані графічні залежності розподілу залишкових напружень у середині заготовки за фіксованого значення внутрішнього ($R_B = S_0 = 1,4$ мм) радіуса (рис. 2).

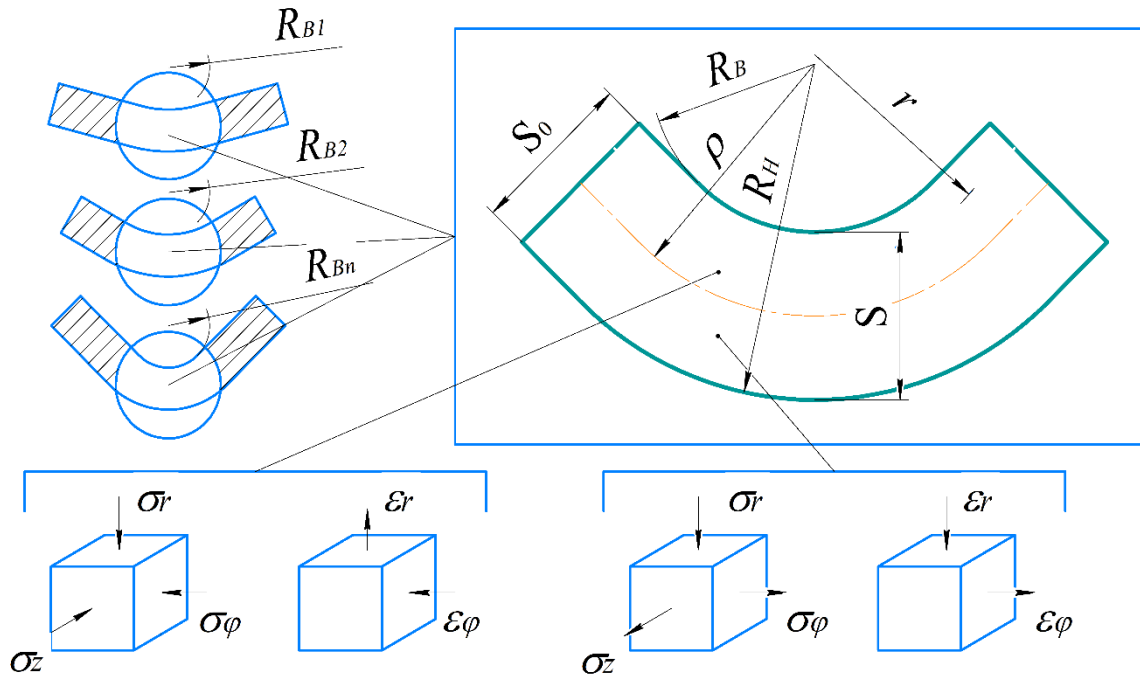
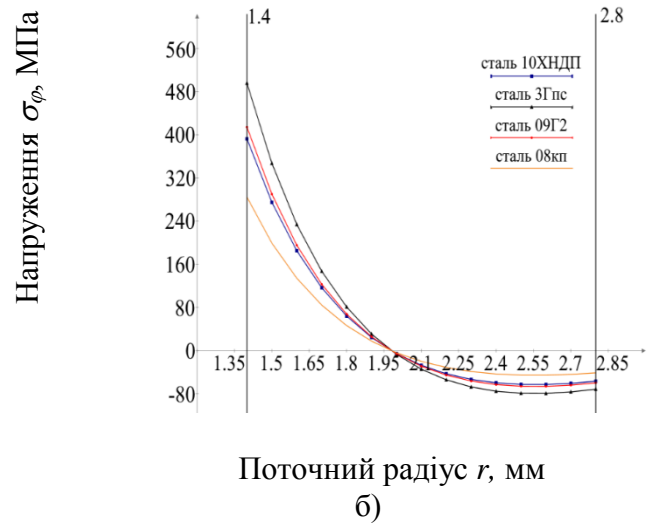
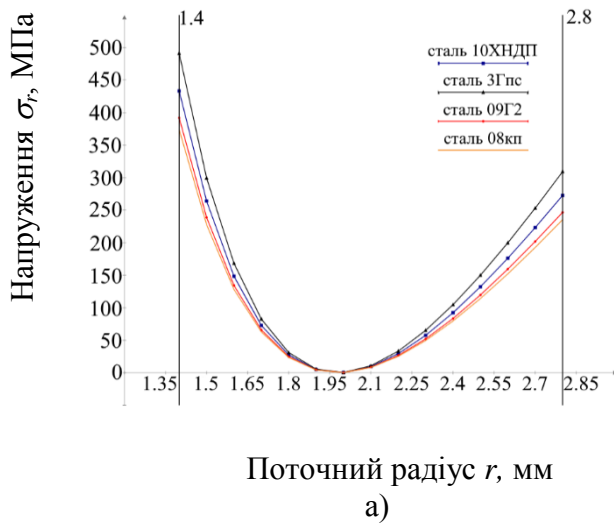


Рисунок 1 – Схема напружено-деформованого стану при гнутті заготовки: S_0 та S – початкова та поточна товщина; R_H , R_B , r , ρ – зовнішній, внутрішній, поточний, нейтральний радіуси



Машинобудування і зварювальне виробництво

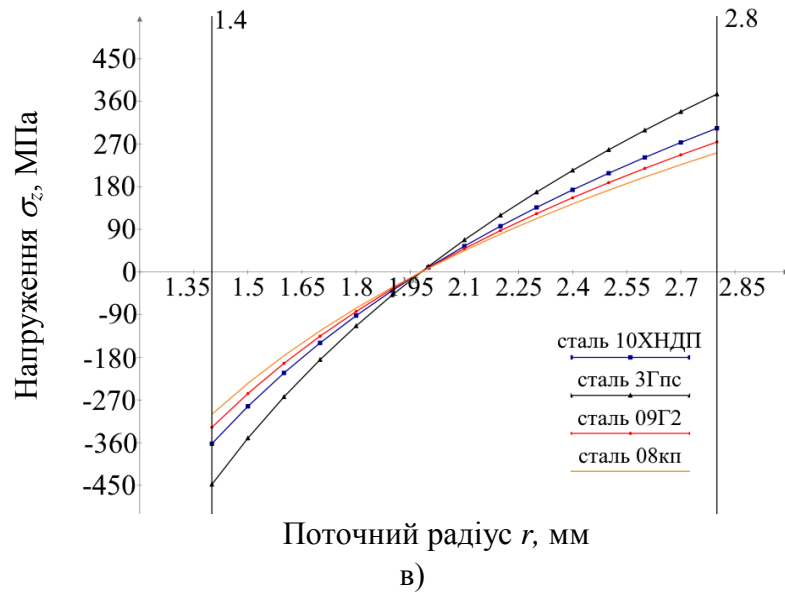
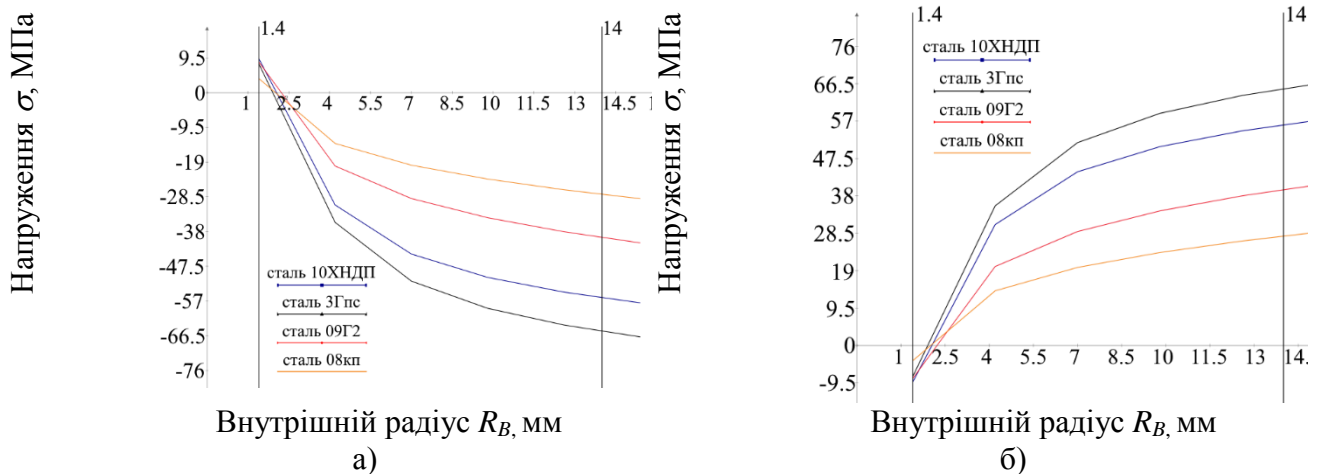


Рисунок 2 – Розподіл напружень у середині заготовки за фіксованого значення внутрішнього радіуса $R_B = S_0 = 1,4$ мм: а) σ_r ; б) σ_φ ; в) σ_z .

Також було проведено розрахунок зміни компонентів тензора напружень для внутрішньої та зовнішньої сторони ділянки, що згинають із зменшенням внутрішнього радіусу R_B (рис. 3).

Показано, що залишкові напруження мають суттєвий вплив на величину пружинення профілю при знятті навантаження. Показана необхідність врахування кількості переходів, а також значення внутрішнього радіусу заготовки по переходах із врахуванням моделі матеріалу заготовки. З аналізу графіків встановлено, що на внутрішньому шарі заготовки сконцентровані стискаючі напруження, що зменшуються із розподілом напружень по товщині заготовки до зовнішнього радіусу. Характеристики міцності гнутих профілів суттєво залежать від властивостей їх матеріалу, форми калібрів та кількості технологічних проходів.



Машинобудування і зварювальне виробництво

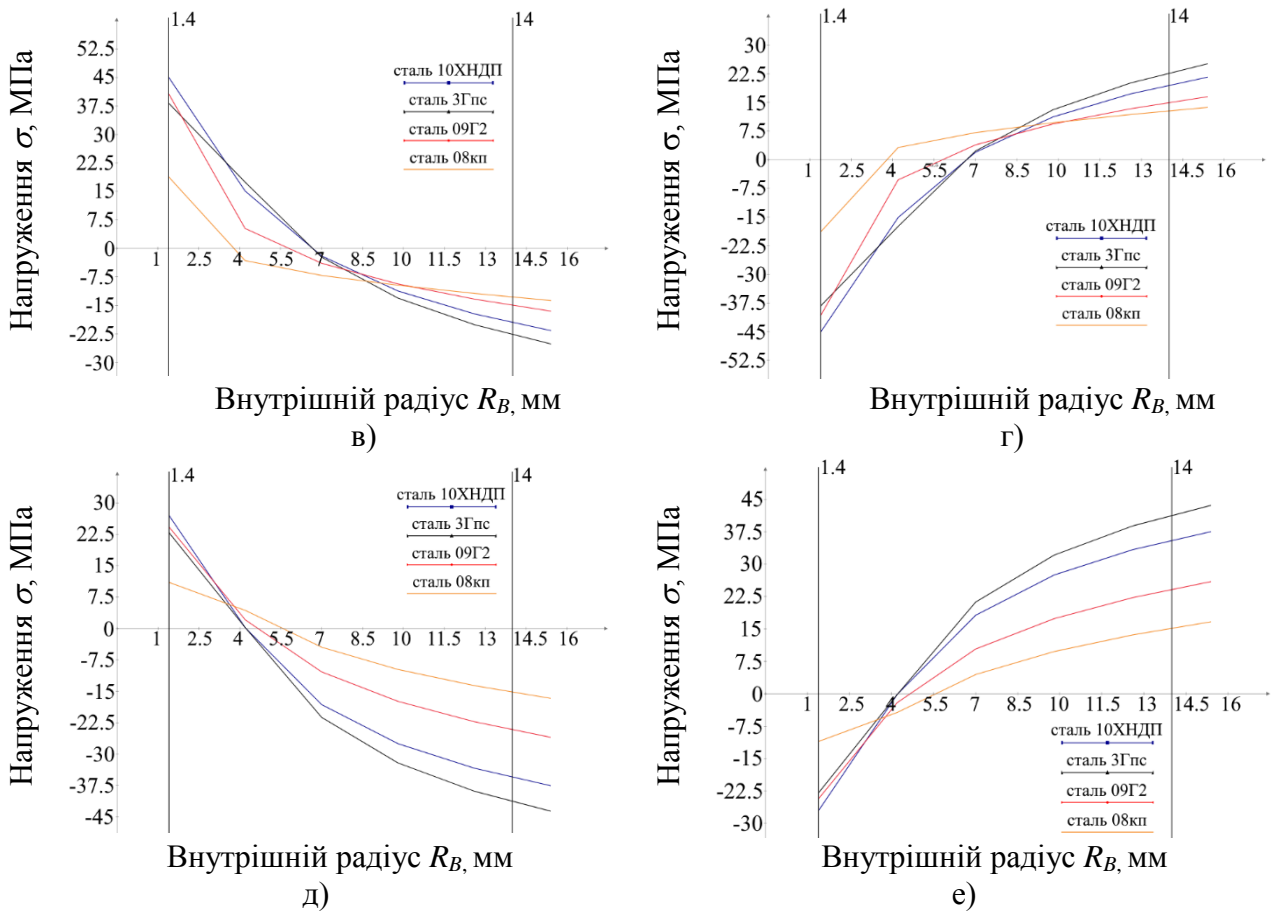


Рисунок 3 – Зміна компонентів тензора напружень для ділянки, що згинають, у залежності від внутрішнього радіусу R_B та за фіксованого значення $r = \square$: а) σ_r внутрішня ділянка; б) σ_r зовнішня ділянка; в) σ_ϕ внутрішня ділянка; г) σ_ϕ зовнішня ділянка; д) σ_z внутрішня ділянка; е) σ_z зовнішня ділянка.

Встановлено що, серед моделей матеріалів, що були вибрані для розрахунку, показники жорсткості, починаючи із найгіршого і закінчуючи найкращим, розподілились у наступному порядку: сталь марки 08кп, сталь марки 09Г2, сталь марки 3Гпс, сталь марки 10ХНДП. Ту ж саму тенденцію можна спостерігати скориставшись будь-яким марочником сталі. Таким чином, у рамках наданого розрахунку найкращі міцнісні характеристики показує сталь марки 10ХНДП, а найгірші сталь марки 08кп. Дана тенденція спостерігається у всіх розрахунках, як для напруження у середині заготовки за фіксованого внутрішнього радіуса $R_B = S_0 = 1,4$ мм, так і для показників компонентів тензора напружень для ділянки, що згинають у залежності від внутрішнього радіусу R_B та за фіксованого значення $r = \square$.

ВИСНОВКИ

Таким чином, методика розрахунку напружено-деформованого стану гнутого профілю при послідовному гнутті заготовки із врахуванням моделі зміцнення матеріалу та зменшення внутрішнього радіусу гнуття дозволяє більш точно прогнозувати деформації та переміщення

у заготовці на стадії проектування технологічної документації. Завдяки врахуванню моделі зміцнення матеріалу та внутрішнього радіуса, що зменшується по технологічних переходах, є змога не лише просто порівняти результати розрахунку у теорії, а й підсилити профіль за рахунок додаткових конструкційних елементів на полицях листових заготовок. Використання таких впроваджень дозволить підвищити міцнісні характеристики із досягненням економії матеріалу.

Перелік використаних джерел:

1. Recent development trends in metal forming / Z. Gronostajski, Z. Pater, L. Madej, A. Gontarz, L. Lisiecki, A. Lukaszek-Solek, J. Luksza, S. Mróz, Z. Muskalski, W. Muzykiewicz, M. Pietrzyk, R. E. Sliwa, J. Tomczak, S. Wiewiórowska, G. Winiarski, J. Zasadzinski, S. Ziolkiewicz // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2019. – Vol. 19. – P. 898–941.
2. Satyanarayana, Gupta M. Design and analysis of aircraft sheet metal for spring back effect / M. Satyanarayana Gupta, D. Ramana Reddy // Materials Today : Proceedings 4. – 2017. – P. 8287–8295.
3. Manufacturing of advanced smart tooling for metal forming / J. Cao, E. Brinksmeier, M. Fu, R. X. Gao, B. Lianga, M. Merklein, M. Schmidt, J. Yanagimoto // CIRP Annals. – 2019. – Vol. 68. – P. 605–628.
4. Нагнибеда, Н. Н. Испытания холодногнуемых армирующих профилей открытого типа для определения их прочностных и геометрических характеристик / Н. Н. Нагнибеда, А. О. Крылатов, В. В. Кухарь // Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства : XXIII Міжнар. науково-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених : матеріали конф. (Кременчук, 07–08 квітня 2016 р.) / КрНУ ім. М. Остроградського. – Кременчук, 2016. – С. 70.
5. Improvement of springback prediction accuracy for Z-section profiles in four-roll bending process considering neutral layer shift / A. Wang, H. Xue, S. Saud, Y. Yang, Y. Weib // Journal of Manufacturing Processes. – 2019. – Vol. 48. – P. 218–227.
6. Experimental Research of Spring-Back Effect during Sequential Forming with Different Inner Angle, Thickness and Bending Width of Blank / V. Kukhar, M. Nahnibeda, O. Radushev, O. Markov, O. Anishchenko, A. Prysiaznyi // VIII Ukrainian-Polish Scientific Dialogues : Conference Proceeding. International Scientific Conference (Khmelnyskyi; Kamianets-Podilskyi, 16–19 October 2019 y.) / Khmelnytskyi National University. – Khmelnytskyi, 2019. – P. 50–52.
7. Julsri, W. Study of springback effect of AHS steels using a microstructure based modeling / W. Julsri, S. Suranuntchai, V. Uthaisangsuk // International Journal of Mechanical Sciences. – 2018. – Vol. 135. – P. 499–516.
8. Investigation on the influence of damage to springback of U-shape HSLA steel plates / H. Dai, H. Jiang, T. Dai, W. Xub, A. Luo // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Vol. 708. – P. 575–586.
9. Metal Forming: Specialized Procedures for the Aircraft Industry / W. Koehler, B. Plege, K. F. Sahn, N. Padmapriya // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. – 2017. – 8 p.
10. Experimental and numerical investigations of sheet metal circular bending / P. Viorel, A. S. Saadatou, D. Nedelcu, M. Octavian // Indian Journal of Engineering and Materials Sciences. – 2015. – Vol. 22. – P. 487–496.

11. *Banabic, D.* Sheet Metal Forming Processes, Constitutive Modeling and Numerical Simulation / *D. Banabic.* – Berlin : Springer-Verlag, 2010. – 318 p.
12. Fu, Z. Study on multiple-step incremental air-bending forming of sheet metal with springback model and FEM simulation / *Z. Fu, J. Mo, W. Zhang* // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology/ – 2009. – Vol. 45. – P. 448–458.
13. *Кухарь, В. В.* Теоретичне дослідження напруженого стану та розрахунок залишкових напружень при гнутті профілів відкритого перерізу / *В. В. Кухарь, М. М. Нагнибеда* // Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта : матеріали XVIII Міжнар. науково-техн. конф. (Київ, 29 черв. – 1 лип. 2017 р.). – Київ, 2017. – С. 98–99.
14. *Кухарь, В. В.* Методика розрахунку напружено-деформованого стану листової заготовки при гнутті з урахуванням зміцнення матеріалу / *В. В. Кухарь, О. С. Аніщенко, М. М. Нагнибеда* // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. праць. – Харків, 2017. – Вип. 37 (1259). – С. 36–41. – (Серія : Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії)
15. *Алексеев, Ю. Н.* Введение в теорию обработки металлов давлением, прокаткой и резанием / *Ю. Н. Алексеев.* – Харьков : Изд-во ХГУ, 1969. – 107 с.
16. *Ильюшин, А. А.* Механика сплошной среды / *А. А. Ильюшин.* – М. : Изд-во МГУ, 1990. – 285 с.
17. *Кухарь, В. В.* Испытание армирующих профилей и определение их прочностных и геометрических характеристик / *В. В. Кухарь, Н. Н. Нагнибеда* // Проблемы трибологии = Problems of tribology. – 2016. – № 1 (79). – С. 30–35.
18. Методика определения показателя прочности холодногнутого профиля / *Н. Г. Шемшурова, О. В. Ионова, Н. М. Локотушина, Е. М. Седова* // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением : межрегион. сб. науч. тр. / ГОУ ВПО «МГТУ». – Магнитогорск, 2007. – С. 215–219.

Кухарь В. В., Нагнибеда Н. Н.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ГИБКЕ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ УМЕНЬШЕНИЕМ ВНУТРЕННЕГО РАДИУСА

В работе выполнен краткий обзор методов исследования остаточных напряжений и деформаций при гибке листовых заготовок. Существующие тенденции металлообработки свидетельствуют о том, что гибка заготовок из листового металла широко распространено благодаря высокой эффективности использования материала и производительности производства, что требует учета таких важных факторов, как свойства материала, пружинение и наличие остаточных напряжений, которые, в свою очередь, приводят к несоответствию конечной геометрии и размеров профилей их чертежам и приёмо-сдаточным характеристикам. Был проведен анализ последних исследований и публикаций, который обнаружил недостаток внимания, уделяемого таким важным вопросам как, выбор материала профилей, усиление профилей за счет дополнительных конструктивных элементов, и развитие методики расчета напряженно-деформированного состояния гнутых профилей. Использована методика расчета компонентов тензоров и величин остаточных напряжений при гибке листовых заготовок, в

Машинобудування і зварювальне виробництво

которую внедрены математические модели деформационного упрочнения сталей 08кп, 10ХНДП, 3Гпс и 09Г2. Методика учитывает не только модель материала, но и внутренний радиус гибки заготовки, который уменьшается по технологическим переходам. Использование данной математической модели дает значительное преимущество по сравнению с классическими, основанными только на геометрических параметрах заготовок. В качестве примера выполнен расчет и сравнительный анализ характеристик напряженно-деформированного состояния при гибке заготовок с последовательным уменьшением внутреннего радиуса. Получены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния в поперечном сечении, на внешнем и внутреннем радиусах заготовок с учетом указанных материалов при гибке. Показана целесообразность использования дополнительных конструктивных элементов для усиления профилей и экономии материала.

Ключевые слова: последовательное гибки, листовая заготовка, уменьшение радиуса, деформационное упрочнение, напряжение, остаточные напряжения, холодногнутый профиль.

Kukhar V. V., Nahnibeda M. M.

STRESS-DEFORMED STATE OF SHEET BLANK CONSIDERING THE INFLUENCE OF THE MATERIAL PROPERTIES DURING BENDING WITH CONSTANTLY DECREASING INNER RADIUS

The paper review of methods for the study of residual stresses and strains during bending of sheet blanks. Existing trends in metalworking indicate that bending of sheet metal blanks is widespread due to high material efficiency and production productivity, which requires consideration of such important factors as material properties, springback and the presence of residual stresses, which, in turn, lead to mismatch the final geometry and dimensions of the profiles, their drawings and acceptance characteristics. An analysis of recent studies and publications was carried out, it revealed a lack of attention paid to such important issues as the choice of the material of the profiles, the strengthening of the profiles due to additional structural elements, and the development of the methodology for calculating the stress-strain state of bent profiles. The calculation method of tensor components and values of residual stresses during bending of sheet blanks is used with mathematical models of deformation hardening of steels 08kp, 10HNDP, 3Gps and 09G2. The data of the change of the stress state in the cross section, on the outer and inner radii of the workpieces from the specified materials during bending are obtained. The technique considers not only the material model, but also the inner radius of the workpiece bending, which is reduced by technological transitions. The use of this mathematical model gives a significant advantage over the classical ones based only on the geometric parameters of the blanks. As an example, the calculation and comparative analysis of the characteristics of the stress state during bending of the workpieces with a constantly decreasing inner radius. Regularities of changes in the stress-strain state in the cross section, at the outer and inner radii of the blanks, considering the indicated materials during bending, have been obtained. The expediency of using additional structural elements to strengthen the profiles and save material is shown.

Keywords: multipass bending, sheet blank, radius reduction, deformation hardening, residual stresses, cold-bent shape, springback.

Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Суглобов В.В.
Стаття надійшла 09.11.2020 р.

УДК 621.91

Потлов В. О., Водзянский В. В.

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ВІЛЬНИМ АБРАЗИВОМ

У зв'язку з виникненням потреби в очищенні зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей складної конфігурації від задирок, окалини, окислів, бруду, а також обробки цих поверхонь перед фарбуванням і нанесенням різних типів покриття, виникла необхідність в обробній обробці деталей. Відомі методи ручної очистки деталей не дають необхідного якості обробки поверхонь і є мало продуктивними.

У статті розглянуті деякі методи обробки деталей вільним абразивом. Обробка ведеться в обертових барабанах що не закріплених, так і закріплених деталей. Ці методи є високо продуктивними і автоматизованими.

Цими методами ведеться одночасна обробка великої кількості деталей. Застосовується просте обладнання з нескладної налаштуванням з автоматичним протіканням процесу, а також порівняно не дорога обробляється рідина.

У статті розглянуто метод об'ємної вібраційної обробки. Викладено основні переваги та недоліки цього методу. Також розглянуті основні різновиди цього методу.

Виконаний аналіз різних методів зачистки деталей після лиття і штампування заготовок методом галтовки в порівнянні вібро-ротаційної обробкою показав, що метод вібро-ротаційної обробкою дає кращі технологічні результати під час його застосування у виробництві.

Розглянуто метод відцентрово-ротаційної обробки деталей. Цей метод має високу продуктивність, можливість одночасної обробки заготовок «в навал» великими партіями, можливість переходу від чорнової обробки оздоблювальної обробки шляхом зміни частоти обертання робочої камери без зупинки процесу і можливість механізації і автоматизації допоміжних процесів в циклі обробки.

Визначено основні фактори, що впливають на продуктивність і якість обробки: кут швидкості обертання дна; кут нахилу дна; характеристика робочого середовища; фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу; обсяг завантаження робочої камери; співвідношення обсягів оброблюваних заготовок і обробної середовища; час обробки; наявність і властивості технологічної рідини; вихідна шорсткість заготовок і інші фактори.

***Ключові слова.** Вільний абразив, обертові барабани, об'ємна вібраційна обробка, галтовка, вібро-ротаційна обробка, відцентрово-ротаційної обробки, робоча рідина.*

Постановка проблеми. При оздоблювальної обробці або підготовці деталей перед гальванічним покриттям до поверхонь деталей пред'являються жорсткі вимоги по шорсткості поверхні. Ця шорсткість повинна відповідати діапазону $Ra = 0,8 - 1,6$ мкм. Відомі методи ручної обробки не дозволяють досягти заданої шорсткості і рівномірності обробки по всій поверхні деталі. Ручні методи обробки мають малу продуктивність праці. Тому виникла необхідність механізації і автоматизації даного процесу. Механізація процесу обробки

дозволяє збільшити продуктивність праці в 10 - 15 разів. При обробці також виникають складнощі з закріпленням оброблюваних деталей і ріжучого інструменту. Велика розмаїтість деталей малої маси і недостатньою жорсткості ускладнюють вирішення даних проблем. Вирішувати ці проблеми дозволяє обробка незакріплені деталей в середовищі вільного абразиву і робочої рідини. Пошуку рішень даних проблем присвячена дана робота.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглядаючи технологічні можливості обробки заданих поверхонь деталей, тобто забезпечення необхідної шорсткості і рівномірності обробки, при мінімальній трудомісткості, керуючись рекомендаціями викладеними в [1 – 3], слід виконувати основні умови:

1. Для очищення поверхні необхідно застосовувати робочу рідину з піноутворювальними речовинами, для видалення забруднюючих речовин, які утворюються в процесі обробки.

2. По можливості використовувати абразивний матеріал з гострими крайками, для збільшення продуктивності праці.

3. Застосовувати ретельне перемішування оброблюваних деталей, для забезпечення рівномірної обробки поверхонь деталей.

Мета дослідження. У даній роботі поставлена мета - знайти рішення поставленого завдання і практичними порадами забезпечити її рішення з максимальною якістю і при мінімальних витратах.

Основний матеріал дослідження. На сучасних машинобудівних підприємствах досить часто виникає потреба в очищенні зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей складної конфігурації від окалини, окислів, бруду, а також обробки цих поверхонь перед фарбуванням і нанесенням різних типів покриття.

На механічну обробку зазначених поверхонь витрачається дорогий інструмент або застосовуються шкідливі для навколишнього середовища методи хімічного очищення.

З відомих способів очищення подібних деталей найбільш ефективним і екологічно безпечним є спосіб вібро-абразивної обробки, на спеціальному вібраційному обладнанні, з різними типами приводів, використовуючи одночасно вібро-навантаження деталей. Але як показує досвід експлуатації подібного обладнання, воно недостатньо продуктивне при обробці деталей складної конфігурації.

На основі проведених досліджень було встановлено, що найбільш ефективною при фінішній обробці деталей складної конфігурації є технологія просторової вібро-абразивної обробки.

Для реалізації способу вібро-абразивної обробки деталей складної конфігурації часто використовують обладнання з гідроімпульсним приводом, який забезпечує складний просторовий режим вібро-навантаження.

Гідропривід дозволяє відносно просто регулювати частоту і амплітуду проходження силових імпульсів, і енергію одного робочого ходу по кожному з напрямків вібро-навантаження.

При проведенні експериментальних досліджень гідроімпульсного приводу вимірювалися такі параметри: переміщення виконавчої ланки; тиск в напірній гідролінії гідросистеми приводу; тиск в порожнині гідроциліндрів; витрата енергоносія споживаного гідроприводом, температура робочої рідини.

На сьогоднішній день найбільшого поширення, як в Україні, так і в країнах ближнього і далекого зарубіжжя, отримала об'ємна вібраційна обробка.

Суть об'ємної вібро-абразивної обробки полягає в тому, що оброблювані деталі з абразивними тілами поміщають в контейнер, якому надається коливальний рух з певною частотою. За рахунок взаємодії абразивних гранул і деталей, викликаних коливаннями контейнера, відбувається зняття мікрочастинок металу з оброблюваних поверхонь.

Залежно від параметрів коливань, конструктивних особливостей верстатів, характеристик інструменту, хімічного складу робочого розчину досягається різний технологічний ефект - від грубого очищення до тонкої обробки. Час обробки коливається в межах від 20 хвилин до 20 годин.

Деталі складної просторової конфігурації з різних матеріалів часто виготовляють методами литва або об'ємного штампування, що супроводжується утворенням на поверхнях деталей залишків літників і облою. Усунення цих дефектів на операціях формоутворення призводить до значного подорожчання технологічного оснащення. Тому видалення облою з деталей після литва або штампування є трудомісткою технологічною операцією, механізація якої є актуальна.

В даний час чорнова або фінішна обробка деталей зі складно профільними поверхнями здійснюється, як правило, вільним абразивом. До найбільш часто використовуваних методів обробки вільним абразивом відносяться наступні: галтування, вібро-абразивна, турбо-абразивна, магнітно-абразивна, гідро-абразивна обробки, фінішна обробка ущільненим потоком вільного абразиву та ін. В основному ці методи є простими і технологічними і використовуються для обробки широкої номенклатури деталей. За показниками продуктивності і універсальності обробка деталей в середовищі вільних абразивів перевершує більшість традиційних способів з жорсткою кінематичної зв'язком в системі спід.

Розрізняють декілька технологічних схем обробки деталей в середовищі вільного абразиву. Найбільш поширена обробка деталей «в навал», але при обробці великих і нежорстких деталей обробка проводиться з установкою на пристосування.

Розглянемо деякі методи обробки деталей вільними абразивами.

Обробка в обертових об'ємна вібраційна обробка [1].

Галтування - метод обробки деталей в середовищі сипучих тіл, поміщених у обертову робочу камеру, що забезпечує переміщуються щодо відносно один одного.

Цей метод набув широкого поширення в промисловості, завдяки тому що здійснюються:

- одночасна обробка великої кількості деталей;
- простота обладнання та його обслуговування;
- не дефіцитності обробних середовищ;
- автоматичне протікання процесу обробки.

На галтувальному обладнанні, здійснюється видалення задирок, іржі, окалини, притуплення крайок, поліпшення шорсткості поверхні.

Схеми обробки різноманітні, але в основному це обертання циліндричних або гранованих барабанів навколо вертикальної, горизонтальної або нахильної осей з завантаженими в них деталями та обробної середовищем (рис. 1).

До числа параметрів, що визначають результати обробки, відноситься швидкість обертання барабану, його розміри, характеристика і розміри оброблюю-ще середовище, склад ЗОР. Важливе значення має початковий стан оброблюваних заготовок і деталей. Для

Машинобудування і зварювальне виробництво

інтенсифікації обробки деталі можуть бути встановлені на оправках, яким надають додаткове обертання в порожнині барабана (рис. 1).

Незважаючи на простоту реалізації і широкі технологічні можливості даного методу, йому притаманні такі недоліки:

- низька продуктивність внаслідок малих швидкостей обертання галтувального барабану;
- сильний шум, що виникає під час обробки;
- великі додаткові витрати часу, пов'язані з необхідністю розділення робочого середовища і заготовок, мийки заготовок і регенерації робочого середовища після завершення кожної галтувальної операції;
- неможливість обробки тонкостінних, нежорстких і легко деформуючих заготовок;
- виключена можливість одночасної обробки деталей різних геометричних розмірів і ваги, так як при зіткненні з дном барабана важкі деталі будуть деформувати або навіть ламати легші;
- нерівномірність знімання металу з різних ділянок поверхонь деталей складної форми, що мають кишені, ніші та інші внутрішні порожнини.

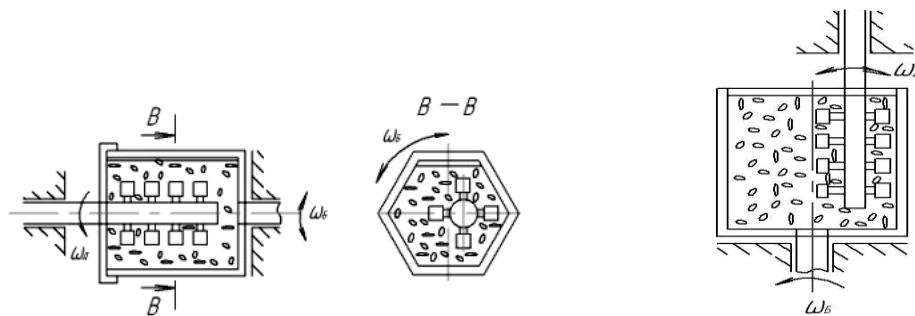


Рисунок 1 – Схеми обробки деталей галтувальним методом - встановлених на оправках, в галтувальних барабанах з вертикальної і горизонтальної осями обертання

Відцентрово-ротаційна обробка є одним з обробно-зміцнюючих методів обробки. Вона займає особливе місце серед відомих методів обробки деталей в середовищі вільного абразиву. До основних переваг відцентрово-ротаційної обробки відносяться:

- висока продуктивність (по продуктивності перевершує галтувальну обробку в 10...30 разів, а вібраційну до 12,5 разів);
 - просте по конструкції обладнання;
 - можливість одночасної обробки заготовок «в навал» великими партіями;
 - можливість переходу від чорнової обробки до чистої шляхом зміни частоти обертання дна камери без зупинки процесу;
 - можливість механізації і автоматизації допоміжних процесів і циклу обробки.
- Сутність відцентрово-ротаційної абразивної обробки відображена на рисунку 2.

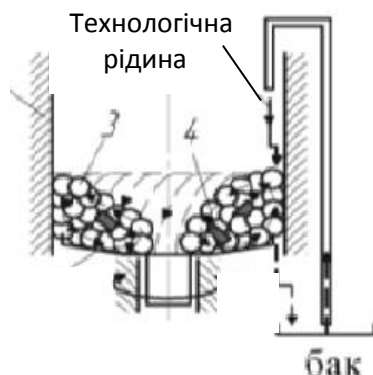


Рисунок 2 – Схема відцентрово-ротаційної обробки деталей «в навал»

У робочу камеру завантажують обробну середу 3 і оброблювані деталі 4 і приводять в обертовий рух навколо вертикальної осі таким чином, що вся маса завантаження набуває форму тора. Тороїдально-гвинтовий потік забезпечується конструкцією робочої камери, утвореної нерухомою обичайкою 1 і прилеглим до неї конічним дном 2, виконаним у вигляді ротора з можливістю обертання навколо власної осі на підшипникових опорах. Для зменшення зносу внутрішні поверхні робочої камери покривають зносостійким матеріалом. Найчастіше використовуються гумові або поліуретанові покриття. Обертання дна зазвичай забезпечується реверсивним електродвигуном або гідродвигуном. Всередину камери під час обробки подають ЗОР.

Обробка здійснюється за рахунок відносного переміщення і взаємодії робочого середовища і оброблюваних деталей. Таким способом можуть оброблятися деталі різної геометричної форми і розмірів, що не деформуються в тороїдально-гвинтовому потоці.

Кутову швидкість обертання ротора призначають зазвичай в діапазоні 6..40 рад/с, а величина завантаження робочої камери не повинна перевищувати 0,5..0,7 обсягу.

Факторів, що впливають на продуктивність і якість обробки:

- кутова швидкість обертання дна;
- кут нахилу дна;
- характеристика робочого середовища;
- фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу;
- обсяг завантаження робочої камери;
- співвідношення обсягів оброблюваних заготовок і обробної середовища;
- час обробки;
- наявність і властивості технологічної рідини;
- вихідна шорсткість заготовок і інші фактори.

Змінюючи частоту обертання дна, змінюють висоту підйому завантаження. Траєкторію руху завантаження всередині валика зміниться, якщо застосувати стакан з гранованими стінками. Збільшення висоти утворююмого валика завантаження і неоднорідності його руху інтенсифікують видалення припуску.

ВИСНОВКИ

Аналіз досліджень показав що метод відцентрово-ротаційної обробки показав, що:

- підвищується продуктивність праці в 10 - 15 разів;
- досягається рівномірність обробки як однієї, так і всіх поверхонь деталі;
- досягається шорсткість оброблених поверхонь в діапазоні $R_a = 0,8 - 1,6$ мкм;
- даний метод значно розширює діапазон оброблюваних деталей;
- даний метод можливо рекомендувати до застосування у виробництво.

Список використаних джерел:

1. *Нечай, Е. В.* Анализ финишных методов обработки деталей в среде свободных абразивов / *Е. В. Нечай, Н. И. Пичугин* // *Вібрації в техніці та технологіях.* – 2010. – № 2. – С. 152–166.
2. *Кулаков, Ю. М.* Отделочно-зачистная обработка деталей / *Ю. М. Кулаков, В. А. Хрульков.* – М. : Машиностроение, 1979. – 216 с.
3. *Шаинский, М. Е.* Проблемы развития виброабразивной обработки в стране / *М. Е. Шаинский, О. Г. Игнатенко, В. А. Власов* // *Виброабразивная обработка деталей* : тр. Всесоюз. научно-техн. семинара. – Ворошиловград, 1978. – С. 3–8.
4. *Цыгановский, А. Б.* Разработка и внедрение технологии гидроабразивной струйно-центробежной обработки мелких деталей : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 : утв. 18.07.90 / *Цыгановский Александр Борисович.* – Москва, 1990. – 270 с.
5. *Субач, А. П.* Динамика процессов и машин объемной и центробежной обработки насыпных деталей / *А. П. Субач.* – Рига : Знание, 1991. – 400 с.
6. *Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах* / *И. Н. Карташов [и др.]*. – К. : Вища школа, 1975. – 188 с.

Потлов В. А., Водзянский В. В.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ

В связи с возникновением потребности в очистке наружных и внутренних поверхностей деталей сложной конфигурации от заусенцев, окалины, окислов, грязи, а также обработки этих поверхностей перед покраской и нанесением различных типов покрытия, возникла необходимость в обрабатывающей обработке деталей. Известны методы ручной очистки деталей не дают необходимого качества обработки поверхностей и мало продуктивными.

В статье рассмотрены некоторые методы обработки деталей свободным абразивом. Обработка ведется во вращающихся барабанах, которые не закрепленных, так и закрепленных деталей. Эти методы являются высоко производительными и автоматизированными.

Этими методами ведется одновременная обработка большого количества деталей. Применяется простое оборудования с несложной настройкой с автоматическим протеканием процесса, а также сравнительно дорога обрабатывается жидкость.

Машинобудування і зварювальне виробництво

В статье рассмотрен метод объемной вибрационной обработки. Изложены основные преимущества и недостатки этого метода. Также рассмотрены основные разновидности этого метода.

Выполненный анализ различных методов зачистки деталей после литья и штамповки заготовок методом галтовки по сравнению вибро-ротационной обработкой показал, что метод вибро-ротационной обработкой дает лучшие технологические результаты при его применении в производстве.

Рассмотрен метод центробежно-ротационной обработки деталей. Этот метод имеет высокую производительность, возможность одновременной обработки заготовок «в навал» большими партиями, возможность перехода от черновой обработки отделочной обработки путем изменения частоты вращения рабочей камеры без остановки процесса и возможность механизации и автоматизации вспомогательных процессов в цикле обработки.

Определены основные факторы, влияющие на производительность и качество обработки: угловая скорость вращения дна; угол наклона дна; характеристика рабочей среды; физико-механические свойства обрабатываемого материала; объем загрузки рабочей камеры; соотношение объемов обрабатываемых заготовок и обрабатывающей среды; время обработки; наличие и свойства технологической жидкости; исходная шероховатость заготовок и другие факторы.

Ключевые слова. *Свободный абразив, вращающиеся барабаны, объемная вибрационная обработка, галтовка, вибро-ротационная обработка, центробежно-ротационной обработки, рабочая среда.*

Potlov V. O., Vodzianskyi V. V.

ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF PROCESSING PARTS WITH FREE ABRASIVE

Due to the need to clean the external and internal surfaces of parts of complex configuration from burrs, scale, oxides, dirt, as well as treating these surfaces before painting and applying various types of coatings, there is a need for finishing processing of parts. Known methods for manual cleaning of parts do not provide the required quality of surface treatment and are not very productive.

The article discusses some methods of processing parts with a free abrasive. Processing is carried out in rotating drums of both non-fixed and fixed parts. These methods are highly productive and automated.

These methods are used to simultaneously process a large number of parts. Simple equipment with simple setup with automatic process flow, as well as relatively inexpensive processed fluid, are used.

The article considers the method of volumetric vibration processing. The main advantages and disadvantages of this method are described. The main varieties of this method are also considered.

The analysis of different methods for stripping parts after casting and stamping blanks using the tumbling method in comparison with vibration-rotation treatment showed that the vibration-rotation treatment method gives the best technological results during its application in production.

Машинобудування і зварювальне виробництво

The method of centrifugal-rotational processing of parts is considered. This method has high productivity, the ability to simultaneously process workpieces "in bulk" in large batches, the ability to switch from roughing to finishing processing by changing the speed of the working chamber without stopping the process, and the possibility of mechanization and automation of auxiliary processes in the processing cycle.

The main factors affecting the productivity and quality of processing are determined: the angular velocity of rotation of the bottom; bottom angle; characteristic of the working environment; physical and mechanical properties of the processed material; loading volume of the working chamber; the ratio of the volumes of processed billets and the processing environment; time of processing; the presence and properties of the process fluid; initial roughness of the workpieces and other factors.

Keywords. *Free abrasive, rotating drums, volumetric vibration processing, tumbling, vibration-rotary processing, centrifugal-rotary processing, working sackcloth.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» О.О. Анділахай
Стаття надійшла 25.02.2020 р.*

УДК 621.91

Потлов В. О.

ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДЦЕНТРОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАЛОЇ МАСИ

На сучасних машинобудівних підприємствах досить часто виникає потреба в вирішенні завдань пов'язаних з оздоблювальною обробкою виготовлених деталей і додання їм товарного вигляду.

На механічну обробку цих деталей витрачається дорогий інструмент, або застосовуються низько продуктивні методи обробки. Ці методи обробки значно підвищують собівартість продукції.

У статті розглянуті деякі методи відцентрової обробки деталей малої маси. Обробка ведеться в робочих камерах, абразивними матеріалами деталей, які знаходяться у не закріпленому стані. Ці методи мають найбільшу ефективність, високу продуктивність, як правило автоматизовані і при цьому залишаються екологічно безпечними.

Даний метод очищення застосовується у велико-серійному і масовому виробництві. Устаткування має досить просту конструкцію, надійно в експлуатації і легко переналагоджується на партію деталей іншого типу розміру.

У статті виконано огляд різних видів устаткування для відцентрової обробки деталей малої маси. Також розглянуті переваги і недоліки даного обладнання для різних видів деталей.

Метод відцентрової обробки має широкий діапазон оброблюваних деталей як за формою так і за розмірами, для обробки деталей не треба застосовувати спеціальні пристосування, вони знаходяться у вільному стані. Як абразиву використовуються різні шліфувальні порошки.

Машинобудування і зварювальне виробництво

В роботі визначені основні конструктивні параметри, які в істотній мірі впливають на якість обробки. До таких параметрів належать частота коливань або обертання робочого контейнеру, траєкторія руху оброблюваних деталей, маса робочого завантаження, час обробки, величина ексцентриситету, матеріал і розміри абразивного матеріалу, фізико-механічні характеристики матеріалу, з якого виготовлені деталі, форма оброблюваних деталей і їх вхідна шорсткість.

У роботі дані рекомендації з вибору форми і конструкції робочої камери, яка дозволить підвищити продуктивність і якість обробки, а так же уникнути залипання деталей і наявність «мертвих зон».

Розроблені конструкції відцентрових установок розширюють технологічні можливості обробки деталей невеликої маси з різних матеріалів і значно знижують час циклу обробки до 25 - 30 хвилин.

Ключові слова. *Відцентрова обробка, залипання деталей, «мертва зона», частота коливань робочого контейнеру, робочого завантаження, величина ексцентриситету обертання, шліфувальні порошки, шорсткість.*

Постановка проблеми. При остаточній обробці деталей, завжди виникали складності пов'язані з якістю продукції і витратами на фінішну обробку. Раніше відомі методи не дозволяли досягти стабільної якості продукції через виникнення явища залипання деталей. Недостатнє зусилля притиснення абразиву до деталей робило процес мало продуктивним, нестабільним і не дозволяли отримувати задану шорсткість по всій поверхні деталі. Застосування відцентрових установок дозволило уникнути дані недоліки. Тому пошук нових конструктивних рішень, для виготовлення відцентрових установок є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для досягнення заданої шорсткості поверхонь, стабільності процесу, зниження трудомісткості обробки деталей, враховуючи рекомендації викладені в [1, 2, 3, 4], необхідно вибирати оптимальну частоту коливань робочої камери, яка забезпечує необхідне зусилля притиснення абразиву до оброблюваної деталі і не дозволяє утворювати залипання деталей і утворення «мертвих зон», враховуючи масу деталей регулювати масу робочої завантаження, застосовувати робочу рідину яка забезпечує надійне змочування оброблюваних поверхонь.

Мета дослідження. У даній роботі поставлена мета - на основі проведення теоретичних і експериментальних досліджень знайти оптимальну конструкцію відцентрової установки для обробки деталей з широким діапазоном форм і розмірів.

Основний матеріал дослідження. Даний пристрій, з розширеними технологічними можливостями шляхом зміни величини ексцентриситету, може бути використан для відцентрової обробки деталей в машинобудівній галузі промисловості, для обробки деталей виготовлених з чорного, кольорового матеріалу та їх сплавів.

Пристрій (рисунок 1) містить нерухому обичайку 1 і дно, що обертається, виконане у вигляді чаші 2 з плоским фланцем 3. Крім того, дно виконано у вигляді ексцентриків 4 і 5 з однаковим ексцентриситетом (e), кінематично взаємопов'язаних за допомогою планетарного механізму 6, керованого фрикційною муфтою 7, силовий циліндр 8, який пов'язаний з блоком управління 9. Планетарний механізм включає сонячну шестерню 10, взаємопов'язану з сателітом 11, вісь якого з'єднана з ексцентриком 4. Крім того, сателіт контактує з коронною шестерню 12, закріплене на чаші 2.

Фрикційна муфта 7 містить гальмівний диск 13, рухомий диск 14 і диск 15, виконаний за одне ціле з коронною шестірнею 12 планетарного механізму. На цій же шестірні розміщено ведене колесо 16, зв'язане з приводом електродвигуна 17. При цьому рухомий диск 14 взаємопов'язаний з силовим циліндром 8.

Пристрій для відцентрової обробки функціонує наступним чином. Пристрій заповнюється об'єктами, які необхідно піддати відцентровій обробці. Після чого включається електродвигун 17, які передає крутний момент на ведене колесо 16, а значить і на пов'язану з ним коронну шестерню 12. При цьому внутрішній ексцентрик 5 займає положення всередині чаші 2, при якому загальний ексцентриситет дорівнює нулю. В цей час рухомий диск 14 знаходиться в контакт з диском 15, що з'єднує вал сонячної шестірні 10 з коронною шестірнею 12 і, як результат, внутрішній ексцентрик 5 нерухомий щодо зовнішнього 4, так як сателіт 11 не може провертатися. Таким чином, початок обробки - запуск здійснюється без наявності ексцентриситету, що зменшує витрати потужності на пуск електродвигуна 17, і в такому режимі можна використовувати для доробки.

В процесі відцентрової обробки можна змінити ексцентриситет шляхом подачі сигналу від блоку управління 9 на силовий циліндр 8. Останній вводить диск 14 в контакт з диском 13, що викликає загальмування шестерні 10 і сателіт 11, обкатування на сонячній шестерні, змінює ексцентриситет при необхідності до максимуму за зростаючій. Це призводить до появи і збільшення коріолісова прискорення, що інтенсифікує процес відцентрової обробки.

Для обробки з певним режимом можна підтримати певне значення ексцентриситету (ε). Для чого диск 14 вводиться в контакт з диском 15. За допомогою блоку 9 можна змінювати ексцентриситет за різними законами, що дозволяє створити складне обертання і інтенсифікувати обробку.

При закінченні обробки спрацьовує блок 9 і за допомогою муфти 7 і планетарного механізму 6 встановлюють чашу в такий стан, що ексцентриситет дорівнює нулю. Потім цикл повторюється.

Відцентрова установка для абразивної обробки деталей різної форми може бути використана в легкій, хімічній та інших галузях промисловості і дозволяє інтенсифікувати процес обробки, а також підвищити якість оброблюваних деталей за допомогою плавної зміни траєкторії руху робочої завантаження (рисунок 2).

Установка інтенсифікує процес обробки і підвищує якості оброблюваних деталей, виготовлених з пластмасових матеріалів за допомогою плавної зміни траєкторії руху робочої завантаження.

Відцентрова установка для абразивної обробки деталей виконана у вигляді конічної обертаємої чаші 1. Всередині чаші на валу 2 встановлено екран 3, виконаний у вигляді рамки, кожна зі сторін якої утворена елементом з поперечним перерізом рівнобедреного трикутника, вершина тупого кута Л якого спрямована всередину екрану. Вал 2 входить верхнім кінцем в гільзу 4, впирається в пружину 5 і фіксується стопорним гвинтом 6 в направляючої канавці 7, що знаходиться в нижній частині гільзи 4. Верхня частина гільзи знаходиться між гальмівними колодками 8, зусилля притиснення яких до гільзі може регулюватися за допомогою гвинтів 9. Установка має завантажувальний люк 10, заслінку 11 і розвантажувальний патрубок 12. Гільза з рамкою обертається в підшипнику 13, який укріплений на кронштейні 14.

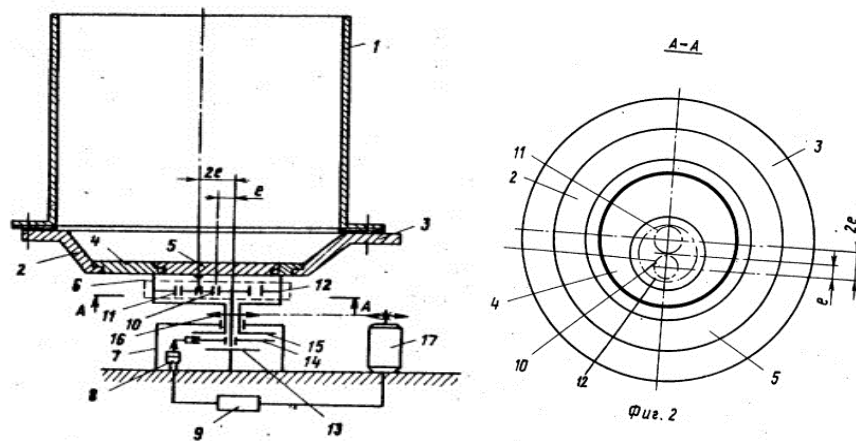


Рисунок 1 – Пристрій для відцентрової обробки

- 1 - нерухома обичайка; 2 – дно; 3 – фланець; 4 і 5 – ексцентрики; 6 – планетарний механізм; 7 – фрикційна муфта; 8 – силовий циліндр; 9 – блоком управління; 10 – сонячна шестерня; 11 – сателіт; 12 – коронна шестірна; 13 – гальмівний диск; 14 – рухомий диск; 15 – диск; 16 – ведене колесо; 17 – електродвигун

Установка працює в таким чином. Через завантажувальний люк 10 подаються оброблювані деталі і наповнювач. При включенні електродвигуна (не показаний) і обертання передається конічній чаші 1. Під дією відцентрових сил робоче середовище притискається до конічної поверхні чаші, утворюючи параболоїд обертання, і захоплює в обертальний рух трапецеїдальну рамку 3. Так як рамка захоплюється в обертальний рух робочим середовищем і обертається з такою ж швидкістю, що і конічна чаша, то оброблювані деталі під дією відцентрових сил розподіляються по поверхні конуса у вигляді параболоїда обертання і залишаються в цьому положенні.

Щоб зруйнувати параболоїд обертання робочого середовища (т. є, змінити траєкторію її руху) і створити ковзний шар, в якому відбувається інтенсивна обробка деталей, необхідно зменшити швидкість обертання гільзи з екраном. Це досягається гальмуванням гільзи гальмівними колодками. При цьому оброблювані деталі з наповнювачем починають огинати ребра рамки, створюється змінний шар, в якому і відбувається інтенсивна обробка деталей.

Для зменшення удару набігання робочого середовища про рамку ребра останньої мають перетин гострокутного трикутника, спрямованого гострим кутом проти обертання конічної чаші. Щоб не відбувалося заклинювання екрану 3, передбачена можливість зворотно-поступального руху валу 2 в гільзі 4 за допомогою направляючої канавки 7, по якій переміщається стопорний вінт.6, укріплений на валу 2. Після закінчення процесу обробки деталей електродвигун відключається, відкривається заслінка 11, і робоче середовище вивантажується через розвантажувальний патрубок 12.

Використання в установці екрану у вигляді трапецеїдальної рамки, яка, захоплюючись в обертальний рух разом з робочим середовищем, гальмується, дозволяє уникнути різкого удару оброблюваного матеріалу про екран, що дуже важливо при обробці пластмасових деталей для поліпшення якості обробки поверхні.

Машинобудування і зварювальне виробництво

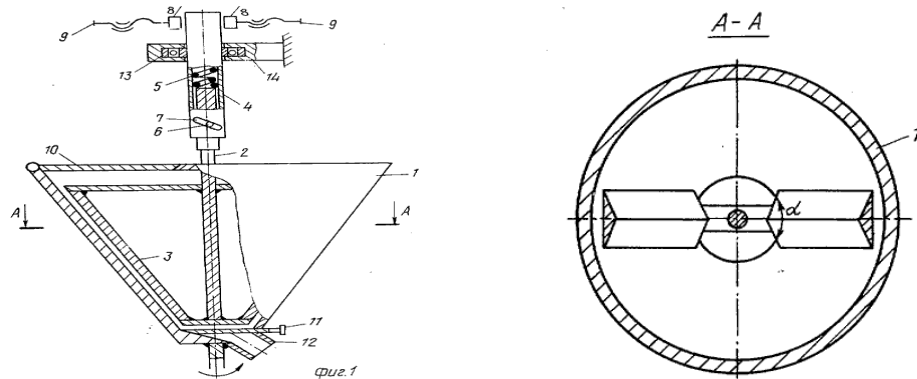


Рисунок 2 – Відцентрова установка для абразивної обробки деталей різної форми:
 1 – обертаєма чаша; 2 – вал; 3 – екран; 4 – гільза; 5 – пружина; 6 – стопорний гвинт;
 7 – направляюча канавка; 8 – гальмівні колодки; 9 – гвинти; 10 – завантажувальний люк;
 11 – заслінка; 12 – розвантажувальний патрубок; 13 – підшипник; 14 – кронштейн

Відцентрова установка для абразивної обробки деталей, що містить конічну обертову чашу, всередині якої змонтований конічний екран, спрямований більшою підставою вгору, що відрізняється тим, що, з метою інтенсифікації процесу обробки і підвищення якості оброблюваних деталей, установка забезпечена гільзою з пружно встановленим в ній з можливістю зворотно-поступального і обертального переміщення валом, жорстко пов'язаним з екраном, виконаним у вигляді рамки, кожна зі сторін якої утворена елементом з поперечним перерізом у вигляді рівнобедреного тупокутного трикутника, вершина тупого кута якого спрямована всередину екрану, причому гільза розташована між введеними в установку гальмівними колодками.

Пристрій для відцентрової обробки деталей малої маси містить робочу камеру з ротором і ущільненням, розташованим на валу, і відрізняється тим, що з метою підвищення його довговічності воно забезпечене склянкою, зверненим відкритим торцем до дону робочої камери і розташованим концентрично на валу ротора з зазором щодо дна, ущільнення розташоване всередині склянки (рис. 3).

Вузол ущільненого валу 1 ротора 2 пристрою для відцентрової обробки складається з сальникової втулки 3, встановленої на дні робочої камери 4, і склянки з поздовжніми ребрами-лопатями 6, закріпленої на валу 1 концентрично йому.

Пристрій працює наступним чином. У робочу камеру 4 завантажуються оброблювані деталі і абразивний матеріал, а рідина подається насосом або через верхню частину робочої камери, або через патрубки 8 в зазор між ротором 2 і днищем камери 4. У порожнині між ротором і днищем камери утворюється надлишковий тиск рідини, в якій знаходяться зважені абразивні частинки. Рідина під дією надлишкового тиску потрапляє в відкриту порожнину склянки 5, піднімається всередині нього до деякого рівня розташованого нижче верхнього торця сальникової втулки 3, утворює всередині склянки закритий повітряний обсяг (повітряну пробку) і знижує його.

При цьому тиск всередині повітряної пробки стає рівним зовнішньому тиску в рідині. Надалі, до закінчення процесу обробки, обсяг повітряної пробки не змінюється. Не

Машинобудування і зварювальне виробництво

змінюється, отже, і рівень рідини всередині склянки. Постійність об'єму повітря всередині склянки забезпечується герметичністю ущільнення валу 1 всередині сальникової втулки 3. Таким чином, абразивні частинки, які постійно перебувають в рідині в підвішеному стані, не потрапляють в зазор між валом 1 і сальниковою втулкою 3 і не зношують ущільнення.

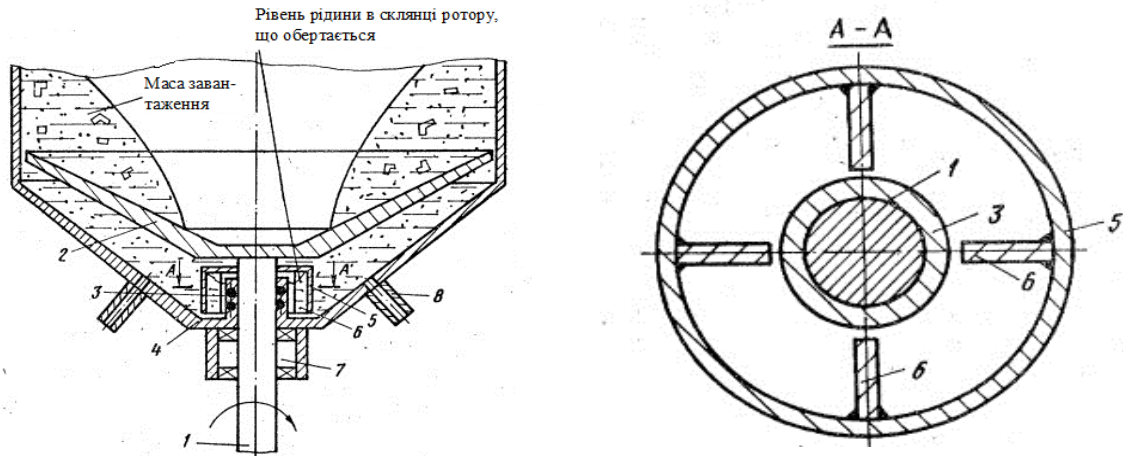


Рисунок 3 – Пристрій для відцентрової обробки деталей малої маси:

- 1 – вал; 2 – ротор; 3 – втулка; 4 – дно робочої камери; 5 – склянка;
6 – поздовжні ребра-лопата; 7 – втулка; 8 – патрубки

При обертанні валу рідина за допомогою ребр-лопатеї розкручується в порожнині склянки, а її вільна поверхня приймає форму параболоїда обертання. Висота стовпа рідини у сальникової втулки стає менше, ніж у внутрішній поверхні склянки, що запобігає потраплянню рідини з абразивом в зону ущільнення валу.

Відцентрова установка для абразивної обробки поверхонь заготовок абразивно-поліруючою масою може використовуватися у машинобудуванні і може бути використана для поверхневої обробки заготовок.

Установка має підвищену продуктивності за допомогою збільшення сил зчеплення між робочою поверхнею заготовок і абразивом. Установка (рисунку 4) містить робочу ємкість, виконану у вигляді обичайки 2 і обертового тарілчастого ротора 1, в дні якого виконана кільцева канавка 4, а на похилих стінках - радіальні канавки 5, з'єднані з кільцевою.

Установка виконана у вигляді обертової робочої ємності, що містить тарілчастий ротор 1, який з мінімальним зазором охоплює нерухома циліндрична обичайка 2. На внутрішній поверхні ротора 1 виконані кільцева канавка 4, котра утворює конічні ділянки радіальної канавки 5, ширина якої позначена буквою К. Краї канавок згладжений. Величина К дорівнює середній грануляції робочого наповнювача. Цифрою 6 позначена робоча траєкторія руху одиничної маси в процесі обробки.

Завантаження контейнера і його вивантаження здійснюються через верхню частину нерухомої обичайки 2.

Установка працює в таким чином. Після завантаження робочої ємності деталями та абразивно-поліруючим наповнювачем від зовнішнього приводу наводиться в обертання ротор 1 в напрямку стрілки w. Вміст контейнера утворює тіло обертання 3 в вигляді тороїда

Машинобудування і зварювальне виробництво

обертання з зімкнутими внутрішніми поверхнями. Одиначна маса при цьому переміщається всередині тіла обертання від центру ротора до його периферії і розгортається по спіралі (ділянка a-b). Підштовхувана новими активно рухомими шарами робочого наповнювача вона переміщається по гвинтовій лінії уздовж обичайки (ділянка b - c) та виштовхується назовні тіла 3 обертання. Потім по згортаємій спіралі одиначна маса потрапляє до центру контейнера і опускається до ротора, де знову потрапляє в область дії відцентрових сил.

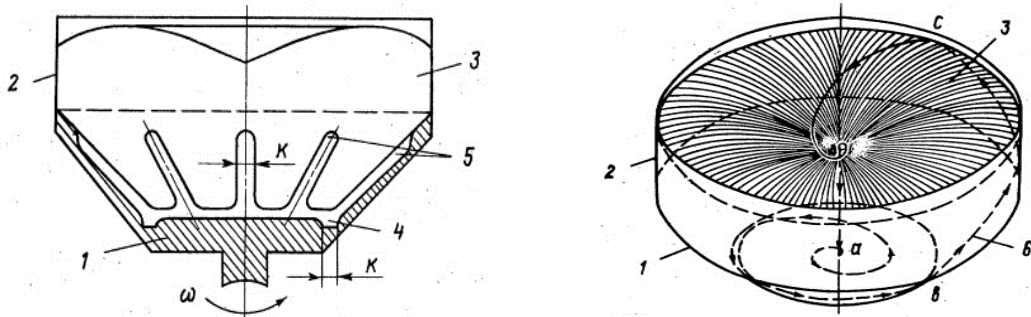


Рисунок 4 – Відцентрова установка для абразивної поверхневої обробки заготовок:

- 1 – тарілчастий ротор; 2 – циліндрична обичайка;
- 3 – тіло обертання; 4 – кільцева канавка; 5 – радіальні канавки;
- 6 – робоча траєкторія руху одиначної маси в процесі обробки

Відцентрова установка для абразивної обробки поверхні деталей малої маси відноситься до області об'ємної обробки деталей і може бути використано в машинобудівній галузі промисловості при обробці різного роду виробів. Відцентрова установка дозволяє інтенсифікувати процес обробки за рахунок повідомлення робочому завантаженню додаткових переміщень. Відцентрова установка (рисунок 5) містить складовий контейнер 1, що складається з обертового дону 2 і циліндричної обичайки 3, яка його охоплює, нерухомо закріпленої на корпусі 4 установки. Дно 2 що обертається виконано у вигляді багатогранної перевернутої піраміди, бічні грані якої обмежені внутрішньою циліндричною поверхнею нерухомої обичайки 3. Дно 2 контейнера 1 встановлено на осі 5 в підшипникової опори 6 корпусу установки з можливістю обертання від приводу, з'єднаного з віссю 5.

Відцентрова установка характеризується більш високою інтенсивністю процесу обробки деталей і, як наслідок, більш високою продуктивністю. При цьому в установці більш міцне зчеплення обертаємій маси робочого завантаження контейнера з гранованою пірамідальною поверхнею обертового дна 2. В результаті того, що гранована пірамідальна поверхня дна контейнера надає більш сильний опір радіальному переміщенню обробного середовища і деталей по його поверхні, ніж гладка конусоподібна поверхня, що в свою чергу, обумовлює збільшення швидкості взаємного відносного переміщення (швидкості мікро-різання) між частинами робочої завантаження обробного середовища і деталей, що контактують з обертовим дном і обертаються їм, і частинами робочої завантаження, до них прилягає.

Машинобудування і зварювальне виробництво

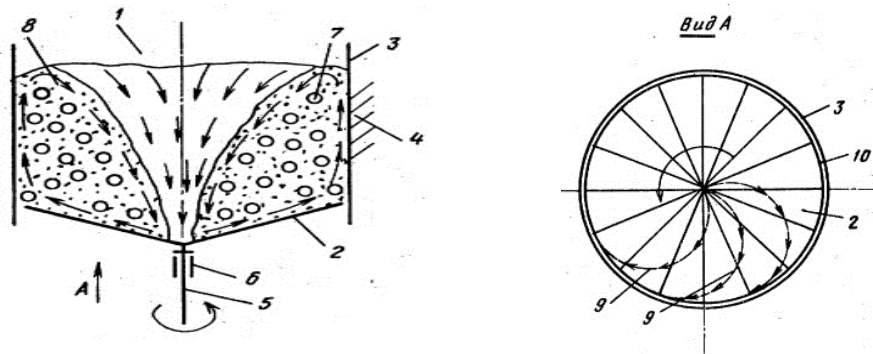


Рисунок 5 – Відцентрова установка для абразивної поверхневої обробки деталей малої маси:

- 1 – оброблюваних складовий контейнер; 2 – обертове дно;
 3 – циліндрична обичайка; 4 – корпус; 5 – вісь; 6 – підшипникова опора;
 7 – деталі; 8 – абразив; 9 – спіральні канавки; 10 – кільцева канавка

Крім того, при переміщенні маси робочого завантаження контейнера по грановану поверхні пірамідального дна на кордонах ребр дна відбувається постійна ламана зміна напрямку переміщення маси робочої завантаження у вертикальній площині, що найбільш значно проявляється в периферійній зоні 10 обертового дна 2, де з огляду на різке гальмування обертається периферійною частиною обертового дна 2. Маса робочого завантаження при її зіткненні зі стінками нерухомої обичайки 3, відбувається багатопланове високочастотне стрибкоподібне вертикальне переміщення частин маси робочого завантаження контейнера, що примикають до обичайки 3, що обумовлює виникнення численних прикордонних зон інтенсивного відносного переміщення між обробним середовищем 8 і деталями 7, завантаженими в контейнер 1 відцентрової установки.

ВИСНОВКИ

Аналіз огляду обладнання для відцентрової обробки деталей малої маси показав, що для підвищення продуктивності обробки необхідно надавати різну швидкість оброблюваним деталям і абразивному середовищу, також необхідно інтенсифікувати переміщення робочої завантаження камери, досягнення рівномірної обробки поверхонь деталей досягається за допомогою підвищення швидкості мікро-різання. Дане обладнання можливо рекомендувати до застосування у виробництво.

Список використаних джерел:

1. *Бабичев, А. П.* Виброабразивная, абразивная обработка деталей / *А. П. Бабичев.* – М. : Машиностроение, 1975.– 230 с.
2. *Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов / А. М. Дальский [и др.].* – М. : Машиностроение, 1990. – 351 с.
3. *Технология машиностроения: учебник для машиностроительных специальностей вузов / А. А. Гусев [и др.].* – М. : Машиностроение, 1986. – 480 с.

4. Субач, А. П. Динамика процессов и машин объемной и центробежной обработки насыпных деталей / А. П. Субач. – Рига : Знание, 1991. – 400 с.

5. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах / И. Н. Карташов [и др.]. – К. : Высшая школа, 1975. – 188 с.

Потлов В. А.

ОБЗОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАЛОЙ МАССЫ

На современных машиностроительных предприятиях достаточно часто возникает потребность в решении задач, связанных с отделочной обработкой изготовленных деталей и придания им товарного вида.

На механическую обработку этих деталей расходуется дорогой инструмент или применяются низко производительные методы обработки. Эти методы обработки значительно повышают себестоимость продукции.

В статье рассмотрены некоторые методы центробежной обработки деталей малой массы. Обработка ведется в рабочих камерах, абразивными материалами деталей, которые находятся у не закрепленном состоянии. Эти методы имеют наибольшую эффективность, высокую производительность, как правило автоматизированные и при этом остаются экологически безопасными.

Данный метод очистки применяется в крупносерийном и массовом производстве. Оборудование имеет достаточно простую конструкцию, надежно в эксплуатации и легко перенастраивается на партию деталей другого типа размера.

В статье выполнен обзор различных видов оборудования для центробежной обработки деталей малой массы. Также рассмотрены преимущества и недостатки данного оборудования для различных видов деталей.

Метод центробежной обработки имеет широкий диапазон обрабатываемых деталей как по форме, так и по размерам, для обработки деталей не следует применять специальные приспособления, они находятся в свободном состоянии. Как абразива используются различные шлифовальные порошки.

В работе определены основные конструктивные параметры, которые в существенной степени влияют на качество обработки. К таким параметрам относятся частота колебаний или вращения рабочего контейнера, траектория движения обрабатываемых деталей, масса рабочего загрузки, время обработки, величина эксцентриситета, материал и размеры абразивного материала, физико-механические характеристики материала, из которого изготовлены детали, форма обрабатываемых деталей и их входная шероховатость.

В работе даны рекомендации по выбору формы и конструкции рабочей камеры, которая позволит повысить производительность и качество обработки, а также избежать залипания деталей и наличие «мертвых зон».

Разработаны конструкции центробежных установок, которые расширяют технологические возможности обработки деталей небольшой массы из различных материалов и значительно снижают время цикла обработки до 25 - 30 минут.

Ключевые слова. Центробежная обработка, залипание деталей, «мертвая зона», частота колебаний рабочего контейнера, рабочая загрузка, величина эксцентриситета вращения, шлифовальные порошки, шероховатость.

Potlov V. O.

OVERVIEW OF CENTRIFUGAL PARTS MACHINING EQUIPMENT LOW MASS

At modern machine-building enterprises, quite often there is a need to solve problems associated with the finishing processing of manufactured parts and giving them a presentation.

The machining of these parts requires expensive tools or low productivity machining methods. These processing methods significantly increase the cost of production.

The article discusses some methods of centrifugal processing of parts of small mass. Processing is carried out in working chambers, with abrasive materials of parts that are in an unsecured state. These methods have the greatest efficiency, high productivity, usually automated and at the same time remain environmentally friendly.

This cleaning method is used in large-scale and mass production. The equipment has a fairly simple design, is reliable in operation, and can easily be converted to a batch of parts of a different type of size.

The article provides an overview of various types of equipment for centrifugal processing of small parts. The advantages and disadvantages of this equipment for various types of parts are also considered.

The centrifugal processing method has a wide range of machined parts both in shape and in size; special tools should not be used for processing parts, they are in a free state. Various grinding powders aroused as an abrasive.

The paper identifies the main design parameters that significantly affect the quality of processing. These parameters include the frequency of oscillation or rotation of the working container, the trajectory of the workpiece, the mass of the workload, processing time, eccentricity, material and dimensions of the abrasive material, physical and mechanical characteristics of the material from which the parts are made, the shape of the workpiece and their input roughness.

The paper gives recommendations on choosing the shape and design of the working chamber, which will improve the productivity and quality of processing, as well as avoid sticking parts and the presence of "dead zones".

Designs of centrifugal plants have been developed that expand the technological capabilities of processing parts of small mass from various materials and significantly reduce the processing cycle time to 25-30 minutes.

Keywords. Centrifugal processing, sticking of details, "dead zone", frequency of oscillations of the working container, working loading, size of eccentricity of rotation, grinding powders, roughness.

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» О.О. Анділахай
Стаття надійшла 25.02.2020 р.*

УДК 621.17:539.422

Ширяєв О. В., Буцукін В. В., Ширяєв І. А., Грицюк А. О., Коршунов Є. Г.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОФІЛЮ КОНТАКТНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ НА ОПІР КОНТАКТНОЇ ВТОМИ

Виконано порівняльний аналіз відомих досліджень розподілу контактних напружень по поверхні двох тіл. Показано, що задача визначення контактних напружень для тіл, як з різними, так і з однаковими пружними характеристиками, в кінцевому підсумку зводиться до відшукування в похідних від функцій, що описують поверхні і вирішення інтегрального рівняння типу Коші. Наведено дані про розподіл напруг для контактування тіл конкретної форми. Дано рішення задачі для контакту штамп з прямолінійною основою і пружною півплощині. Також показано розподіл напружень в контакті штамп, форма якого описується поліномом другого і четвертого ступеня з напівплощиною. В реальних умовах форма утворюють тіл, що піддаються циклічному контакту, змінюється в результаті пластичної деформації, зносу і інших чинників. На підставі проведеного аналізу зроблені висновки про відсутність кількісних характеристик форми поверхонь реальних тіл, які виникають при різних видах контакту. Зокрема, невідомі закономірності зміни поверхні при контактнo-втомному навантаженні циліндричних тіл. Для проведення досліджень макропрофілю утворюючої поверхні циліндричних деталей, що піддаються циклічному навантаженню, розроблено спеціальне пристосування. Також розроблена методика виконання вимірів і обробки отриманих експериментальних даних. На основі виконаних досліджень запропоновані залежності зміни макропрофілю поперек доріжки контакту зразків з середньовуглецевої незагартованої і багатовуглецевої загартованої сталі.

Ключові слова: контактне напруження, форма контактує поверхні, макропрофіль утворюючої поверхні, максимальні контактні напруги, розподіл напружень, середньовуглецева сталь, багатовуглецева загартована сталь.

Постановка проблеми. Завдання визначення напружень в контакті двох деталей має велике значення і її вирішення присвячено достатню кількість робіт. Аналітичні рішення контактних задач теорії пружності викладені в роботах Г. Герца, А. Н. Динника, Н. М. Беляєва, І. Я. Штаєрмана, Н. І. Мусхелишвили та ін. [1-3].

Докладні результати розв'язання контактних задач, а також характеристика математичних методів використуваних, при їх вирішенні, наведені у книгах під редакцією Л. А. Галина [2, 3]. Контактні задачі для штамп і пружною півплощини, а також для двох пружних тіл, мають одне спільне рішення. Причому, для випадку контакту пружних тіл, одне з яких має суттєво більший модуль поздовжньої пружності, завдання зводиться до контакту штамп і пружною півплощині.

Рішення задачі визначення напружень в контакті двох тіл довільної форми має вигляд [2, 3]:

$$p(x) = -(\sigma_y)_{y=0} = -\frac{1}{\pi k} \cdot \frac{1}{\sqrt{a^2 - x^2}} \cdot \int_{-a}^a (f_1'(t) + f_2'(t)) \cdot \sqrt{(a^2 - t^2)} \cdot \frac{dt}{t - x} - \frac{c}{\pi \sqrt{a^2 - x^2}}, \quad (1)$$

Машинобудування і зварювальне виробництво

де

$$k = \frac{2(1-\nu_1^2)}{E_1} + \frac{2(1-\nu_2^2)}{E_2},$$

$\nu_{1,2}$ - коефіцієнти Пуассона першого і другого тіла;

$E_{1,2}$ - модулі поздовжньої пружності;

a – на півширина площадки контакту;

c - постійна інтегрування.

Для контакту тіла з площиною, одна з похідних під інтегралом наближається до нуля і рівняння (1) набуває вигляду:

$$p(x) = -(\sigma_y)_{y=0} = -\frac{1}{\pi k} \cdot \frac{1}{\sqrt{a^2 - x^2}} \cdot \int_{-a}^a f'(t) \cdot \sqrt{(a^2 - t^2)} \cdot \frac{dt}{t - x} - \frac{c}{\pi \sqrt{a^2 - x^2}} \quad (2)$$

У разі контакту тіл зі значно відрізняються пружними властивостями (штамп з пружним тілом), коли $E_2 \gg E_1 = E$, коефіцієнт k приймає вид:

$$k = \frac{2(1-\nu^2)}{E}. \quad (3)$$

А в разі контакту двох тіл з однаковими, або близькими пружними характеристиками $E_2 = E_1 = E$ і $\nu_1 = \nu_2 = \nu$:

$$k = \frac{4(1-\nu^2)}{E}. \quad (4)$$

Таким чином, завдання визначення контактних напружень для тіл, як з різними, так і з однаковими пружними характеристиками, в кінцевому підсумку зводиться до відшукування в похідних від функцій, що описують поверхні і вирішення інтегрального рівняння типу Коші (1). А, отже, для розрахунку контактних напружень реальних тіл, необхідно визначити залежності, що описують утворюють поверхні тел.

Подібні завдання дуже актуальні при контактній взаємодії деталей металургійних машин, особливо, в разі циклічного навантаження (зуби зубчастих коліс, підшипники кочення, валки станів кварто і т.д.). З цією метою слід виконати експериментальні виміри макропрофілю реальних деталей, які зазнали контактного навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Докладні огляди робіт в області контактних задач, а також характеристика математичних методів використовуваних, при їх вирішенні, наведені в книзі під редакцією Л. А. Галина [3]. Незважаючи на достатню кількість робіт, присвячених контакту тіл різної форми, в результаті літературного огляду не знайдено досить просте рішення для контакту двох реальних тіл складної форми.

Разом з тим в [3] наведені досить докладні рішення для визначення контактних напружень штампа (абсолютно жорсткого тіла кінцевих розмірів) з пружною напівплощиною. Для штампа з плоским прямолінійним підставою шириною $2a$ тиск на майданчику контакту одно, при цьому P - сила, що діє в перерізі штампа:

$$p(x) = \frac{P}{\pi \sqrt{a^2 - x^2}} \quad (5)$$

При тиску кругового циліндра на пружну площину в разі, якщо радіус циліндра великий у порівнянні з розмірами майданчика контакту, то рівняння поверхні, що обмежує підставу штампа, буде наближено виражатися формулою

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$f(x) = \frac{x^2}{2R}, \quad (6)$$

а тиск, що виникає під штампом:

$$p(x) = \frac{E(a^2 - 2x^2)}{4(1 - \nu^2)R\sqrt{a^2 - x^2}} + \frac{P_0}{\pi\sqrt{a^2 - x^2}} \quad (7)$$

Для штампа із закругленими краями, контуром якого є парабола четвертого ступеня тиск, що діє під штампом, описується рівнянням:

$$p(x) = -\frac{P}{3\pi a^2} [(a^2 + 2x^2)\sqrt{a^2 - x^2}]. \quad (8)$$

В роботі [4] наведено рішення рівняння (2) для штампа, що має поверхню у вигляді полінома 8-го ступеня:

$$p(x) = -\frac{E}{256\pi b(1 - \nu^2)\sqrt{a^2 - x^2}} \left(5a + 8\frac{x^2}{a} + 16\frac{x^4}{a^3} + 64\frac{x^6}{a^5} - 128\frac{x^8}{a^7} \right) - \frac{P}{\pi\sqrt{a^2 - x^2}}. \quad (9)$$

Для гладкого тіла розподіл контактного тиску має вигляд:

$$p(x) = \frac{8}{35} \frac{P}{\pi\sqrt{a^2 - x^2}} \left(5 + \frac{x^2}{a^2} + 2\frac{x^4}{a^4} + 8\frac{x^6}{a^6} - 16\frac{x^8}{a^8} \right). \quad (10)$$

В реальних умовах профілі утворюють тіл в процесі циклічного контакту довільно змінюються в результаті зносу, пластичної деформації і інших процесів.

Тому виникла необхідність більш детального вивчення зміни профілю поверхні контакту циліндричних тіл, його апроксимації будь-якими простими математичними залежностями.

Метою даної роботи є дослідження профілю утворюючої циліндричних зразків з середньовуглецевої незагартованої і високовуглецевої загартованої сталі, його апроксимація за допомогою математичних залежностей для подальшого отримання розподілу контактного тиску вздовж уздовж утворюючої.

Основний матеріал дослідження. На кафедрі МОЗЧМ були проведені дослідження опору контактної втоми (С. К.у.) на установці тертя МІ-1-М, адаптованої для даного виду випробувань. Зразки мали вигляд короткого циліндра з робочою доріжкою (рис. 1). Виготовлялися вони зі сталі 15Х нормалізованою, твердістю 17-21HRC, а також - з валкової сталі 90ХФ. Останні були піддані термообробці до твердості 40-45HRC. Утворююча уздовж осі контактної доріжки досліджувалася після проведення випробувань на С. К.у., тому контактна доріжка в більшості випадків мала пластичну деформацію країв (рис. 2).

Машинобудування і зварювальне виробництво

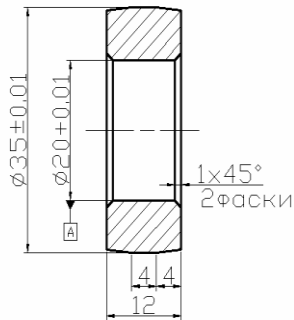


Рисунок 1 – Зразок для випробувань на опір контактної втоми



Рисунок 2 – Схематичне зображення формування профілю поперечної утворюючої зразка при контактному навантаженні

Для проведення досліджень форми контактної поверхні вздовж осі зразка був спроектовано та виготовлено спеціальний пристрій. Він базувався на координатнику поляризаційного компаратора ПК-6, а, точніше, на його механізмі горизонтального переміщення компенсаторною труби (рис. 3).

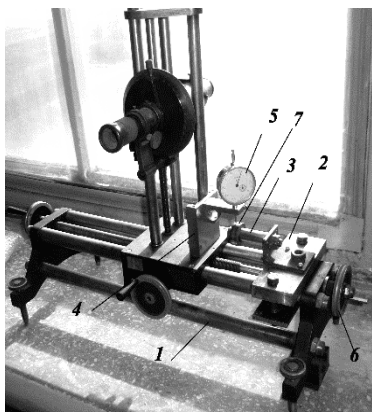


Рисунок 3 – Пристрій виміру макропрофілю, з пристосуванням для циліндричних деталей

Пристрій може застосовуватися для виміру циліндричних зразків працює наступним чином. На рамі 1 координатника жорстко закріплено підставу 2 з встановленим на неї загартованим циліндром 3. На циліндр з невеликим проміжком надаватися зразок 7, причому в нижню частину отвору поміщається шматок тонкої ущільнюючої паперу, щоб зразок надягав з невеликим натягом. На каретці, що переміщується мікрометричним гвинтом 6 з точністю відліку 0,1 мм, закріплений кронштейн 4 з затиснутим індикатором годинникового типу 5 з точністю вимірювання 0,001 мм. Для виміру профілю був виготовлений спеціальний загартований наконечник із загостреним кінцем. Циліндр 3 виставлений по горизонталі таким чином, що на ближніх від торця 30 мм похибка складала менше 0,0005 мм.

Методика виміру і обробки отриманих даних складається з наступних етапів:

- зразок надаватися на передню частину циліндра з ущільненням;
- індикатор з піднятим наконечником підводиться на відстань 0,5 - 1 мм до краю доріжки зразка і опускається на неробочу, кінцеву частину;
- виміри проводяться з кроком 0,1-0,2 мм до виходу наконечника на робочу доріжку переміщенням каретки за допомогою мікрометричного гвинта;
- в залежності від довжини контактної поверхні, виміри проводяться з кроком 0,5 - 1,5мм;
- при досягненні протилежного краю доріжки, крок вимірів зменшується;

- дані вимірів обробляються за спеціальною методикою в середовищі MathCad.

Досліджувалися профілі 9-ти зразків зі сталі 15X і 19-ть зразків зі сталі 90XФ. Були отримані профілі утворюють, частина яких мали досить значне відхилення від середніх значень порядку 0,02-0,03мм. Це пояснюється значним ушкодженням контактної поверхні в процесі випробувань на С.К.у. Ряд профілів вийшли досить «гладкими» і відхилення практично не перевищували похибки інструменту, тому що на доріжці кочення були ділянки з меншими ушкодженнями. Всі наявні експериментальні дані були оброблені за вищенаведеною методикою і побудовані профілі утворюють в відносних координатах. На рис. 4 - 5 наведені точки декількох профілів зразків зі сталі 15X і 90XФ, а також графіки поверхні, описуваної поліномом $y = (x/a)^8$. Слід зазначити, що пружна деформація зразків за відомими формулами Герца становить 0,00025 мм і вона обмежена ділянкою профілю $\pm 0,7 x/a$.

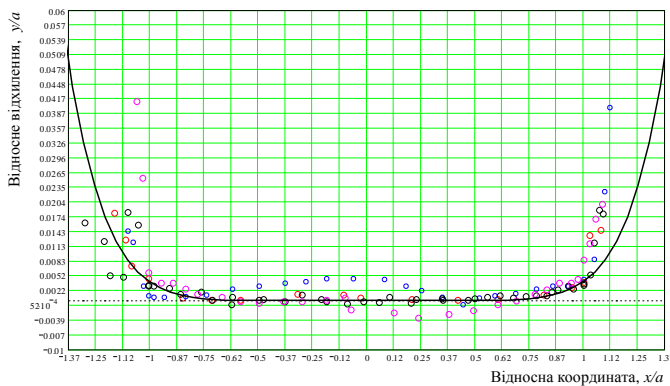


Рисунок 4 – Крапки утворюючих поверхні п'яти зразків у відносних координатах зі сталі 15X і крива $y=(x/a)^8$

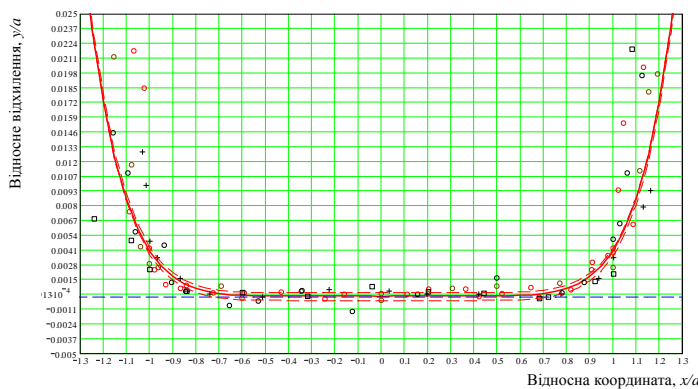


Рисунок 5 – Крапки утворюючих поверхні п'яти зразків, крива $y=(x/a)^8$ (суцільна лінія), криві погрешності інструменту (пунктирні) семи зразків із сталі 90XФ

Утворюючи зразків зі сталі 15X більш деформовані, внаслідок чого відхилення макропрофілю від середніх значень вельми істотні (рис. 4). Профіль ж зразків зі сталі 90XФ має плавні обриси, і відхилення більшості експериментальних точок лежить, або в межах похибки індикатора, або близько до них (рис. 5). Така відмінність макропрофілів пояснюється більшою пластичністю незагартованої сталі 15X в порівнянні з більш твердої сталлю 90XФ. Відповідно, область чисто пружної деформації, у зразків із зазначених сталей різниться. Слід очікувати, що контактно-втомні викришування на поверхні більш пластичних зразків будуть групуватися ближче до центру, тому що пластичної деформації будуть піддаватися ділянки значних розмірів поруч з краєм профілю. Пластична деформація перешкоджає появі та розвитку контактно-втомних пошкоджень. Розташування викришувань на зразках з досить твердою загартованої сталі 90XФ відповідно буде на великих ділянках, тому що пластична деформація країв буде не такою значною. Експериментальні крапки профілю і сталі 15X, і сталі 90XФ

досить добре вкладаються на поліном 8-го ступеня (рис. 4, 5).

ВИСНОВКИ

1. Для експериментального дослідження профілю поверхні деталей циліндричної форми спроектовано та виготовлено спеціальний пристрій на базі на механізмі горизонтального переміщення компенсаторної труби поляризаційного компаратора ПК-6.

2. Для проведення експериментальних досліджень розроблена методика виміру профілю і методика обробки отриманих результатів.

3. Виконано експериментальні виміри макропрофілю значного числа зразків із сталей 15Х і 90ХФ.

В результаті аналізу експериментальних точок поверхні утворюють зразків, які підлягають випробуванням на опір контактної втоми з незагартованої сталі 15Х і загартованої валкової сталі 90ХФ можна зробити наступні висновки:

- в інтервалі від $-1,1x/a$ до $+1,1x/a$ утворює поверхні добре апроксимується поліномом $y = (x/a)^8$;

- для теоретичних розрахунків контактних напружень тіл, утворюючі яких представляє собою пряму і ламану лінію з сходами, можна використовувати поліном $y = (x/a)^8$.

Список використаних джерел:

1. Моссаковский, В. И. Контактные задачи математической теории упругости / В. И. Моссаковский, Н. Е. Качаловская, С. С. Голикова. – К. : Наук. думка, 1985. – 175 с.

2. Галин, Л. А. Контактные задачи теории упругости / Л. А. Галин. – М. : Гостехиздат, 1953. – 264 с.

3. Галин, Л. А. Развитие теории контактных задач в СССР / Л. А. Галин. – М. : Наука, 1976. – 492 с.

4. Ширяев, А. В. Исследование контактных напряжений деталей с образующими сложной формы / А. В. Ширяев // Механіка машин - основна складова прикладної механіки : матеріали Всеукр. науково-техн. конф., присвяч. 110-річчю з дня народження Кожевнікова С. М. (Дніпро, 11–13 квітня 2017 р.). – Дніпро, 2017. – С. 170–173.

Ширяев А. В., Буцукин В. В., Ширяев И. А., Грицюк А. А., Коршунов Э. Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОФИЛЯ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ УСТАЛОСТИ

Выполнен сравнительный анализ известных исследований распределения контактных напряжений по поверхности двух тел. Показано, что задача определения контактных напряжений для тел, как с различными, так и с одинаковыми упругими характеристиками, в конечном итоге сводится к отысканию в производных от функций, описывающих поверхности и решению интегрального уравнения типа Коши. Приведены данные о распределении напряжений для контактирования тел конкретной формы. На основании проведенного анализа сделаны выводы об отсутствии количественных характеристик формы поверхностей реальных тел, которые возникают при различных видах контакта. В частности, неизвестны закономерности изменения поверхности при контактно-усталостном нагружении. Для проведения исследований макропрофиля образующей

Машинобудування і зварювальне виробництво

цилиндрических деталей разработано специальное устройство. А также разработана методика выполнения замеров и обработки полученных экспериментальных данных. На основе выполненных исследований предложены зависимости изменения макропрофиля поперек дорожки контакта образцов из среднеуглеродистой незакаленной и высокоуглеродистой закаленной стали.

Ключевые слова: контактное напряжение, форма контактирующей поверхности, макропрофиль образующей, максимальные контактные напряжения, распределение напряжений, среднеуглеродистая сталь, высокоуглеродистая закаленная сталь.

Shiryayev A. V., Butsukin V. V., Shiryayev I. A., Gritsyuk A. A., Korshunov E. G.

MODELING AND RE-ENGINEERING OF INFORMATION PROTECTION PROCESSES BASED ON GRAPHIC THEORY AND IDEF METHODOLOGY

A comparative analysis of known studies of the distribution of contact stresses over the surface of two bodies is carried out. It is shown that the problem of determining contact stresses for bodies, both with different and with the same elastic characteristics, ultimately comes down to finding in the derivatives of functions describing surfaces and solving an integral equation of the Cauchy type. Data on the distribution of stresses for contacting bodies of a specific shape are given. The solution of the problem for the contact of a stamp with a rectilinear base and an elastic half-plane is given. Also shown is the stress distribution in the contact of the punch, the shape of which is described by a polynomial of the second and fourth degrees with a half-plane. Under real conditions, the shape of the forming bodies subjected to cyclic contact changes as a result of plastic deformation, wear, and other factors. On the basis of the analysis, it was concluded that there are no quantitative characteristics of the shape of the surfaces of real bodies, which arise in various types of contact. In particular, the regularities of surface changes under contact-fatigue loading of cylindrical bodies are unknown. A special device has been developed to carry out studies of the macro-profile of the generatrix of cylindrical parts subjected to cyclic loading. Also, a technique has been developed for performing measurements and processing the obtained experimental data. On the basis of the performed studies, the dependences of the change in the macro-profile across the contact path of the samples from medium-carbon unhardened and high-carbon hardened steel are proposed.

Keywords: contact stress, shape of the contacting surface, macro-profile of the forming surface, maximum contact stresses, stress distribution, medium-carbon steel, high-carbon hardened steel.

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Іщенко А.О.
Стаття надійшла 09.10.2020 р.*

УДК 621.791.753.042

Щетинін С. В., Никитенко П. В., Елсаєд Халед

УДАРНА В'ЯЗКІСТЬ ПРИ ОДНОСТОРОННЬОМУ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ ЗВАРЮВАННІ ТРУБ ДЛЯ ГАЗО- І НАФТОПРОВІДНИХ МАГІСТРАЛЕЙ

Природа ударної в'язкості електромагнітна, так як міжатомні зв'язки є результатом міжатомної взаємодії електронів, що обертаються навколо ядра, які створюють мікроструми і електромагнітні поля протилежних напрямків, що взаємознищуються. Індукція між атомами рівна нулю, тому виникає магнітний тиск тяжіння, спрямований в сторону меншого магнітного поля і виникають міжатомні зв'язки. Встановлено, що форма електрода і швидкість зварювання значно впливають на переміщення дуги по торцю електрода і зварювальній ванні, тепловкладення в основний метал і зону термічного впливу, що визначає ударну в'язкість зварних з'єднань. При наплавленні перпендикулярною стрічкою розмір зони термічного впливу мінімальний, поздовжньою стрічкою і дротом – підвищується. При односторонньому зварюванні складовим електродом зона термічного впливу різко зменшується, що підвищує ударну в'язкість зварних з'єднань. Швидкість зварювання визначає тепловкладення в основний метал і зону термічного впливу. З підвищенням швидкості зварювання тепловкладення і розмір зони термічного впливу зменшуються, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань. Максимум ударної в'язкості забезпечується при односторонньому високошвидкісному зварюванні зі швидкістю 0,021 м/с. Збільшення ударної в'язкості зварних з'єднань забезпечується за рахунок високої швидкості, зменшення тепловкладення і погонної енергії, зростання швидкості нагріву і охолодження, що приводить до зниження зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури в зварювальному шві та околошовній зоні, зменшенню міжатомної відстані та зростанню міжатомних зв'язків. Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом, який забезпечує зниження тепловкладення і розміру зони термічного впливу, зростання швидкості нагріву і охолодження, що приводить до зниження зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури в зварювальному шві та околошовній зоні, зменшенню міжатомної відстані та зростанню міжатомних зв'язків, внаслідок чого підвищується ударна в'язкість зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Ключові слова: *Ударна в'язкість зварних з'єднань, одностороннє високошвидкісне зварювання, труби для газо- і нафтопровідних магістралей, електромагнітна природа, міжатомні зв'язки, зварювальні напруги, зона термічного впливу.*

Постановка проблеми. Одностороннє високошвидкісне зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, які виготовляються з високоміцних сталей, обмежене трудностю забезпечити ударну в'язкість зварних з'єднань, особливо при низьких температурах. Тому вивчення природи ударної в'язкості зварних з'єднань і розробка способу одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань, є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Істотне застосування одностороннє високошвидкісне зварювання знаходить при виробництві труб для газо- і нафтопровідних

магістралей, що обмежене низькими значеннями ударної в'язкості зварних з'єднань, природа яких повністю не встановлена [1–9], що викликає необхідність розробки нових процесів. Ефективним способом підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань є одностороннє високошвидкісне зварювання. Ударна в'язкість зварних з'єднань при іспитах визначається за допомогою надрізів у зоні термічного впливу, розмір якої в значній мірі впливає на якість зварних з'єднань. Зона термічного впливу утворюється під дією тепловкладення в основний метал і ЗТВ. При зварюванні сталі О9Г2С, з яких виготовляються труби, для запобігання крихкому руйнуванню при температурі не нижче 293 К стикові з'єднання без оброблення кромки виконуються дводуговим зварюванням під флюсом з тепловкладенням 3700 кДж/м [8]. При зниженні температури до 233 К тепловкладення зменшується до 2700 кДж / м, для 203 К достатня ударна в'язкість забезпечується при погонній енергії не вище 1200 кДж / м [9]. Однак вплив швидкості зварювання, погонної енергії і форми електроду на структуру, властивості наплавленого металу і ударну в'язкість зварних з'єднань досліджено недостатньо[4–9].

Мета досліджень. Вивчення наукових основ регулювання зони термічного впливу і розробка процесу одностороннього високошвидкісного зварювання складовим електродом труб для газо- і нафтопровідних магістралей, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

Основний матеріал дослідження. Для підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань необхідно проводити одностороннє високошвидкісне зварювання, при якому зростає швидкість нагріву і охолодження металу шва і околошовної зони, здрібнюється мікроструктура, що забезпечує зниження міжатомної відстані та зростання міжатомних зв'язків. Природа ударної в'язкості електромагнітна, так як міжатомні зв'язки є результатом міжатомної взаємодії електронів, що обертаються навколо ядра, які створюють мікроструми і електромагнітні поля протилежних напрямків, що взаємознищуються. Індукція між атомами рівна нулю, тому виникає магнітний тиск тяжіння, спрямований в сторону меншого магнітного поля і виникають міжатомні зв'язки.

Ударна в'язкість в значній мірі визначається мікроструктурою і розміром зони термічного впливу, який є результатом тепловкладення дуги в основний метал і зону термічного впливу. Тепловкладення залежить від концентрації дуги – пінч-ефекту, руху дуги по торцю електроду, зварювальній ванні та швидкості зварювання. .

В залежності від форми і розташування електрода дуга під дією магнітного поля зварювального струму рухається по торцю електрода в перпендикулярному, поздовжньому напрямках, концентрується при зварюванні дротом і рухається в поздовжньому і перпендикулярному напрямках при зварюванні складовим електродом.

Для вивчення тепловкладення і природи ударної в'язкості зварних з'єднань наплавлення проводили перпендикулярною і поздовжньою стрічками, дротяним і складовим електродами під керамічним флюсом ЖСН-5 на різних швидкостях зварювання.

На основі досліджень встановлено, що з підвищенням швидкості наплавлення, внаслідок зростання швидкості нагріву і охолодження і дисперсності структури мікротвердість наплавленого металу зростає. В зоні термічного впливу мікротвердість металу, виміряна мікротвердомером ПМТ-3 з автоматичним навантаженням, знижується (рис. 1, 2).

Мінімальний розмір зони відпуски характерне для наплавлення перпендикулярною стрічкою (рис. 2), внаслідок мінімального тепловкладення в бокові кромки ванни. При

наплавленні поздовжньою стрічкою розмір зони відпуски зростає (рис. 2). При зварюванні складовим електродом (рис. 1, 2) розмір зони відпуски зменшується в порівнянні з дротяним (рис. 2) в два рази, внаслідок підвищення швидкості зварювання, руху дуги і зростання кількості тепла, який розповсюджується попереду джерела.

При підвищенні швидкості наплавлення і зварювання, в результаті зниження тепловкладення розмір зони відпуски зменшується (рис. 1, 2), що підтверджує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань. В зоні відпуски утворюються холодні тріщини, тому зі зменшенням зони відпуски ударна в'язкість зварних з'єднань підвищується.

На основі проведених досліджень вибрано складовий електрод, в якому дуга переміщується по торцю електрода в поздовжньому і перпендикулярному напрямках, зменшується тепловкладення і погонна енергія за рахунок зростання швидкості наплавлення до 0,021 м/с, пропорційно зростає швидкість кристалізації, зменшується розмір зерен, що забезпечує дрібнодисперсну мікроструктуру, збільшення міжатомних зв'язків, зниження зварювальних напруг і підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань.

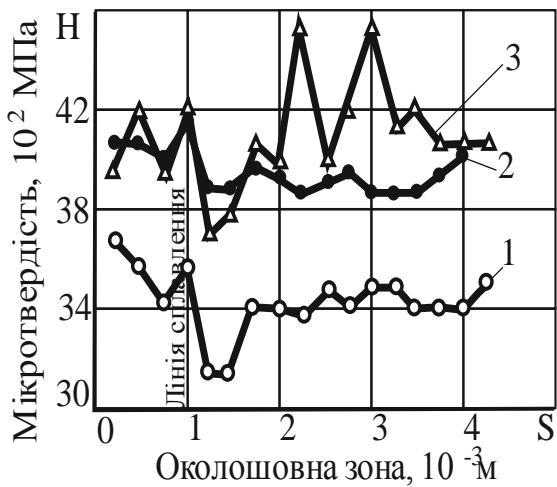


Рисунок 1 – Залежність мікротвердості наплавленого металу від швидкості зварювання, складовий електрод, швидкість зварювання 0,014 м/с (1); 0,021 м/с (2); 0,028 м/с (3); погонна енергія відповідно: 3,6 МДж/м (1), 2,7 МДж/м (2), 1,8 МДж/м (3)

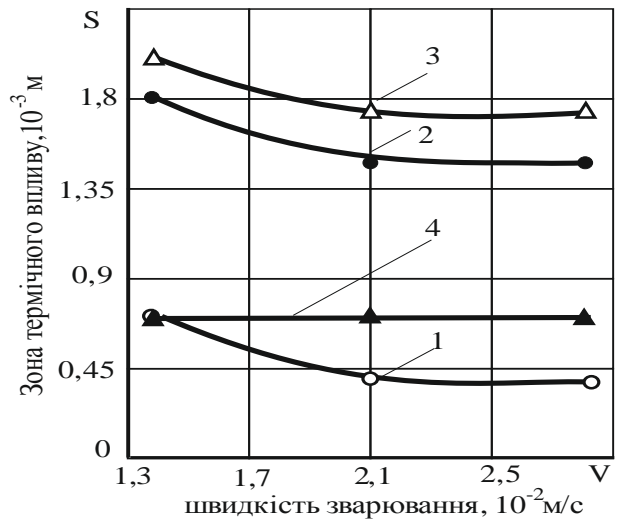


Рисунок 2 – Залежність зони термічного впливу від форми електрода і швидкості зварювання: 1 – перпендикулярна стрічка; 2 – поздовжня стрічка; 3 – дріт; 4 – складовий електрод

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом, який забезпечує зниження тепловкладення і розміру зони термічного впливу, зростання швидкості нагріву і охолодження, що приводить до зниження зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури в зварювальному шві та околошовній зоні, зменшенню міжатомної відстані та зростанню міжатомних зв'язків, внаслідок чого підвищується ударна в'язкість зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Встановлені закономірності і розроблений спосіб одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом можуть бути використані при односторонньому високошвидкісному зварюванні котлів залізничних цистерн.

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси одностороннього високошвидкісного зварювання, що забезпечують підвищення якості та ударної в'язкості зварних з'єднань.

ВИСНОВКИ

Природа ударної в'язкості електромагнітна, так як міжатомні зв'язки є результатом міжатомної взаємодії електронів, що обертаються навколо ядра, які створюють мікроструми і електромагнітні поля протилежних напрямків, що взаємознищуються. Індукція між атомами рівна нулю, тому виникає магнітний тиск тяжіння, спрямований в сторону меншого магнітного поля і виникають міжатомні зв'язки.

Встановлено, що форма електрода і швидкість зварювання значно впливають на переміщення дуги по торцю електрода і зварювальній ванні, тепловкладення в основний метал і зону термічного впливу, що визначає ударну в'язкість зварних з'єднань. При наплавленні перпендикулярною стрічкою розмір зони термічного впливу мінімальний, поздовжньою стрічкою і дротом – підвищується. При односторонньому зварюванні складовим електродом зона термічного впливу різко зменшується, що підвищує ударну в'язкість зварних з'єднань.

Швидкість зварювання визначає тепловкладення в основний метал і зону термічного впливу. З підвищенням швидкості зварювання тепловкладення і розмір зони термічного впливу зменшуються, що забезпечує підвищення ударної в'язкості зварних з'єднань. Максимум ударної в'язкості забезпечується при односторонньому високошвидкісному зварюванні зі швидкістю 0,021 м/с.

Збільшення ударної в'язкості зварних з'єднань забезпечується за рахунок високої швидкості, зменшення тепловкладення і погонної енергії, зростання швидкості нагріву і охолодження, що приводить до зниження зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури в зварюальному шві та околшовній зоні, зменшенню міжатомної відстані та зростанню міжатомних зв'язків.

Розроблено процес одностороннього високошвидкісного зварювання труб для газо- і нафтопровідних магістралей складовим електродом, який забезпечує зниження тепловкладення і розміру зони термічного впливу, зростання швидкості нагріву і охолодження, що приводить до зниження зварювальних напруг, здрібнення мікроструктури в зварюальному шві та околшовній зоні, зменшенню міжатомної відстані та зростанню міжатомних зв'язків, внаслідок чого підвищується ударна в'язкість зварних з'єднань в 2 – 2,5 рази.

Список використаних джерел:

1. Уайт, Р. М. Квантовая теория магнетизма / Р. М. Уайт. – М. : Мир, 1972. – 306 с.
2. Зильберман, Г. Е. Электричество и магнетизм / Г. Е. Зильберман. – М. : Наука, 1970. – 383с.

Машинобудування і зварювальне виробництво

3. *Абрамович, Г. Н.* Прикладная газовая динамика / *Г. Н. Абрамович.* – М. : Наука, 1969. – 824 с.
4. *Прохоров, Н. Н.* Физические процессы в металле при сварке. Т. 2 / *Н. Н. Прохоров.* – М. : Metallurgia, 1976. – 600 с.
5. *Шоршоров, М. Х.* Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке / *М. Х. Шоршоров, В. В. Белов.* – М.: Наука, 1972. – 228 с.
6. *Финкель, В. М.* Физика разрушения / *В. М. Финкель.* – М. : Metallurgia, 1970. – 376 с.
7. *Лысов, В. С.* Структура и стойкость против образования холодных трещин металла около шовной зоны стали 38ХС / *В. С. Лысов, Т. А. Макарова, В. Г. Федоров* // Сварочное производство. – 1982. – № 6. – С. 19–21.
8. *Иванова, Н. В.* Хладостойкость металла ЗТВ сварных соединений резервуарных конструкций / *Н. В. Иванова, В. Н. Дикун, В. А. Винокуров* // Сварочное производство. – 1985. – № 11. – С.15–17
9. Новая проволока для автоматической сварки под флюсом стали 09Г2С без скоса кромок / *А. Ф. Батакшев [и др.]* // Сварочное производство. – 1988. – № 1. – С. 23–24.

Щетинин С. В., Никитенко П. В., Элсаед Халед

УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ОДНОСТОРОННЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СВАРКЕ ТРУБ ДЛЯ ГАЗО- И НЕФТЕПРОВОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

Природа ударной вязкости электромагнитная, так как межатомные связи является результатом межатомного взаимодействия электронов, вращающихся вокруг ядра, которые создают микротоки и электромагнитные поля противоположных направлений, которые взаимно уничтожаются. Индукция между атомами равна нулю, поэтому возникает магнитное давление притяжения, направленное в сторону меньшего магнитного поля, и возникают межатомные связи. Установлено, что форма электрода и скорость сварки значительно влияют на перемещение дуги по торцу электрода и сварочной ванне, тепловложения в основной металл и зону термического влияния, что определяет ударную вязкость сварных соединений. При наплавке перпендикулярной лентой размер зоны термического влияния минимальный, продольной лентой и проволокой – повышается. При односторонней сварке составным электродом зона термического влияния резко уменьшается, что повышает ударную вязкость сварных соединений. Скорость сварки определяет тепловложение в основной металл и зону термического влияния. С повышением скорости сварки тепловложение и размер зоны термического влияния уменьшаются, что обеспечивает повышение ударной вязкости сварных соединений. Максимум ударной вязкости обеспечивается при односторонней высокоскоростной сварке со скоростью 0,021 м/с. Увеличение ударной вязкости сварных соединений обеспечивается за счет высокой скорости, уменьшения тепловложения и погонной энергии, роста скорости нагрева и охлаждения, что приводит к снижению сварочных напряжений, измельчению микроструктуры в сварном шве и околошовной зоне, уменьшению межатомного расстояния и росту межатомных связей. Разработан процесс односторонней высокоскоростной сварки труб для газо- и нефтепроводных магистралей составным электродом, который

Машинобудування і зварювальне виробництво

обеспечивает снижение тепловложения и размера зоны термического влияния, рост скорости нагрева и охлаждения, что приводит к снижению сварочных напряжений, измельчению микроструктуры в сварном шве и околошовной зоне, уменьшению межатомного расстояния и росту межатомных связей, вследствие чего повышается ударная вязкость сварных соединений в 2 – 2,5 раза.

Ключевые слова: ударная вязкость сварных соединений, односторонняя высокоскоростная сварка труб для газо- и нефтепроводных магистралей, электромагнитная природа, межатомные связи, сварочные напряжения, зона термического влияния.

Shchetinin S. V., Nikitenko P. V., Elsaed Khaled

THE IMPACT TOUGHNESS AT THE ONE-SIDED HIGH-SPEED WELDING OF PIPES FOR GAS AND OIL PIPELINES

The impact toughness nature is electromagnetic, as interatomic bonds are the result of interatomic interaction of electrons revolving around the nucleus, which create microcurrents and electromagnetic fields in opposite directions, mutually destroying. Induction between atoms is zero, so there is a gravity magnetic pressure, orientations toward a smaller magnetic field and interatomic bonds arise. It has been established that the electrode shape and the welding speed significantly affect the arc movement along the electrode end and the welding bath, heat input into the base metal and the heat affected zone, which determines the welded joints impact toughness. When surfacing with perpendicular tape, the heat affected zone size is minimal, with longitudinal tape and wire - increases. When one-sided welding with a composite electrode, the heat affected zone decreases sharply, which the welded joints impact toughness increases. The welding speed determines the heat input to the base metal and the heat affected zone. As the welding speed increases, the heat input and the size of the heat affected zone decrease, which welded joints impact toughness increases. Maximum impact toughness is provided by one-sided high-speed welding at a speed of 0.021 m / s. The welded joints impact toughness increase is provided due to high speed, heat input and running energy reduction, heating and cooling speed increase, which leads to welding stresses reduction, microstructure in the weld and peri-seam zone grinding, interatomic distance reduction and interatomic bonds the growth. The one-sided high-speed welding process of pipes for gas and oil pipelines with a composite electrode has been developed, which provides the heat input and the heat affected zone size reduction, heating and cooling speed increase, which leads to welding stresses reduction, microstructure in weld and peri-seam zone crushing, interatomic distance reduction and interatomic bonds growth, as a result of which the welded joints impact toughness increases by 2 - 2.5 times.

Keywords: *The welded joints impact toughness, one-sided high-speed welding, pipes for gas and oil pipelines, electromagnetic nature, interatomic bonds, welding stresses, heat affected zone*

Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С.С.
Стаття надійшла 19.10.2020 р.

УДК 621.791.753.042

Щетиніна В. І., Коваль О. В., Елсаєд Халед

МЕХАНІЗМ ПІДВИЩЕННЯ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ БАНДАЖОВАНИХ ОПОРНИХ ВАЛКІВ

Тріщиностійкість в значній мірі визначає зносостійкість наплавленого металу, особливо при наплавленні бандажованих опорних валків, які експлуатуються при великих питомих тисках, що приводить до поломок бандажів. Головною характеристикою тріщиностійкості наплавленого металу є ударна в'язкість зварних з'єднань, яка в значному ступені визначається міжатомними зв'язками стиснення. Тріщиностійкість наплавленого металу визначається зварними напругами і міжатомними зв'язками. Встановлено механізм підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків при високошвидкісному наплавленні, за рахунок низької погонної енергії, зменшення деформацій і зварювальних напруг. Встановлено, що тріщиностійкість якісно характеризує ударна в'язкість, яка при збільшенні швидкості наплавлення і зниженні погонної енергії зростає. При збільшенні швидкості зварювання до 0,021 м/с і зниженні погонної енергії до 2,7 МДж/м ударна в'язкість різко зростає, а потім залишається майже незмінною. Збільшення ударної в'язкості при підвищенні швидкості зварювання є результатом подрібнення мікроструктури і зменшення мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг і щільності дислокацій, з якими пов'язують зародження тріщин. Аналогічно ударної в'язкості змінюються, при підвищенні швидкості зварювання межа міцності, відносно подовження і звуження. При цьому високі значення ударної в'язкості, відносно подовження і звуження свідчать про підвищення тріщиностійкості наплавленого металу. Розроблений енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який знижує тепловкладення, деформації, зварювальні напруги, забезпечує здрібнення мікроструктури, збільшення міжатомних зв'язків стиснення, підвищення тріщиностійкості та зносостійкості бандажованих опорних валків і відсутність поломок бандажів.

Ключові слова: Механізм підвищення тріщиностійкості, високошвидкісне наплавлення на низькій погонній енергії, ударна в'язкість, мікронапруги, зварювальні напруги, подрібнення мікроструктури, бандажовані опорні валки.

Постановка проблеми. Опорні валки, які в процесі експлуатації попереджують прогин і поломку робочих валків, виготовляються з високовуглецевої сталі 90ХФ, схильної до утворення гарячих і холодних тріщин. Одним із основних показників тріщиностійкості є ударна в'язкість зварних з'єднань, з підвищенням якої тріщиностійкість зростає. Тріщиностійкість валків визначає зносостійкість, тому підвищення тріщиностійкості наплавленого металу і ударної в'язкості зварних з'єднань є важливою науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Тріщиностійкість в значній мірі визначає зносостійкість валків, тому вивченню механізму утворення тріщин надають важливе значення [1–10]. При електродуговому наплавленні під дією тепловкладення виникають мікроспотворення кристалічної решітки і мікронапруги. Мікронапруги приводять до інтенсивного утворення і зростанню тріщин [10]. Загальновідомо, що при зменшенні погонної енергії, внаслідок зростання швидкості

охолодження підвищується ймовірність утворення холодних тріщин [3, 4]. Погонна енергія визначає тепловкладення в ванні, швидкість нагріву і охолодження рідкого металу і околошовної зони. Це змінює умови кристалізації ванни, дифузійні процеси, структурні та фазові перетворення [3–5] і якість наплавленого металу. В. М. Фінкель [2] пов'язує механізм зародження тріщин з дислокаціями. Однак вплив погонної енергії на якість наплавленого металу і механізм утворення тріщин при наплавленні високовуглецевих сталей, з яких виготовляються робочі та опорні валки, повністю не встановлено.

Мета досліджень. Вивчення механізму утворення тріщин і розробка способу підвищення тріщиностійкості при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії бандажованих опорних валків.

Основний матеріал досліджень. Як встановлено, при підвищенні швидкості нагріву і охолодження мікроструктура подрібнюється, збільшується площа контакту і міжатомні зв'язки, тріщиностійкість наплавленого металу зростає. При наплавленні перпендикулярною і поздовжньою стрічками мікроструктура наплавленого металу грубозерниста і неоднорідна. Наплавлення дротом і складовим електродом призводить до подрібнення мікроструктури, яка є дрібнодисперсною і однорідною.

Аналогічно подрібнюється мікроструктура наплавленого металу і околошовної зони при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії, внаслідок підвищення швидкості нагріву, охолодження і кристалізації, яка прямо пропорційна швидкості наплавлення $V_K = V_3 V \cos \alpha$.

Вимірювання ударної в'язкості виробляли для зварних з'єднань зі сталі 09Г2С. Сталі 90ХФ і 09Г2С різні за хімічним складом і схильності до утворення гартівних структур. Однак, як при наплавленні високовуглецевих сталей 90ХФ важко забезпечити відсутність тріщин, так і під час зварювання сталі 09Г2С важко забезпечити ударну в'язкість при низьких температурах, яка якісно характеризує тріщиностійкість.

При збільшенні швидкості зварювання до 0,021 м/с і зниженні погонної енергії до 2,7 МДж/м ударна в'язкість різко зростає, а потім залишається майже незмінною (рис. 1). Збільшення ударної в'язкості при підвищенні швидкості зварювання є результатом подрібнення мікроструктури і зменшення зварювальних напруг, мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруги і щільності дислокацій, з якими пов'язують зародження тріщин.

Аналогічно ударної в'язкості змінюються, при підвищенні швидкості зварювання межа міцності, відносне подовження і звуження. При цьому високі значення ударної в'язкості, відносного подовження і звуження свідчать про підвищену тріщиностійкість наплавленого металу.

Тимчасовий опір розриву при підвищенні швидкості зварювання і зменшенні погонної енергії зростає. При цьому високі значення тимчасового опору розриву, ударної в'язкості і відносного подовження досягаються при погонній енергії 2,7 МДж/м і нижче, що підтверджує достовірність експериментальних даних.

Аналогічні дані отримані при дослідженні впливу форми електрода і погонної енергії на статичний злам (рис. 2), яке виробляли на зразках розміром (9×7, 5×20)·10-3м з V-подібним надрізом. Як встановлено, максимальне значення статичного навантаження забезпечується при погонній енергії 2,7 МДж /м і нижче.

При високошвидкісному наплавленні, внаслідок зниження погонної енергії зменшуються глибина проплавлення і частка участі основного металу, підвищується градієнт

Машинобудування і зварювальне виробництво

концентрацій і посилюється дифузія вуглецю із зони термічного впливу в шов. Еквівалент вуглецю в зоні термічного впливу стає менше 0,45, і тріщини не утворюються.

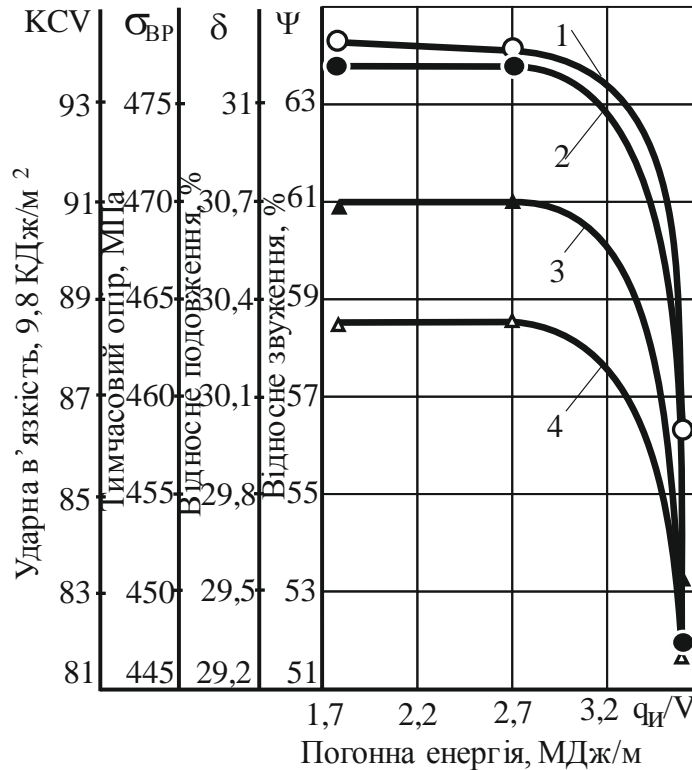


Рисунок 1 – Механічні властивості зварних з'єднань при односторонньому високошвидкісному зварюванні складовим електродом: 1 – тимчасовий опір; 2 – ударна в'язкість; 3 – відносьне звуження; 4 – відносьне подовження

Незважаючи на те, що дослідження проведені для сталі 09Г2С, отримані дані підтверджені при наплавленні бандажованих опорних валків зі сталі 90ХФ. Це є наслідком того, що при високошвидкісному наплавленні на низькій погонній енергії значно знижуються зварювальні напруги, подрібнюється мікроструктура і підвищується пластичність, зменшуються розмір зони відпустки і питомі тиски при прокатці, що підвищує тріщиностійкість наплавлених бандажованих опорних валків і виключає поломку бандажів.

Для підвищення зносостійкості бандажованих опорних валків розроблений енергозберігаючий спосіб високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії. Високошвидкісне наплавлення бандажованих опорних валків зі сталі 90ХФ виробляли з попереднім і супутнім підігрівом до 573-623 К. На початку наплавлили буферний шар низьковуглецевим дротом Св08Г2С діаметром 0,005 м під флюсом АН-60, потім зносостійкий шар, наплавлення якого виробляли дротяним електродом Св 08Г2С діаметром 0,005 м під керамічним флюсом ЖСН-5 з погонною енергією 1,1 МДж/м на режимі: величина струму $I = 750 - 800$ А, напруга на дузі $U = 30 - 32$ В, швидкість наплавлення $V = 0,021$ м/с. Після наплавлення виробляли термічну обробку і уповільнене охолодження.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Таким чином, встановлено механізм підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків при високошвидкісному наплавленні, за рахунок низької погонної енергії, зменшення деформацій і зварювальних напруг. Встановлено, що тріщиностійкість якісно характеризує ударна в'язкість, яка при збільшенні швидкості наплавлення і зниженні погонної енергії зростає. Для підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків розроблений енергозберігаючий спосіб високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який забезпечує підвищення тріщиностійкості і зносостійкості бандажованих опорних валків і відсутність поломок бандажів.

Встановлені закономірності впливу швидкості наплавлення і погонної енергії на ударну в'язкість зварних з'єднань, тріщиностійкість і зносостійкість можуть бути використані для розробки процесів високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії робочих і опорних валків прокатних станів.

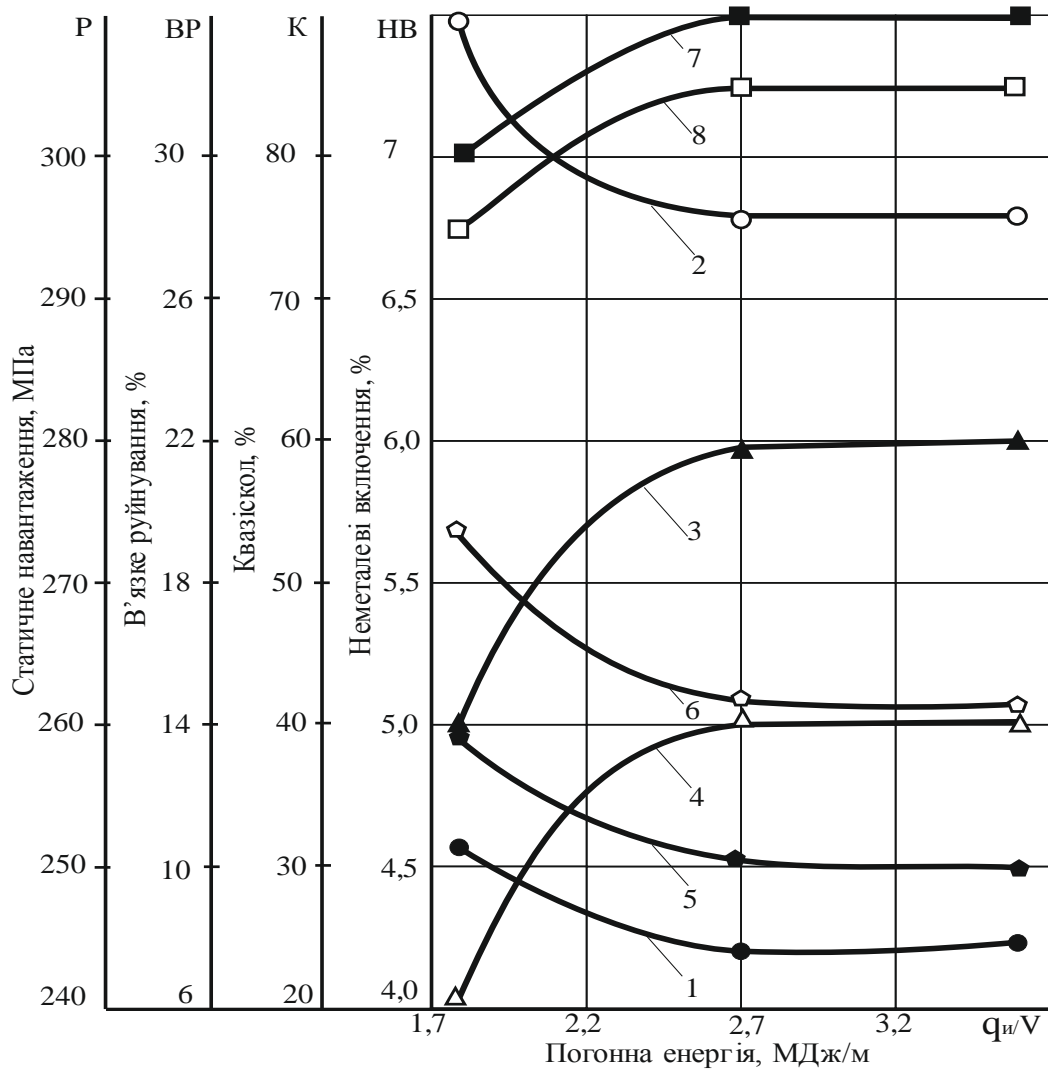


Рисунок 2 – Вплив форми електроду і погонної енергії на якість зварних з'єднань:
 1, 3, 5, 7 – дріт; 2, 4, 6, 8 – складовий електрод; 1, 2 – статичне навантаження;
 3, 4 – неметалеві включення; 5, 6 – в'язке руйнування; 7, 8 – квазіскол

Подальші дослідження в даному напрямку є перспективними, так як дозволять розробити нові процеси високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, які забезпечують підвищення тріщиностійкості та зносостійкості робочих і опорних валків.

ВИСНОВКИ

Тріщиностійкість в значній мірі визначає зносостійкість наплавленого металу, особливо при наплавленні бандажованих опорних валків, які експлуатуються при великих питомих тисках, що приводить до поломок бандажів. Головною характеристикою тріщиностійкості наплавленого металу є ударна в'язкість зварних з'єднань, яка в значному ступені визначається міжатомними зв'язками стиснення. Тріщиностійкість наплавленого металу визначається зварними напругами і міжатомними зв'язками.

Встановлено механізм підвищення тріщиностійкості бандажованих опорних валків при високошвидкісному наплавленні, за рахунок низької погонної енергії, зменшення деформацій і зварювальних напруг. Встановлено, що тріщиностійкість якісно характеризує ударна в'язкість, яка при збільшенні швидкості наплавлення і зниженні погонної енергії зростає.

При збільшенні швидкості зварювання до 0,021 м/с і зниженні погонної енергії до 2,7 МДж/м ударна в'язкість різко зростає, а потім залишається майже незмінною. Збільшення ударної в'язкості при підвищенні швидкості зварювання є результатом подрібнення мікроструктури і зменшення мікроспотворень кристалічної решітки, мікронапруг і щільності дислокацій, з якими пов'язують зародження тріщин.

Аналогічно ударної в'язкості змінюються, при підвищенні швидкості зварювання межа міцності, відносне подовження і звуження. При цьому високі значення ударної в'язкості, відносного подовження і звуження свідчать про підвищення тріщиностійкості наплавленого металу.

Розроблений енергозберігаючий процес високошвидкісного наплавлення на низькій погонній енергії, який знижує тепловкладення, деформації, зварювальні напруги, забезпечує здрібнення мікроструктури, збільшення міжатомних зв'язків стиснення, підвищення тріщиностійкості та зносостійкості бандажованих опорних валків і відсутність поломок бандажів.

Список використаних джерел:

1. *Рябцев, И. А.* Наплавка деталей машин и механизмов / *И. А. Рябцев.* – Киев: Экотехнология, 2004. – 160 с.
2. *Финкель, В. М.* Физика разрушения / *В. М. Финкель.* – М.: Металлургия, 1970. – 376 с.
3. Влияние погонной энергии на образование отколов при наплавке высокоуглеродистой стали аустенитными проволоками / *В. К. Каленский, Я. П. Черняк, В. Г. Васильев, Т. Г. Соломийчук* // Автоматическая сварка. – 2001. – № 11. – С. 11–14.
4. *Прохоров, Н. Н.* Физические процессы в металле при сварке / *Н. Н. Прохоров.* – М.: Металлургия, 1976. – 600 с.
5. *Шоршоров, М. Х.* Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке / *М. Х. Шоршоров, В. В. Белов.* – М.: Наука, 1972. – 228 с.

Машинобудування і зварювальне виробництво

6. Николаев, Г. А. Прочность сварных соединений и деформации конструкций / Г. А. Николаев, С. А. Куркин, В. А. Винокуров. – М. : Высшая школа, 1982. – 272 с.
7. Винокуров, В. А. Теория сварочных деформаций и напряжений / В. А. Винокуров, А. Г. Григорьянц. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
8. Фрумин, И. И. Автоматическая электродуговая наплавка / И. И. Фрумин. – М. : Metallurgy, 1961. – 250 с.
9. Сулова, Е. А. Влияние технологических факторов на склонность к образованию трещин / Е. А. Сулова, В. А. Игнатов, А. С. Зубченко // Сварочное производство. – 1990. – № 5. – С. 35–36.
10. Савицкий, А. М. Влияние скорости сварки и длительности периодического охлаждения на формирование структуры сварных соединений закаливающих сталей при дуговой сварке с термоциклированием / А. М. Савицкий, М. М. Савицкий, Д. П. Новикова // Автоматическая сварка. – 2004. – № 8. – С. 41–45.

Щетинина В. И., Коваль А. В., Элсаед Халед

МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ БАНДАЖИРОВАННЫХ ОПОРНЫХ ВАЛКОВ

Трещиностойкость в значительной степени определяет износостойкость наплавленного металла, особенно при наплавке бандажированных опорных валков, которые эксплуатируются при больших удельных давлениях, что приводит к поломкам бандажей. Главной характеристикой трещиностойкости наплавленного металла является ударная вязкость сварных соединений, которая в значительной степени определяется межзатомными связями сжатия. Трещиностойкость наплавленного металла определяется сварочными напряжениями и межзатомными связями.

Установлен механизм повышения трещиностойкости бандажированных опорных валков при высокоскоростном наплавке за счет низкой погонной энергии, уменьшения деформаций и сварочных напряжений. Установлено, что трещиностойкость качественно характеризует ударная вязкость, которая при увеличении скорости наплавки и снижении погонной энергии возрастает.

При увеличении скорости сварки до 0,021 м / с и снижении погонной энергии до 2,7 МДж/м ударная вязкость резко возрастает, а затем остается почти неизменной. Увеличение ударной вязкости при повышении скорости сварки является результатом измельчения микроструктуры и уменьшения микроискажений кристаллической решетки, микронапряжений и плотности дислокаций, с которыми связывают зарождение трещин.

Аналогично ударной вязкости изменяются, при повышении скорости сварки предел прочности, относительное удлинение и сужение. При этом высокие значения ударной вязкости, относительного удлинения и сужения свидетельствуют о повышении трещиностойкости наплавленного металла.

Разработан энергосберегающий процесс высокоскоростной наплавки на низкой погонной энергии, который снижает тепловложения, деформации, сварочные напряжения, обеспечивает измельчение микроструктуры, увеличение межзатомных связей сжатия, повышения трещиностойкости и износостойкости бандажированных опорных валков и отсутствие поломок бандажей.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Ключевые слова: *механизм повышения трещиностойкости, высокоскоростная наплавка на низкой погонной энергии, ударная вязкость, микронапряжения, сварочные напряжения, измельчение микроструктуры, бандажированные опорные валки.*

Shchetinina V. I., Koval A. V., Elsaed Khaled

THE BANDED SUPPORT ROLLS CRACK RESISTANCE INCREASE MECHANISM

Crack resistance largely determines the weld metal wear resistance, especially when surfacing banded support rolls, which are operated at high specific pressures, which leads to the bands breakage. The main characteristic of the weld metal crack resistance is the welded joints impact toughness, which is largely determined by the interatomic compression bonds. The weld metal crack resistance is determined by the weld stresses and interatomic bonds. The mechanism of crack resistance increase of banded support rolls at high-speed surfacing at low heat input, deformations and welding stresses reduction is established. It is established that crack resistance qualitatively characterizes impact toughness, which increases with increasing surfacing speed and decreasing heat input. As the welding speed increases to 0.021 m/s and the heat input decreases to 2.7 MJ/m, the impact toughness increases sharply and then remains almost unchanged. The increase in impact toughness with increasing welding speed is the result of the microstructure grinding and reduction of the crystal lattice microdistortions, microstresses and dislocation density, which are associated with the cracks formation. Similarly, the impact toughness changes, with increasing welding speed, the tensile strength, elongation and narrowing. The high values of impact toughness, elongation and narrowing indicate an increase in weld metal crack resistance. An energy-saving high-speed surfacing at low heat input process has been developed, which reduces heat input, deformations, welding stresses, provides microstructure crushing, interatomic compression bonds increase, banded support rolls crack resistance and wear resistance increase and bandage breakages absence.

Keywords: *The crack resistance increase mechanism, high-speed surfacing at low heat input, impact toughness, microstresses, welding stresses, microstructure grinding, banded support rolls*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С.С.
Стаття надійшла 19.09.2020 р.*

УДК 621.9

Манойлов О. В., Гагарін В. О., Кудінова К. В.

ЗДОБУТКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СИСТЕМ ОБРОБЛЕННЯ РІЗАННЯМ

Розглянуто проблему впровадження міжнародних стандартів у промисловості та технічній освіті України. Перед фахівцями з технологій металообробки, логістики і

Машинобудування і зварювальне виробництво

оперативного керування виробництвом постала проблема адаптувати технічну документацію до вимог нових стандартів і до сумісності з сучасними інтегрованими системами обміну технічною інформацією. Більшість провідних виробників різального інструменту надають інформацію про свою продукцію з дотриманням вимог комплексу стандартів ISO 13399. Внаслідок домінування на вітчизняному ринку продукції імпортного виробництва фахівці інженерних і логістичних підрозділів підприємств стикаються з певними складнощами стосовно інструментального забезпечення металообробки. Не останнє місце у створенні зазначених складнощів посідає неузгодженість вітчизняних систем позначення інструментів, матеріалів, величин та параметрів з міжнародними стандартами. За результатами аналізу змісту національних і міжнародних стандартів виявлено, що при відсутності принципових відмінностей у поняттях і термінах існують розбіжності у системах позначення величин і параметрів різальних інструментів, а також параметрів, що характеризують процеси оброблення різанням. Рекомендовано прийняття національних стандартів, ідентичних стандартам комплексу ISO 13399, а також перегляд національних стандартів, які суперечать усталеній у світовій практиці системі позначень. Зазначено позитивне значення впровадження стандарту DCTV ISO 513:2015, яким було узгоджено з міжнародними нормами класифікацію та систему позначення твердих інструментальних матеріалів. Зазначено існування певних розбіжностей у правилах оформлення конструкторських документів за альтернативними системами стандартів ЄСКД і ISO 128. Рекомендовано активізувати інформаційний і методичний супровід стандартів серії ISO 128. Наведено рекомендації з вибору програмного забезпечення, сумісного з форматами графічного подання даних обміну інформацією стосовно інструментальних систем за ISO 13399. Запропоновано активізувати адаптацію до нових стандартів навчальні процеси підготовки здобувачів вищої, післядипломної та професійної освіти, а також активніше залучати до розроблення національних стандартів науковців і компетентних фахівців з виробництва.

Ключові слова: міжнародні стандарти, обмін інформацією, інструментальні системи, різальний інструмент, оброблення різанням, класифікація, логістика інструментального забезпечення.

Постановка проблеми. Характерними рисами сучасних тенденцій розвитку технологій металообробки є впровадження інноваційних високотехнологічних методів, глибока модернізація концепцій оброблення традиційними методами, а також широко-інтегроване впровадження у виробничі процеси цифрових і інформаційних технологій. Успішне ведення бізнесу у сфері машинобудування і металообробки вже неможливе в умовах нехтування світовими інтеграційними процесами, які підпорядковані усталеним принципам, правилам і стандартам. Попри певним досягненням вітчизняної стандартизації на сьогодні становище з переходом на міжнародні стандарти ще далеке від довершеності. Зокрема, щодо процесів і засобів технологічного оснащення оброблення різанням, а також загально-технічних норм оформлення документації на сьогодні в Україні використовуються стандарти, які певною мірою суперечать між собою і не у повній мірі відповідають нормам, які використовуються у більшості розвинених країн. Попри наявність на пряму щодо переходу на міжнародні стандарти, алгоритми такого переходу не зовсім зрозумілі пересічному споживачеві. Аналіз публікацій показує, що найбільш активно використовується лише

стандарт ISO 9001 [1, 2]. Між тим існують значні резерви поліпшення інформаційного супроводу і популяризації впроваджених національних стандартів за рахунок державної підтримки і мотивації закладів освіти, зокрема за технічними напрямками підготовки.

Жорстка конкуренція на вітчизняному ринку продукції машинобудування та металообробки за умов поточного зниження попиту на неї мотивує інженерні служби підприємств до скорочення термінів технологічного підготовлення та освоєння виробництва нової продукції. Відчутну складову витрат часу на технічне підготовлення виробництва становлять проектні, виробничі і логістичні витрати часу на організацію інструментального забезпечення. Виклики сучасності мотивують підприємства до активнішого впровадження інтегрованих автоматизованих систем з функціями PDM, CAPP, CAM, CAD, CAE, використання яких сприяє значному скороченню тривалості циклу технологічного підготовлення виробництва. За таких умов значної актуальності набуває забезпечення сумісності і уніфікації інформаційних моделей різальних інструментів і засобів оснащення процесів оброблення різанням. На сьогодні у більшості індустриально розвинених країн впроваджено комплекс міжнародних стандартів серії ISO 13399 щодо обміну інформацією про різальні інструменти та інструментальні системи [4]. Стандарти цього комплексу систематизують і уніфікують параметри і споживчі характеристики інструментальних виробів, що і суттєво прискорює пошук і логістику інструментального забезпечення металообробних виробництв. Більшість провідних світових і регіональних виробників різального інструменту і засобів оснащення металообробки надають супровідну інформацію про свою продукцію саме з дотриманням вимог цього комплексу стандартів.

Мета статті – аналіз ситуації з переходом на нові стандарти та підготовки уніфікації національних стандартів до міжнародних аналогів.

Виклад основного матеріалу. За умов домінування продукції іноземних компаній на вітчизняному ринку постачання різального інструменту і засобів оснащення металообробки певних складнощів у формуванні логістики інструменту для оброблення різанням надає недостатня обізнаність фахівців відповідних структурних підрозділів підприємств-споживачів з діючими принципами міжнародної класифікації та позначення різальних інструментів, їхніх геометричних параметрів та параметрів режимів різання, класифікації та призначення інструментальних матеріалів та зносостійких покривів, а також певна неузгодженість діючих норм національних стандартів з міжнародною практикою.

У вітчизняній металообробці і профільній фаховій освіті становище ускладнюється тим, що практично усі видані на сьогодні в Україні довідково-нормативні матеріали і навчальні видання з оброблення різанням використовують понятійний апарат і систему позначень, регламентовані національним стандартом ДСТУ 2249–93 [3], який у свою чергу є ідентичним за змістом українським перекладом радянського ДСТУ 25762–83 і успадкував від нього термінологію і систему позначення величин і параметрів. На думку авторів цей стандарт (ДСТУ 2249–93) потребує термінового перегляду з метою уніфікації понятійного апарату і системи позначення геометричних параметрів функціональних частин різальних інструментів зі стандартами ISO 3002 та ISO 13399 (рис. 1; табл. 1), а також усунення семантичної неузгодженості у викладенні низки термінів з іншими діючими національними стандартами України.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Таблиця 1 – Відповідність познач величин і параметрів різальних інструментів і процесів оброблення різанням за національними і міжнародними стандартами

Величина або параметр	Позначка		
	За ДСТУ 2249–93	За ISO 3002- 1:1982	За ISO 13399
Глибина різання	t	a_p	APMX
Подача	S	f	
Подача на оберт	S_o	f_n	
Подача на зубець	S_z	f_z	
Швидкість подачі	v_s	v_f	
Швидкість різання	v	v_c	
Передній кут	γ	γ_o	GAMO
Нормальний передній кут	γ_n	γ_n	GAMN
Боковий передній кут*	—	γ_f	GAMF
Осьовий передній кут*	—	γ_p	GAMP
Головний задній кут	α	α_o	ALO
Нормальний задній кут	α_n	α_n	ALN
Боковий задній кут*	—	α_f	ALF
Осьовий задній кут*	—	α_p	ALP
Кут загострення; головний кут загострення	β	β_o	
Нормальний кут загострення	β_n	β_n	
Боковий кут загострення*	—	β_f	
Осьовий кут загострення*	—	β_p	
Головний кут в плані	φ	κ_r	KAPR
Допоміжний кут в плані	φ'	κ'_r	
Кут (в плані) при вершині	ε	ε_r	EPSR
Кут нахилу різальної кромки	λ	λ_s	LAMS
Кут швидкості різання	η	η	
Кут подачі	μ	φ	

Примітка: *для даних параметрів в ДСТУ 2249–93 визначень та познач не встановлено.

Певні зрушення в національній стандартизації спостерігаються щодо уніфікації з міжнародними стандартами системи класифікації інструментальних матеріалів. З прийняттям ДСТУ ISO 513:2015 в Україні було уніфіковано класифікацію твердих сплавів, керамічних інструментальних матеріалів, а також надтвердих інструментальних матеріалів на основі алмазу та кубічного нітриду бору. Згідно з цим стандартом пріоритети у позначенні інструментального матеріалу надаються насамперед його застосуванню і споживчим властивостям, без детальної регламентації його хімічного складу. Тобто, з прийняттям ДСТУ ISO 513:2015 звичні принципи класифікації та формування структури позначення марок твердих сплавів, в основу яких було покладено хімічний склад, — з поділом на одно-, дво-, трьохкарбідні та безвольфрамові, — втратили актуальність. Певною мірою цьому сприяло розширення впровадження інновацій у технологіях нанесення на різальні інструменти або на їхні змінні робочі частини надтвердих, зносостійких, антифрикційних та композитних покриттів, які здатні значно змінити механічні, фізичні і експлуатаційні властивості різальних лез у порівнянні з вихідним інструментальним матеріалом.

Варто зауважити, що подробиці рецептури і тонкощі технології отримання інструментального матеріалу певної марки нерідко становлять фірмове ноу-хау і, відверто кажучи, мало цікавлять споживача. На відміну від попередньої класифікації позначки груп застосування твердих інструментальних матеріалів за ДСТУ ISO 513:2015 не є ідентичними позначками певних марок інструментальних матеріалів, і між ними існує лише орієнтовна відповідність. Тобто одній групі застосування може відповідати декілька марок інструментальних матеріалів від різних брендів, і навпаки: певна марка інструментального матеріалу нерідко виявляється рекомендованою виробником для застосування у декількох групах. На сьогодні у практиці вітчизняній металообробки використовуються сотні марок твердих сплавів та інших інструментальних матеріалів і зносостійких покриттів виробництва десятків компаній з власними внутрішньо-корпоративними системами позначення. Втім переважна більшість асортименту змінних непереточуваних пластин, вставок і подібних виробів, пропонованих постачальниками на вітчизняному ринку, має систему маркування, побудовану з урахуванням принципів, викладених у ДСТУ ISO 513:2015, — тобто у тій чи іншій мірі відображає саме призначення і споживчі властивості інструментального матеріалу, а не його рецептуру (рис. 2). Означена обставина є вагомим аргументом на користь популяризації системи класифікації твердих інструментальних матеріалів за ДСТУ ISO 513:2015.

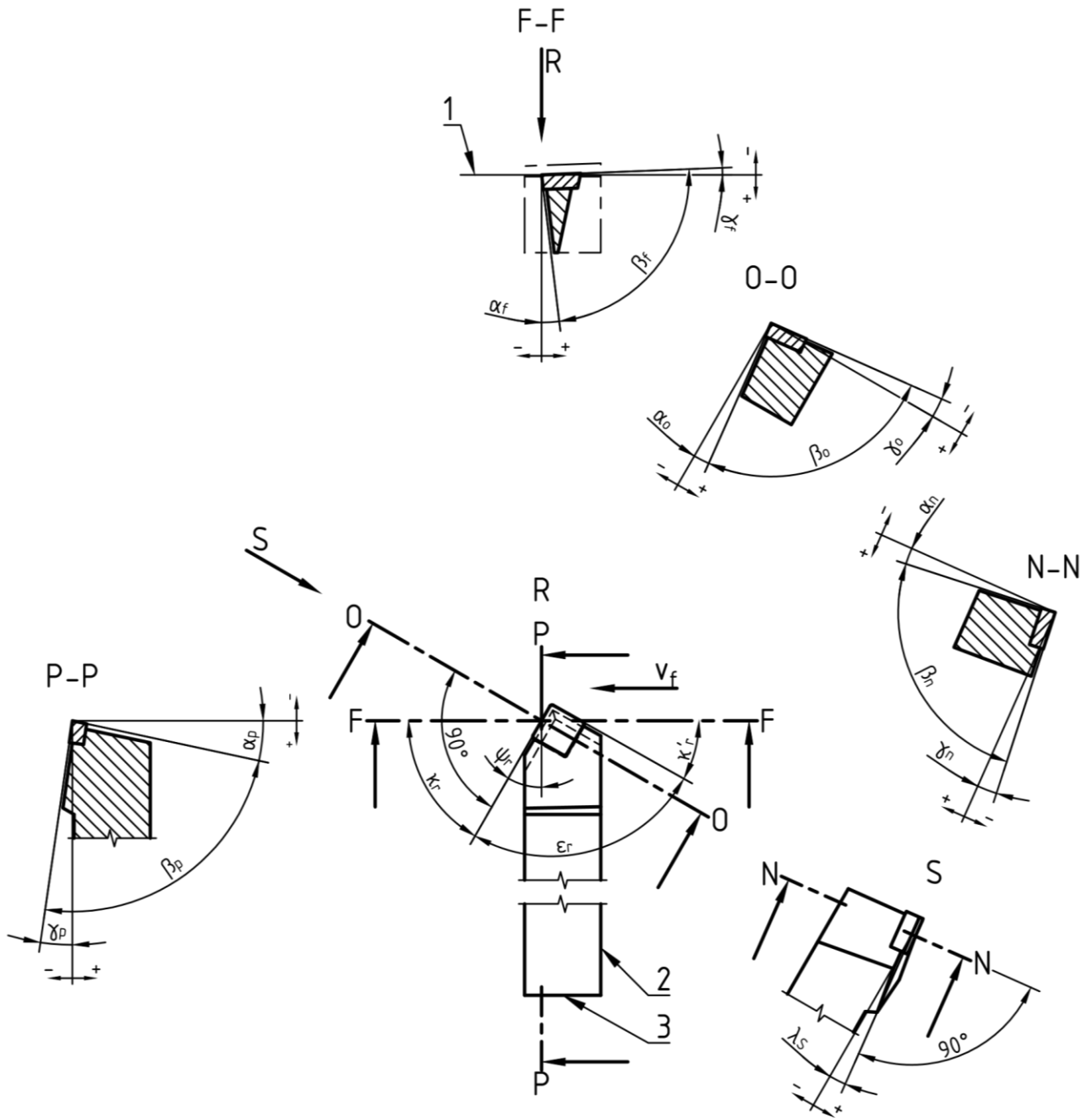


Рисунок 1 – Система позначення геометричних параметрів різальних інструментів за ISO 3002

Провідні компанії з виробництва різального інструменту надають потенціальному споживачеві вичерпну супровідну інформацію щодо своєї продукції, аж до надання у вільне поширення геометричних 3d моделей і 2d креслеників пропонувані виробів інструментального призначення (рис. 3). Це надає споживачеві можливість не тільки природніше сприймати інформацію виробника про певний виріб, але й оперативно і

оптимально адаптувати його до заданих технологічних потреб, а також до спроможностей і розмірного інтерфейсу наявного устаткування та адапційних засобів технологічного оснащення і у підсумку суттєво скоротити терміни виконання робіт з підготовки виробництва, пов'язані з інструментальним забезпеченням. Зазвичай супровід інформаційних моделей інструменту за ISO 13399 графічною інформацією передбачає подання її у двох стандартних форматах файлів — DXF для 2d креслеників і STEP для 3d моделей [6]. Відповідно, для оброблення завантажених файлів у даних форматах споживачеві потрібно подбати про придбання сумісного з ними програмного забезпечення і про опанування персоналом навичок користування таким програмним забезпеченням. Слід зауважити, що якщо перший з вказаних форматів дозволяє імпортувати та експортувати практично все програмне забезпечення, поширене в Україні, то STEP на сьогодні (2020 р.) експортується лише вибірково програмними продуктами та їхніми версіями, як от SolidWorks, Autodesk Inventor, AutoCAD Mechanical, Autodesk Fusion 360, Creo тощо. STEP відомий, як формат стандарту ISO 10303 для комп'ютерного подання і обміну індустріальними даними між CAD-, CAM-, CAE- та PDM-системами.

Стосовно сумісності стандартів оформлення технічних креслеників слід зазначити існування певних розбіжностей у правилах їхнього оформлення між ЄСКД і міжнародними стандартами. У певних випадках подібні розбіжності мають принциповий характер і за контекстом не можуть сприйматись без неоднозначностей і помилок. Слід зазначити, що в Україні ще з 2005 року на альтернативних засадах зі стандартами ЄСКД було започатковано впровадження стандартів графічного оформлення технічних креслеників, ідентичні стандартам серій ISO 128 та ISO 129. Автори змушені констатувати, що попри те, що з прийняття стандартів цих серій для них було встановлено рівну юридичну силу зі стандартами ЄСКД, навіть дотепер дотримання цих стандартів значного поширення серед пересічної інженерної спільноти не набуло. Серед причин такого становища не останнє місце посідають недостатні інформаційний супровід і популяризація стандартів цієї серії, а також нехтування ними при викладанні технічних дисциплін у закладах освіти.

На останок наведемо декілька реплік стосовно значення діяльності закладів освіти у популяризації національних і міжнародних стандартів. Протягом останніх років вимоги до змісту і якості підготовки фахівців з вищою освітою за інженерними напрямками зазнали відчутних змін, значною мірою пов'язаних із забезпеченням перспектив мобільності освіти і адаптації випускника до професійної діяльності в умовах інтеграції до міжнародних економічних відносин. Знання міжнародних стандартів подання і обміну даними про різальні інструменти, володіння ефективними навичками використання їх у професійній діяльності сприяють конкурентоспроможності майбутнього фахівця з механічної інженерії за спеціалізаціями, пов'язаними з обробленням різанням. Відповідно, нагальною потребою є внесення певних коректив у викладання низки інженерних дисциплін і зміст навчальних видань з них.

Машинобудування і зварювальне виробництво

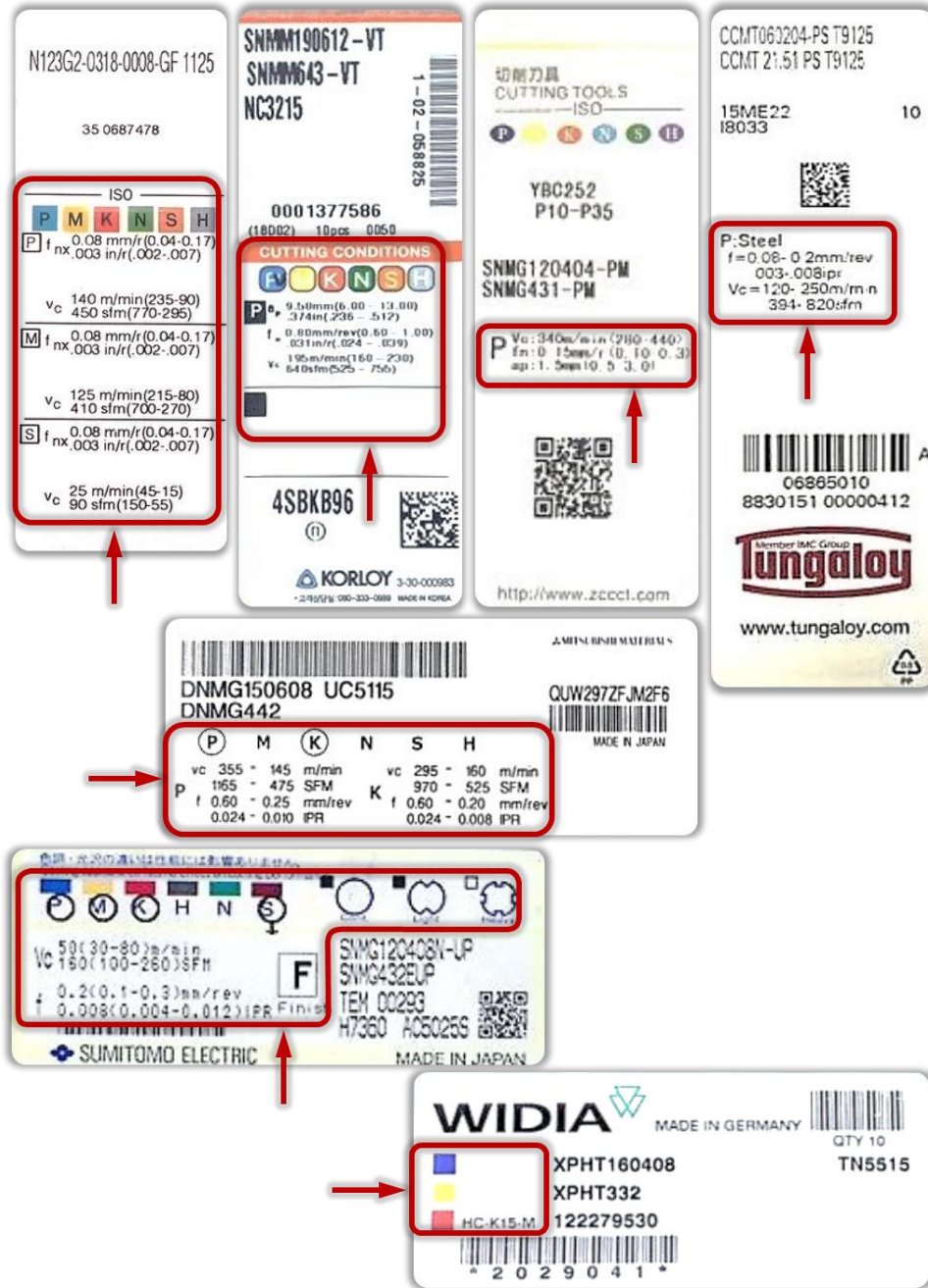


Рисунок 2 – Приклади позначення на етикетках виробників призначення і галузей застосування змінних непереточуваних пластин

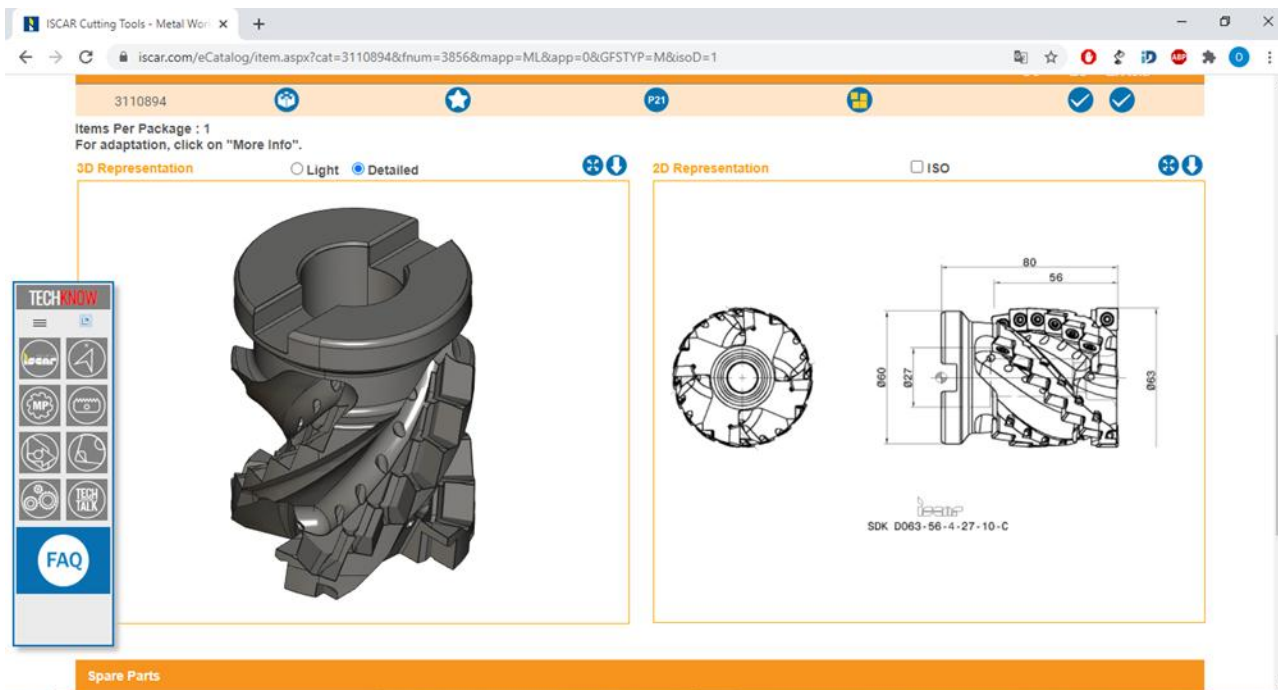


Рисунок 3 – Вільно поширювані 3d модель і 2d кресленник збірної торцево-циліндричної фрези SDK D063-56-04-27-10-C у вікні перегляду сайту компанії Iscar

Безперечно, у викладанні фахових дисциплін потрібен розумний баланс між фундаментальними теоретичними основами і революційними змінами і інноваційними досягненнями. На сьогодні між ними немає якихось принципових розбіжностей. Проте подання навчального матеріалу, термінологію і систему позначень величин і параметрів і вимоги до оформлення технічних документів слід привести до максимальної відповідності діючим міжнародним стандартам і сучасним тенденціям. Адже складно уявити, щоб у XXI столітті хтось викладав географію за трактатами і картами, складеними до Колумба, а граматику – за дореформеною абеткою.

ВИСНОВКИ

Перехід на стандарти аналогічні ISO в Україні відбувається, але цей процес повільний і викликає багато незручностей у користувачів.

Необхідна популяризація сучасних методів обміну інформацією щодо інструментальних матеріалів та інструменту, що полегшить роботу інструментальних служб та дадуть поштовх розвитку галузі.

Потрібне узгодження та уніфікація термінології при прийнятті нових стандартів.

Нагальною потребою є внесення певних коректив у викладання низки інженерних дисциплін і зміст навчальних видань з них. Знання міжнародних стандартів обміну даними про різальні інструменти, сприяють конкурентоспроможності майбутнього фахівця.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. – К.: УкрНДНЦ, 2016. – 22 с.
2. ДСТУ 2233–93. Інструменти різальні. Терміни та визначення. – Введ. 1994–07–01. – К.: Держстандарт України, 1993. – 43 с.
3. ДСТУ 2249–93. Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення. – Чинний від 1995–01–01. – К.: Держстандарт України, 1994. – 63 с.
4. ДСТУ ISO 513:2015 (ISO 513:2012, IDT) Матеріали тверді різальні для зняття стружки з певними різальними крайками. Класифікація та застосування. Позначення основних груп щодо зняття стружки і груп щодо застосування. – Чинний від 2016–01–01. – К.: УкрНДНЦ, 2015. – 42 с.
5. ISO 3002-1:1982. Basic quantities in cutting and grinding. Part 1 : Geometry of the active part of cutting tools – General terms, reference systems, tool and working angles, chip breakers. – Geneva, Switzerland: ISO, 1992. – 52 p.
6. ISO 13399-3:2014. Cutting tool data representation and exchange. Part 3 : Reference dictionary for tool items. – Geneva, Switzerland: ISO, 2014. – 140 p.
7. Манойлов, О. В. Перспективи адаптації національних стандартів України до стандартів серії ISO 128 та проблеми інформаційного забезпечення їхнього впровадження / О. В. Манойлов, В. О. Гагарін, К. В. Кудинова // Університетська наука - 2020 : тези доп. Міжнар. науково-техн. конф. (Маріуполь, 20–21 травня 2020 р.): в 4 т. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – Т. 2. – С. 64–68.
8. Роз'яснення щодо дії міждержавних стандартів (ГОСТ) в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://quality.ua/roz-yasnennya-shhodo-diyi-mizhderzhavnih-standartiv-gost-v-ukrayini/>
9. ДП «УкрНДНЦ». Послуги [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uas.org.ua/ua/services/>
10. Mastercam інтегрує бібліотеку інструментів Adveon™ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/news/press_releases/pages/mastercam-and-adveon.aspx
11. Catalog ISCAR [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx>

Манойлов О. В., Гагарін В. А., Кудинова К. В.

ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

Рассмотрена проблема внедрения международных стандартов в промышленности и техническом образовании Украины. Перед специалистами по технологиям металлообработки, логистике и оперативному управлению производством стоит проблема адаптации технической документации к требованиям новых стандартов и к совместимости с современными интегрированными системами обмена технической информацией. Большинство ведущих производителей режущего инструмента

Машинобудування і зварювальне виробництво

предоставляют информацию о своей продукции с соблюдением требований комплекса стандартов ISO 13399. Вследствие доминирования на отечественном рынке продукции импортного производства специалисты инженерных и логистических подразделений предприятий сталкиваются с определенными затруднениями в инструментальном обеспечении металлообработки. Не последнее место в создании отмеченных затруднений занимает несогласованность с международными стандартами отечественных систем обозначения инструментов, материалов, величин и параметров. По результатам анализа содержания национальных и международных стандартов установлено, что при отсутствии принципиальных различий в понятиях и терминах существуют расхождения в системах обозначения величин и параметров режущих инструментов, а также параметров, характеризующих процессы обработки резанием. Рекомендовано принятие национальных стандартов, идентичных стандартам комплекса ISO 13399, а также пересмотр национальных стандартов, которые противоречат сложившейся в мировой практике системе обозначений. Отмечено положительное значение принятия стандарта ДСТУ ISO 513:2015, согласовавшего с международными нормами классификацию и систему обозначения твердых инструментальных материалов. Отмечено существование определенных расхождений в правилах оформления конструкторских документов в альтернативных системах стандартов ЕСКД и ISO 128. Рекомендовано активизировать информационное и методическое сопровождение стандартов серии ISO 128. Приведены рекомендации по выбору программного обеспечения, совместимого с форматами графического представления данных обмена информацией об инструментальных системах по ISO 13399. Предложено активизировать адаптацию к новым стандартам учебных процессов подготовки соискателей высшего, последиplomного и профессионального образования, а также активнее привлекать к разработке национальных стандартов ученых и компетентных специалистов с производства.

Ключевые слова: международные стандарты, обмен информацией, инструментальные системы, режущий инструмент, обработка резанием, классификация, логистика инструментального обеспечения.

Manoilov O. V., Naharin V. O., Kudinova K. V.

ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF IMPLEMENTATION OF INTERNATIONAL STANDARDS OF INFORMATION SUPPORT OF INSTRUMENTAL CUTTING PROCESSING SYSTEMS

The problem of implementation of international standards in industry and technical education in Ukraine is considered. Specialists in metalworking, logistics and operational production management faced the problem of adapting technical documentation to the requirements of new standards and to compatibility with modern integrated technical information exchange systems. Most leading manufacturers of cutting tools provide information about their products in compliance with the requirements of ISO 13399. Due to the dominance of imported products in the domestic market, specialists in engineering and logistics departments of enterprises face certain difficulties in tooling metalworking. Not the last place in creation of the specified difficulties is occupied by inconsistency of domestic systems of designation of tools, materials, sizes and parameters with the international standards. According to the analysis of the content of national

and international standards, it was found that in the absence of fundamental differences in concepts and terms, there are differences in the systems of notation of values and parameters of cutting tools, as well as parameters that characterize cutting processes. It is recommended to adopt national standards identical to the standards of the ISO 13399 complex, as well as to revise national standards that contradict the established system of designations in world practice. The positive significance of the implementation of the standard DSTU ISO 513: 2015, which harmonized the classification and system of designation of solid tool materials with international standards, was noted. The existence of certain differences in the rules of design documents for alternative systems of ESCD and ISO 128 standards is recommended. It is recommended to intensify information and methodological support of ISO 128 series standards. It is proposed to intensify the adaptation to the new standards of educational processes for the preparation of applicants for higher, postgraduate and professional education, as well as to more actively involve scientists and competent specialists in the development of national standards.

Keywords: *international standards, information exchange, tool systems, cutting tool, cutting processing, classification, tool logistics*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» В. В. Суглобов
Стаття надійшла 19.09.2020 р.*

УДК 621.923

Сергєєв А. С.

РОЗВИТОК ТЕОРЕТИКО-ІМОВІРНІСНОГО ПІДХОДУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ШЛІФУВАННІ

В роботі отримав подальший розвиток теоретико-імовірнісний підхід до визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні. На його основі встановлено аналітичні залежності для визначення висотних параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні кругом, в якому ріжучі зерна змодельовані в формі сфери. Це нове теоретичне рішення, так як у відомих розрахунках параметрів шорсткості поверхні ріжучі зерна, як правило, приймаються в спрощеному вигляді в формі конуса або усіченого конуса. Безсумнівно, це дозволяє спростити розрахунки, однак при цьому має місце досить велика розбіжність теоретичних і експериментальних значень шорсткості поверхні. Тому уявлення в розрахунках ріжучих зерен в формі сфери дозволяє наблизити розрахункові значення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні до експериментальних даних, що підтверджується результатами експериментальних досліджень. Розрахунками встановлено, що при переході від конусоподібної до сферичної форми ріжучих зерен висотні параметри шорсткості поверхні зменшуються більш ніж в два рази, а це приводить у відповідність теорію і практику шліфування. Встановлено також, що з кінематики-геометричної точки зору глибина шліфування не входить в залежність для визначення висотних параметрів шорсткості поверхні. Однак, виходячи з експериментальних даних, зі збільшенням глибини шліфування збільшується параметр шорсткості поверхні R_a , що може

Машинобудування і зварювальне виробництво

бути пов'язано з більш інтенсивним руйнуванням ріжучих зерен і утворенням на них гострих ріжучих крайок. У цьому випадку розрахунок параметра Ra слід проводити на основі залежності, яка враховує конусоподібну форму ріжучих зерен, що дозволяє більш повно оцінити технологічні можливості зменшення висотних параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні.

Запропонований в роботі теоретичний підхід, що забезпечує перехід від конусоподібної до сферичної форми ріжучих зерен, дозволив також уточнити відомі розрахункові залежності для визначення максимальної (ймовірнісної) товщини зрізу при шліфуванні. Це має важливе практичне значення при вирішенні завдань оптимізації та прогнозування перспективних напрямків підвищення ефективності шліфування з точки зору забезпечення висотних показників шорсткості і точності оброблюваних поверхонь.

Ключові слова: якість обробки, шліфувальний круг, синтетичні надтверді матеріали, сферичні і конусоподібні ріжучі зерна, максимальна висота мікронерівностей, максимальна товщина зрізу.

Постановка проблеми. Шорсткість поверхні є найважливішим показником якості обробки деталей машин, що визначає їх експлуатаційні властивості. Тому вишукування ефективних методів зниження висотних параметрів шорсткості оброблюваної поверхні в науково-технічній літературі постійно приділяється велика увага. В особливій мірі це відноситься до методів шліфування, які є основними методами остаточної обробки деталей машин, що забезпечують високі показники шорсткості і точності оброблюваних поверхонь. Так, завдяки створенню і застосуванню алмазно-абразивних інструментів з'явилася можливість істотного зменшення висотних параметрів шорсткості поверхонь оброблюваних деталей, що працюють в умовах інтенсивного тертя і зносу. Це дозволило підвищити їх працездатність, а також стало важливим етапом створення нових зразків наукомісткої техніки. Подальшим етапом розвитку методів фінішної обробки деталей машин слід розглядати створення надійних методик розрахунку параметрів шорсткості поверхні, особливо для процесів шліфування, на основі теоретико-імовірнісного підходу, запропонованого професорами Корольовим А. В. та Новоселовим Ю. К. Це дозволить спрогнозувати перспективні напрямки поліпшення шорсткості поверхні при шліфуванні. Тому справжня робота спрямована на вирішення актуальної науково-практичної задачі, присвяченій вдосконаленню методики розрахунку параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання розрахунку параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні розглянуті в роботах [1 - 4]. Найбільш достовірні результати розрахунків отримані на основі теоретико-імовірнісного підходу [2, 3], в якому відображена основна особливість формування шорсткості поверхні при шліфуванні, пов'язана з імовірнісним характером участі абразивних зерен в різанні. Аналітичні і чисельні розрахунки параметрів шорсткості поверхні виконуються з використанням теореми множення незалежних випадкових величин.

У роботах Новикова Ф. В. [5, 6] наведені аналітичні залежності для визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні. Однак вони отримані стосовно конусоподібної формою ріжучих зерен, що справедливо в більшій мірі для зерен круга, виготовлених із синтетичних надтвердих матеріалів. Звичайні абразивні зерна в розрахунках, як правило, модулюються в формі сфери. Тому важливо отримані аналітичні залежності

підпорядкувати умов шліфування кругом зі сферичною формою ріжучих зерен. Це дозволить кількісно оцінити результати розрахунків параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні для різних форм зерен і визначити можливості їх практичного використання для прогнозування умов зменшення висотних параметрів шорсткості поверхні.

Мета роботи - подальший розвиток теоретико-імовірнісного підходу до визначення висотних параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні і теоретичне обґрунтування умов їх зменшення.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставленого завдання слід скористатися аналітичною залежністю для визначення максимальної висоти мікронерівностей на обробленій поверхні деталі R_{max} при шліфуванні, наведеної в роботі [5]:

$$R_{max} = 5 \sqrt{\frac{10^5 \cdot \pi^2 \cdot \bar{X}^6 \cdot V_{дет}^2 \cdot \rho}{tg^2 \gamma \cdot m^2 \cdot V_{кр}^2}}, \quad (1)$$

де $V_{дет}$ – швидкість деталі, м/с; $V_{кр}$ – швидкість круга, м/с; \bar{X} – зернистість круга, м; m – об'ємна концентрація зерен у крузі; $R_{дет}$ – радіус деталі, м; $R_{кр}$ – радіус круга, м; $\rho = \frac{1}{R_{дет}} + \frac{1}{R_{кр}}$ – приведений радіус, м⁻¹; γ – половина кута при вершині ріжучої частини зерна в формі конуса.

При плоскому шліфуванні $R_{дет} \rightarrow \infty$, тоді $\rho = 1/R_{кр}$.

При круглому зовнішньому шліфуванні $\rho = \frac{1}{R_{дет}} + \frac{1}{R_{кр}}$, а при внутрішньому

шліфуванні $\rho = -\frac{1}{R_{дет}} + \frac{1}{R_{кр}}$, тому що радіус деталі $R_{дет}$ приймає негативне значення.

Залежність (1) містить невизначений параметр – кут γ . При моделюванні ріжучого зерна в формі конуса його рекомендують в розрахунках приймати рівним або близьким до 45°, виходячи з експериментальних даних вимірювання кутів при вершинах абразивних зерен.

Як показано вище, при аналізі процесу шліфування абразивним кругом традиційно ріжучі зерна розглядаються в формі сфери. Тому слід скористатися розрахунковою схемою, представленої на рис. 1, розглядаючи кут 2γ , вписаним в коло, яке відповідає формі ріжучого зерна. Оскільки параметр шорсткості поверхні R_{max} значно менше радіуса зерна R , то цілком допустимо його сферичну частину уявити в формі конуса. Тоді тригонометрична функція $tg \gamma$, що входить в залежність (1), визначиться:

$$tg \gamma = \frac{x_A}{y_A} \quad (2)$$

де x_A , y_A – координати точки A , в якій відбувається перетин поверхонь конуса і сфери.

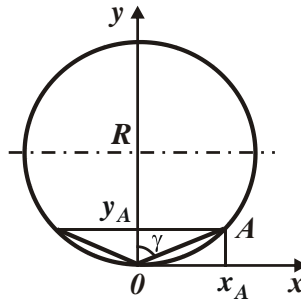


Рисунок 1 – Розрахункова схема координат точки A – x_A і y_A

Координата $y_A = R_{max}$, а координата x_A визначається з рівняння окружності:

$$x^2 + (y - R)^2 = R^2. \quad (3)$$

Звідки

$$x_A = \sqrt{R^2 - (y_A - R)^2} \approx \sqrt{\bar{X} \cdot R_{max}}, \quad (4)$$

де - $\bar{X} = 2 \cdot R$ діаметр абразивного зерна, м.

Підставляючи залежність (4) в (2), маємо:

$$\operatorname{tg} \gamma = \sqrt{\frac{\bar{X}}{R_{max}}}. \quad (5)$$

Тоді залежність (1) з урахуванням залежності (5) приймає вид:

$$R_{max} = 5 \sqrt{\frac{R_{max}}{\bar{X}} \cdot \frac{10^5 \cdot \pi^2 \cdot \bar{X}^6 \cdot V_{det}^2 \cdot \rho}{\operatorname{tg}^2 \gamma \cdot m^2 \cdot V_{кр}^2}}. \quad (6)$$

Після зведення лівої і правої частин залежності (6) в п'яту ступінь, отримано:

$$R_{max}^4 = \frac{10^5 \cdot \pi^2 \cdot \bar{X}^5 \cdot V_{det}^2 \cdot \rho}{m^2 \cdot V_{кр}^2}, \text{ звідки}$$

$$R_{max} = 10 \cdot \bar{X} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \sqrt{10 \cdot \bar{X} \cdot \rho \cdot V_{det}}}{m \cdot V_{кр}}}. \quad (7)$$

Таким чином, отримана залежність для визначення параметра шорсткості поверхні R_{max} при шліфуванні кругом зі сферичними ріжучими зернами. Вона відрізняється від аналогічної залежності (1), справедливої для кола з конусоподібними ріжучими зернами.

Проведемо порівняння результатів розрахунків параметра R_{max} по залежностям (7) і (1), використовуючи вихідні дані, наведені в роботі [5]: $V_{det} = 1$ м/хв.; $V_{кр} = 35$ м/с; $R_{det} = 80$ мм; $R_{кр} = 150$ мм; $\bar{X} = 0,2$ мм; $m = 100$.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Виходячи із залежності (7), розрахунками встановлено: $R_{max} = 3,4$ мкм. Відповідно, параметр шорсткості поверхні R_a з урахуванням відомої умови $R_{max}/R_a = 5$ дорівнює

$R_a = 0,68$ мкм. Розрахункове значення кута γ (рис.1) в цьому випадку дорівнює $\gamma = 82^\circ$.

Виходячи із залежності (1), з урахуванням $\gamma = 45^\circ$ розрахунками встановлено: $R_{max} = 7,72$ мкм; $R_a = 1,54$ мкм.

Як видно, при сферичній формі ріжучих зерен параметр шорсткості поверхні R_a приймає значення, в 2,26 рази менше, ніж при конусоподібній формою зерен. Це в більшій мірі відповідає експериментальним даним параметра R_a (рис. 2), отриманим при круглому зовнішньому шліфуванні (з невеликою глибиною шліфування $t = 0,05$ мм) твердосплавного виробу (багатолезвийного інструменту - фрези) алмазним кругом 1A1 300x25 AC6 200/160 M1-01 4 на металевій зв'язці M1-01. Опрацьований матеріал - твердий сплав ВК8. Часткова поздовжня подача (визначається відношенням ширини шліфування до висоти круга) встановлювалася рівною $S_\delta = 0,9$.

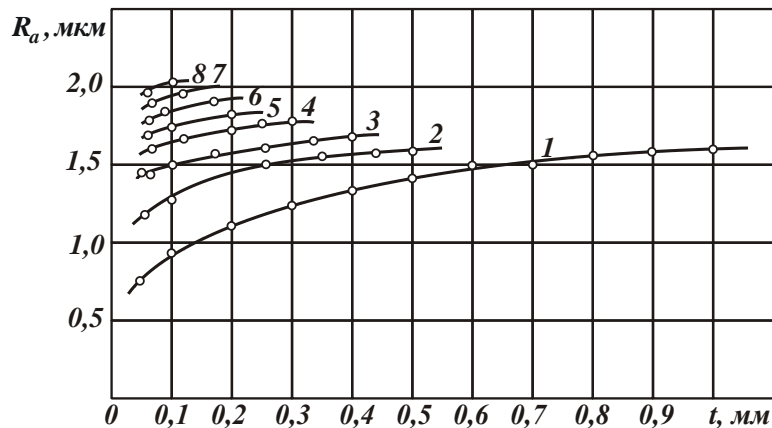


Рисунок 2 – Залежність шорсткості поверхні R_a від глибини шліфування t

Умови шліфування: алмазний коло - 1A1 300x25 AC6 200/160 M1-01 4; опрацьований матеріал - твердий сплав ВК8; $S_\delta = 35$ м / с; $S_\delta = 0,9$; $R_{дет} = 80$ мм.

Умовні позначення: 1 ... 6 - $V_{дет} = 1 \dots 6$ м/хв.; 7 - $V_{дет} = 8$ м/хв.; 8 - $V_{дет} = 10$ м/хв.

Як впливає з рис. 2, зі збільшенням глибини шліфування t і переходом в область глибокого шліфування параметр шорсткості поверхні R_a збільшується. Це відбувається в результаті підвищення інтенсивності руйнування алмазних зерен і утворення на них гострих різальних крайок, тобто в результаті переходу від сферичної форми ріжучих зерен до конусоподібної форми. У цьому випадку доцільно параметр шорсткості поверхні R_a встановлювати на основі залежності (1), яка справедлива для конусоподібної форми ріжучих зерен. Отримане розрахункове значення $R_a = 1,54$ мкм для цього випадку з урахуванням $\gamma = 45^\circ$ цілком відповідає експериментально встановленим значенням при $t > 0,05$ мм (рис. 2).

Расчет параметра R_a по зависимости (7) для скорости детали $V_{dem}=10$ м/мин. показал, что $R_a=2,15$ мкм (при $R_{max}=10,74$ мкм). Соответственно, расчетное значение угла $\gamma=77^\circ$. Сравнивая расчетное значение R_a с экспериментальным значением R_a при глубине шлифования $t=0,05$ мм (рис. 2), установлено, что они близки. Расхождение этих значений составляет менее 10 %, что свидетельствует о достоверности предложенного подхода к расчету параметров шероховатости поверхности R_a и R_{max} при шлифовании кругом со сферической формой режущих зерен. Таким образом, предложенный теоретический подход позволяет уточнить известные расчетные зависимости для определения параметров шероховатости поверхности при шлифовании и получить более точные расчетные значения высотных параметров шероховатости поверхности.

Розрахунок параметра R_a по залежності (7) для швидкості деталі $V_{dem} = 10$ м/хв. показав, що $R_a = 2,15$ мкм (при $R_{max} = 10,74$ мкм). Відповідно, розрахункове значення кута $\gamma = 77^\circ$. Порівнюючи розрахункове значення R_a з експериментальним значенням R_a при глибині шліфування $t = 0,05$ мм (рис. 2), встановлено, що вони близькі. Розбіжність цих значень не перевищує 10 %, що свідчить про достовірність запропонованого підходу до розрахунку параметрів шорсткості поверхні R_a і R_{max} при шліфуванні кругом зі сферичною формою ріжучих зерен. Таким чином, запропонований теоретичний підхід дозволяє уточнити відомі розрахункові залежності для визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні і отримати більш точні розрахункові значення висотних параметрів шорсткості поверхні.

Встановлена залежність (5) для визначення функції $tg\gamma$ дозволяє уточнити наведене в роботі [5] теоретичне рішення про визначення максимальної (ймовірнісної) товщини зрізу при шліфуванні:

$$H_{max} = \sqrt[3]{\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{dem} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{tg\gamma \cdot m \cdot V_{кр}}} \quad (8)$$

Підставляючи в залежність (8) функцію, яка визначається залежністю (5), маємо:

$$H_{max} = \sqrt[3]{\frac{H_{max}}{\bar{X}} \cdot \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{dem} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{m \cdot V_{кр}}} \quad \text{або} \quad (9)$$

$$H_{max}^6 = \frac{H_{max}}{\bar{X}} \cdot \left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{dem} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{m \cdot V_{кр}} \right)^2 \quad (10)$$

Звідки

$$H_{max} = \bar{X} \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{dem} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{m \cdot V_{кр}} \right)^2} \quad (11)$$

В результаті отримано аналітичне рішення, що дозволяє привести у відповідність теорію і практику шліфування, оскільки в залежності (11) відсутня невизначена функція $tg\gamma$.

Машинобудування і зварювальне виробництво

На основі залежності (11) з урахуванням $\bar{X} = 2 \cdot R$ (де R - радіус зерна, м) можна встановити відношення H_{max}/R [6], визначальна умова здійснення процесу різання (стружкоутворення) або умова здійснення пластичного деформування оброблюваного матеріалу (без утворення стружки):

$$\frac{H_{max}}{R} = 2 \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{\rho \cdot t}}{m \cdot V_{кр}} \right)^2} \quad \text{або} \quad (12)$$

$$\frac{H_{max}}{R} = 2 \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot Q \cdot \sqrt{\rho}}{m \cdot V_{кр} \cdot B \cdot \sqrt{t}} \right)^2}, \quad (13)$$

де - $Q = B \cdot V_{дет} \cdot t$ - продуктивність обробки, м³/с; B - ширина шліфування, м.

Розрахунками встановлено, що при $Q = 10 \cdot 10^3$ мм³/хв. відношення $H_{max}/R = 0,255$, а при $Q = 10^3$ мм³/хв., відповідно, $H_{max}/R = 0,1$. Як відомо, при $H_{max}/R = 0,255$ процес різання (стружкоутворення) здійснимо, а при $H_{max}/R = 0,1$ переважатиме процес пластичного деформування оброблюваного матеріалу.

Таким чином, встановлено, що, завдяки запропонованому підходу до визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні, можна більш точно і обґрунтовано підходити до вибору оптимальних умов обробки, що забезпечують задану шорсткість обробленої поверхні. Отримані теоретичні рішення є подальшим розвитком робіт [7, 8], присвячених визначенню умов зменшення висотних параметрів шорсткості поверхні R_a і R_{max} при шліфуванні.

ВИСНОВКИ

В роботі отримав подальший розвиток теоретико-імовірнісний підхід до визначення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні. На його основі встановлено аналітичні залежності для визначення висотних параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні кругом, в якому ріжучі зерна змодельовані в формі сфери. Це нове теоретичне рішення, так як у відомих розрахунках параметрів шорсткості поверхні ріжучі зерна, як правило, приймаються в спрощеному вигляді в формі конуса або усіченого конуса, що, безсумнівно, дозволяє спростити розрахунки. Однак при цьому має місце досить велика розбіжність теоретичних і експериментальних значень шорсткості поверхні. Тому уявлення в розрахунках ріжучих зерен в формі сфери дозволяє наблизити розрахункові значення параметрів шорсткості поверхні при шліфуванні до експериментальних даних, що підтверджується результатами експериментальних досліджень.

Розрахунками встановлено, що при переході від конусоподібної до сферичної формі ріжучих зерен висотні параметри шорсткості поверхні зменшуються більш ніж в два рази, а це приводить у відповідність теорію і практику шліфування. Запропонований в роботі теоретичний підхід, що забезпечує перехід від конусоподібної до сферичної формі ріжучих зерен, дозволив також уточнити відомі розрахункові залежності для визначення

Машинобудування і зварювальне виробництво

максимальної (ймовірнісної) товщини зрізу при шліфуванні. Це має важливе практичне значення при вирішенні завдань оптимізації та прогнозування перспективних напрямків підвищення ефективності шліфування з точки зору забезпечення високих показників шорсткості і точності оброблюваних поверхонь.

Список використаних джерел:

1. *Маслов, Е. Н.* Теория шлифования металлов / *Е. Н. Маслов.* – М. : Машиностроение, 1974. – 319 с.
2. *Королев, А. В.* Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке / *А. В. Королев.* – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 212 с.
3. *Novoselov, Yu. K.* Dynamics of surface shaping in abrasive processing / *Yu. K. Novoselov.* – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 317 p.
4. *Евсеев, Д. Г.* Физические основы процесса шлифования / *Д. Г. Евсеев, А. И. Сальников.* – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1978. – 128 с.
5. *Новіков Ф. В.* Високопродуктивне алмазне шліфування : монографія / *Ф. В. Новіков.* – Харків : Вид. ХНЕУ, 2014. – 412 с.
6. *Новіков, Ф. В.* Основи обробки металевих виробів з оптичними властивостями: монографія / *Ф. В. Новіков, В. Г. Шкурупій.* – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 388 с.
7. *Сергеев, О. С.* Теоретичний аналіз технологічних можливостей зменшення шорсткості поверхні при абразивній обробці [Електронний ресурс] / *О. С. Сергеев, О. О. Анділахай* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Вип. 39. – С. 86–93. – (Серія : Технічні науки). – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/26882>
8. *Сергеев, А. С.* Обоснование эффективности применения абразивной обработки для уменьшения шероховатости поверхности / *А. С. Сергеев* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Techniques in a machine industry: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків, 2020. – № 1 (1). – С. 19–23.

Сергеев А. С.

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

В работе получил дальнейшее развитие теоретико-вероятностный подход к определению параметров шероховатости поверхности при шлифовке. На его основе установлены аналитические зависимости для определения высотных параметров шероховатости поверхности при шлифовке кругом, в котором режущие зерна смоделированы в форме сферы. Это новое теоретическое решение, так как в известных расчетах параметров шероховатости поверхности режущие зерна, как правило, принимаются в упрощенном виде в форме конуса или усеченного конуса. Несомненно, это позволяет упростить расчеты, однако при этом имеет место достаточно большое расхождение теоретических и экспериментальных значений шероховатости поверхности.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Поэтому представление в расчетах режущих зерен в форме сферы позволяет приблизить расчетные значения параметров шероховатости поверхности при шлифовке в экспериментальных данных, что подтверждается результатами экспериментальных исследований. Расчетами установлено, что при переходе от конусообразной к сферической формы режущих зерен высотные параметры шероховатости поверхности уменьшаются более чем в два раза, а это приводит в соответствие теорию и практику шлифования. Установлено также, что по кинематике-геометрической точки зрения глубина шлифования не входит в зависимость для определения высотных параметров шероховатости поверхности. Однако, исходя из экспериментальных данных, с увеличением глубины шлифования увеличивается параметр шероховатости поверхности R_a , что может быть связано с более интенсивным разрушением режущих зерен и образованием на них острых режущих кромок. В этом случае расчет параметра R_a следует проводить на основе зависимости, учитывающей конусообразную форму режущих зерен, что позволяет более полно оценить технологические возможности уменьшения высотных параметров шероховатости поверхности при шлифовке.

Предложенный в работе теоретический подход, обеспечивающий переход от конусообразной к сферической формы режущих зерен, позволил также уточнить известные расчетные зависимости для определения максимальной (вероятностной) толщины среза при шлифовке. Это имеет важное практическое значение при решении задач оптимизации и прогнозирования перспективных направлений повышения эффективности шлифования с точки зрения обеспечения высотных показателей шероховатости и точности обрабатываемых поверхностей.

Ключевые слова: качество обработки, шлифовальный круг, синтетические сверхтвердые материалы, сферические и конусовидные режущие зерна, максимальная высота микронеровностей, максимальная толщина среза.

Serhieiev A. S.

DEVELOPMENT OF THEORETICAL-PROBABILITY APPROACH TO DETERMINING THE PARAMETERS OF SURFACE ROUGHNESS DURING GRINDING

In this work, a probabilistic-theoretical approach to determining the parameters of surface roughness during grinding was further developed. On its basis, analytical dependences are established for determining the height parameters of surface roughness during grinding with a wheel in which the cutting grains are modeled in the form of a sphere. This is a new theoretical solution, since in the known calculations of the surface roughness parameters, cutting grains are usually taken in a simplified form in the form of a cone or truncated cone. Undoubtedly, this makes it possible to simplify the calculations; however, in this case, there is a rather large discrepancy between the theoretical and experimental values of the surface roughness. Therefore, the representation in the calculations of cutting grains in the form of a sphere makes it possible to approximate the calculated values of the parameters of surface roughness during grinding in experimental data, which is confirmed by the results of experimental studies. Calculations have established that in the transition from a conical to a spherical shape of cutting grains, the height parameters of the surface roughness decrease by more than two times, and this brings the theory and practice of grinding into line. It was also found that according to the kinematics-geometrical

Машинобудування і зварювальне виробництво

point of view, the grinding depth is not included in the dependence for determining the height parameters of the surface roughness. However, based on the experimental data, with an increase in the grinding depth, the surface roughness parameter R_a increases, which may be associated with more intense destruction of cutting grains and the formation of sharp cutting edges on them. In this case, the calculation of the R_a parameter should be carried out on the basis of the dependence taking into account the conical shape of the cutting grains, which makes it possible to more fully evaluate the technological possibilities of reducing the height parameters of the surface roughness during grinding.

The theoretical approach proposed in this work, which provides a transition from a conical to a spherical shape of cutting grains, also made it possible to refine the known calculated dependences to determine the maximum (probabilistic) cut thickness during grinding. This is of great practical importance in solving optimization problems and predicting promising directions for increasing the efficiency of grinding from the point of view of ensuring the height parameters of roughness and accuracy of the machined surfaces.

Key words: processing quality, grinding wheel, synthetic superhard materials, spherical and cone-shaped cutting grains, maximum height of microroughness, maximum cut thickness.

Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С.С.
Стаття надійшла 19.07.2020 р.

УДК 621.923

Новіков Ф. В., Новіков Д. Ф., Анділахай О. О., Анділахай В. О.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТОЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ РІЗАННЯМ

В роботі визначені основні напрямки підвищення ефективності фінішної обробки деталей різанням на основі застосування сучасних лезвійних і абразивних інструментів, високопродуктивних технологій обробки на високооборотних металорізальних верстатах типу "обробний центр", що дозволяють виконувати високоточну обробку деталей з однієї установи з найменшими виробничими витратами. Теоретично обґрунтовано основні умови зниження силової напруженості процесу різання, підвищення показників точності, якості і продуктивності обробки. Аналітично визначені пружні переміщення, що виникають в технологічній системі в процесі різання і шліфування. Встановлено, що основними умовами їх зменшення є зменшення радіуса округлення вершини ріжучого елемента (зерна) і збільшення жорсткості технологічної системи. Зменшити радіус округлення вершини леза інструменту можна за рахунок застосування більш зносостійких інструментальних матеріалів з нанесеними на них зносостійкими покриттями, які забезпечують високу ріжучу здатність лезвійних інструментів. Зменшити пружні переміщення в процесі шліфування можна збільшенням зернистості круга за умови забезпечення граничних значень відносини товщини зрізу до радіуса округлення вершини ріжучого зерна, при досягненні яких процес різання переходить в процес тертя і пластичного деформування оброблюваного матеріалу. Викриті значні резерви підвищення ефективності шліфування матеріалів, пов'язані зі зменшенням радіусів округлення вершин абразивних зерен круга за рахунок реалізації режиму

Машинобудування і зварювальне виробництво

самозаточки кола або його ефективної правки. Теоретично доведено, що в цьому випадку істотно зменшуються складові сили різання і умовне напруження різання, що дозволяє зменшити пружні переміщення, що виникають в технологічній системі, та, відповідно, підвищити точність і якість обробки. Наведені в роботі теоретичні рішення всебічно експериментально підтверджені і пройшли широку апробацію - впроваджені у виробництво. Завдяки їх застосуванню вдалося на ряді операцій обробки кардинально вирішити проблему підвищення точності і якості обробки, здійснити перехід від традиційних до нових технологій, реалізованим із застосуванням сучасних верстатів та інструментів зі значними технологічними можливостями.

Ключові слова: *фінішна обробка, шліфування, пружні переміщення, технологічна система, лезвійні та абразивні інструменти, зносостійкі покриття.*

Постановка проблеми. Сучасний рівень розвитку машинобудівного виробництва відкриває нові технологічні можливості виготовлення конкурентоспроможної машинобудівної продукції й виходу на світові ринки. Особливо це стосується фінішних операцій механічної обробки, які найбільш відповідальні за остаточне формування параметрів точності та якості виробів, що виготовляються. Однак ці операції достатньо трудомісткі й різко знижують ефективність виробництва. Тому вдосконалювання фінішних операцій механічної обробки є важливим й актуальним завданням. Перспективним напрямом вирішення цього завдання є застосування ріжучих інструментів зі зносостійкими покриттями, а також інструментів, виготовлених з інструментальних матеріалів із підвищеними фізико-механічними властивостями, наприклад, синтетичних надтвердих матеріалів. Разом з тим, високі потенційні можливості зазначених інструментів на практиці використовуються не повною мірою. Це не дозволяє в остаточному підсумку виконати науково обґрунтований вибір раціональних способів і умов обробки, які забезпечують підвищення точності та якості оброблюваних поверхонь та одночасне збільшення продуктивності й зниження собівартості обробки. Тому дана робота спрямована на вирішення актуального науково-практичного завдання підвищення ефективності процесів фінішної механічної обробки та забезпечення науково обґрунтованого вибору кращих варіантів обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішення завдання підвищення точності та якості оброблюваних поверхонь нерозривно пов'язане із проблемою оптимізації параметрів обробки, створення глибоких математичних моделей різних методів різання лезвійними й абразивними інструментами. У даний час накопичений значний досвід вирішення оптимізаційних завдань в технології машинобудування [1–4]. Однак отримані рішення різномірні, фактично немає узагальнених рівнянь та залежності, що описують цільові функції (параметри точності та якості обробки) та технологічні обмеження. Це звужує можливості оптимального проектування технологічних процесів. Тому є важливим з єдиних позицій провести оптимізацію параметрів лезвійної та абразивної обробки й отримати оптимальні рішення, розробити методики розрахунку оптимальних режимів різання й інших умов обробки, а також розробити практичні рекомендації з виявлення й реалізації нових резервів обробки. Такий підхід дозволить науково обґрунтовано підійти до розкриття (уточнення) фізичної сутності процесів обробки й установлення їх технологічних можливостей із метою підвищення точності та якості обробки, теоретичного узагальнення

Машинобудування і зварювальне виробництво

основних результатів обробки, досягнутих різними методами фінішної обробки, у тому числі й за даними, наведеними в науково-технічній літературі.

Мета роботи – підвищення точності та якості механічної обробки деталей машин на основі теоретичного аналізу закономірностей зниження силової напруженості процесу різання.

Викладення основного матеріалу. У процесі виготовлення відповідальних деталей машин надзвичайно актуальна проблема забезпечення високої точності обробки, особливо за рахунок керування пружними переміщеннями елементів технологічної системи, які, як правило, визначають параметри точності обробки. У загальному вигляді величина пружного переміщення y визначається відношенням радіальної складової сили різання P_y та жорсткості технологічної системи c .

В роботі [5] отримано аналітичну залежність для визначення радіальної складової сили різання:

$$P_y = \epsilon \cdot R \cdot \sqrt[3]{16 \cdot \tau_{зсуб} \cdot HV^2 \cdot \alpha}, \quad (1)$$

де ϵ – ширина різання, м; R – радіус округлення вершини леза інструмента, м; $\alpha = a/R$;

a – товщина зрізу, м; HV – твердість оброблюваного матеріалу (за Віккерсом), Н/м²; $\tau_{зсуб}$ – межа міцності на зсув оброблюваного матеріалу, Н/м².

Це дозволило визначити величину пружного переміщення, яке виникає в технологічній системі в процесі вільного різання лезвійним інструментом:

$$y = \frac{P_{y1}}{c} = \frac{\epsilon \cdot R}{c} \cdot \sqrt[3]{16 \cdot \tau_{зсуб} \cdot HV^2 \cdot \alpha}. \quad (2)$$

Основними умовами зменшення величини y й, відповідно, підвищення точності обробки є зменшення параметрів ϵ , R і збільшення c , а також зменшення відношення $\alpha = a_z/R$ до значення, близького до граничного, за умови якого можливий перехід від процесу різання до процесу тертя й пластичного деформування оброблюваного матеріалу (рис. 1).

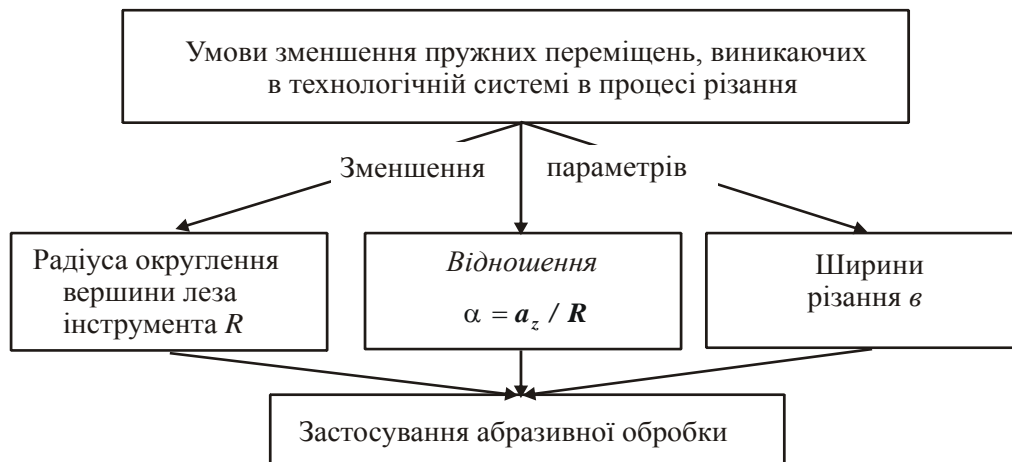


Рисунок 1 – Структурна схема умов зменшення пружних переміщень, виникаючих в технологічній системі в процесі різання

Однак відношення $\alpha = a_z / R$ незначно впливає на величину y , оскільки входить у залежність (2) зі ступенем 0,33. Тому більш ефективно зменшувати величину y шляхом зменшення параметра R , забезпечуючи високу гостроту різального леза інструмента. Домогтися суттєвого зменшення параметра R можна в умовах абразивної обробки.

В роботі [5] наведено більш загальні залежності для визначення тангенціальної P_z та радіальної P_y складових сили різання:

$$P_z = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{зсуг}}{K_{різ}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{різ}^2}\right); \quad (3)$$

$$P_y = \frac{2 \cdot a \cdot v \cdot \tau_{зсуг}}{K_{різ}^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{різ}^2}\right), \quad (4)$$

де $K_{різ} = P_z / P_y$ – коефіцієнт різання.

Використовуючи залежності (3), (4) і залежність для визначення сумарної миттєвої площі поперечного перерізу зрізу всіма одночасно працюючими зернами круга $S_{сум} = Q / V_{кр}$, можна визначити тангенціальну P_z й радіальну P_y складові сили різання під час шліфування (рис. 2):

$$P_z = \sigma \cdot S_{сум} = \sigma \cdot \frac{Q}{V_{кр}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \tau_{зсуг}^2 \cdot HV}{\alpha}} \cdot \frac{Q}{V_{кр}}; \quad (5)$$

$$P_y = \frac{P_z}{K_{різ}} = \frac{\sigma}{K_{різ}} \cdot \frac{Q}{V_{кр}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot \tau_{зсуг} \cdot HV^2}{\alpha^2}} \cdot \frac{Q}{V_{кр}}, \quad (6)$$

де Q – продуктивність обробки, м³/с; $V_{кр}$ – швидкість круга, м/с; $\sigma = P_z / (a \cdot v)$ – умовне напруження різання, Н/м².

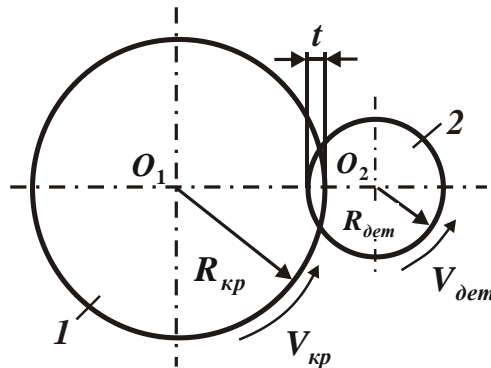


Рисунок 2 – Розрахункова схема параметрів процесу круглого шліфування:
1 – круг; 2 – деталь

Машинобудування і зварювальне виробництво

Як можна бачити, зменшити складові сили різання при шліфуванні можна зменшенням параметрів σ , Q і збільшенням коефіцієнта різання $K_{різ}$ й швидкості круга $V_{кр}$.

Відношення $\alpha = a_z / R$ для схеми круглого шліфування алмазним кругом визначається залежністю [5]:

$$\alpha = \frac{a_z}{R} = \frac{1,09 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{m \cdot V_{кр} \cdot R^3}, \quad (7)$$

де \bar{X} , m – зернистість і об'ємна концентрація зерен в алмазному кругі; $V_{дет}$ – швидкість деталі, м/с; t – глибина шліфування, м; $\rho = 1/R_{кр} + 1/R_{дет}$ – наведений радіус, м⁻¹; $R_{кр}$, $R_{дет}$ – радіуси круга й деталі, м.

Збільшити відношення $\alpha = a_z / R$ можна головним чином зменшенням параметра R , що входить у залежність (7) з найбільшим ступенем. Це може бути досягнуто застосуванням алмазно-абразивних інструментів, які характеризуються високою гостротою різальних крайок алмазних зерен. Однак у цьому разі важливо забезпечити своєчасне видалення з робочої поверхні алмазного круга зерен, що затупилися та мають збільшене значення параметра R . Це досягається застосуванням ефективних методів виправлення круга, особливо електроерозійного або електрохімічного виправлення алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках.

Із залежності (7) випливає, що зі збільшенням параметра R відношення $\alpha = a_z / R$ суттєво зменшується. Як відомо [6], за умови досягнення значень $a_z / R < 0,04$ процес різання припиняється, можливий лише процес пружно-пластичного деформування матеріалу. Тому, щоб забезпечити стійкий процес різання, необхідно виконати умову: $a_z / R > 0,04$. Виходячи із залежності (7), це можливо в результаті збільшення параметрів \bar{X} , $V_{дет}$, t і зменшення m й $V_{кр}$.

Якщо представити різальне зерно у формі сфери радіусом R , то $\bar{X} = 2 \cdot R$ й залежність (7) набуває спрощеного вигляду:

$$\alpha = \frac{1,09 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{t \cdot \rho}}{m \cdot V_{кр}}. \quad (8)$$

У цьому випадку збільшити відношення $\alpha = a_z / R$ можна збільшенням параметрів $V_{дет}$, t і зменшенням m , $V_{кр}$. Більш доцільно збільшувати швидкість деталі $V_{дет}$, реалізуючи процес багатопрохідного шліфування.

Величина α пов'язана з відношенням $Q/V_{кр}$ залежністю (7). З урахуванням виразу $Q = B \cdot V_{дет} \cdot t$ (де B – ширина шліфування, м) та розв'язуючи залежність (7) відносно відношення:

$$\frac{Q}{V_{кр}} = \frac{\alpha \cdot m \cdot B \cdot R^3}{1,09 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3} \cdot \sqrt{\frac{t}{\rho}}, \quad (9)$$

після підстановки отриманої залежності (9) в (5) і (6), отримано:

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$P_z = \sqrt[3]{32 \cdot \tau_{зсуг}^2 \cdot HV \cdot \alpha^2} \cdot \frac{m \cdot B \cdot R^3}{1,09 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3} \cdot \sqrt{\frac{t}{\rho}}; \quad (10)$$

$$P_y = \sqrt[3]{16 \cdot \tau_{зсуг} \cdot HV^2 \cdot \alpha} \cdot \frac{m \cdot B \cdot R^3}{1,09 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3} \cdot \sqrt{\frac{t}{\rho}}. \quad (11)$$

Тоді

$$y = \frac{P_y}{c} = \sqrt[3]{16 \cdot \tau_{зсуг} \cdot HV^2 \cdot \alpha} \cdot \frac{m \cdot B \cdot R^3}{1,09 \cdot 10^3 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3 \cdot c} \cdot \sqrt{\frac{t}{\rho}}. \quad (12)$$

З отриманих залежностей випливає, що зменшити складові сили різання під час шліфування можна зменшенням параметрів α , m , B , R , t і збільшенням зернистості круга \bar{X} . Однак це призводить й до зменшення продуктивності обробки Q , що неефективно. У цих умовах основним шляхом збільшення продуктивності обробки є збільшення швидкості круга $V_{кр}$.

Величина пружного переміщення y змінюється за законом зміни радіальної P_y складової сили різання. Тому домогтися зменшення величини y й тим самим підвищити точність обробки можна зменшенням параметра R й збільшенням зернистості круга \bar{X} . Важливо також забезпечити зменшення відношення $\alpha = a_z / R$ до граничного значення, за якого буде здійснено процес стружкоутворення й різання, наприклад до значення $\alpha = 0,04$.

З урахуванням залежності (7) тангенціальну P_z й радіальну P_y складові сили різання під час шліфування можна виразити через продуктивність обробки Q :

$$P_z = \frac{R}{\bar{X}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\tau_{зсуг}^2 \cdot HV \cdot m \cdot B}{10 \cdot \pi}} \cdot \sqrt{\frac{t}{\rho} \cdot \frac{Q^2}{V_{кр}^2}}; \quad (13)$$

$$P_y = 0,1 \cdot \left(\frac{R}{\bar{X}}\right)^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{16 \cdot \tau_{зсуг} \cdot HV^2 \cdot m^2 \cdot B^2}{\pi^2} \cdot \frac{t}{\rho} \cdot \frac{Q}{V_{кр}}}. \quad (14)$$

Ймовірно, величина пружного переміщення y визначається:

$$y = \frac{0,1}{c} \cdot \left(\frac{R}{\bar{X}}\right)^2 \cdot \sqrt[3]{\frac{16 \cdot \tau_{зсуг} \cdot HV^2 \cdot m^2 \cdot B^2}{\pi^2} \cdot \frac{t}{\rho} \cdot \frac{Q}{V_{кр}}}. \quad (15)$$

Із залежностей (13) – (15), аналогічних залежностям (10) – (12), видно, що найбільше впливають на складові сили різання P_z і P_y й величину пружного переміщення y під час шліфування параметри R і \bar{X} . Тому зменшити величину y можна головним чином за

Машинобудування і зварювальне виробництво

рахунок зменшення параметра R (рис. 3). Це досягається застосуванням кругів із синтетичних надтвердих матеріалів та високопористих кругів [7].

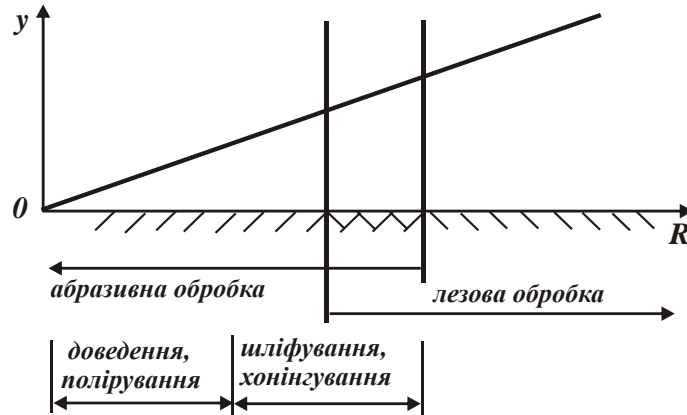


Рисунок 3 – Характер зміни величини пружного переміщення y від R за умови $\alpha = const$

Як відомо, шліфувальний круг характеризується різновисотним розташуванням різальних зерен на його робочій поверхні, що не дозволяє повною мірою використовувати його потенційні можливості з метою зменшення величини y . Значно більші можливості в цьому напрямку мають методи обробки вільним абразивом, які характеризуються фактично одновисотним виступанням різальних зерен (рис. 3).

В умовах поздовжнього точіння (рис. 4) тангенціальна P_z , радіальна P_y й осьова P_x складові сили різання P , а також умовне напруження різання σ з урахуванням відношень: $Q = S \cdot t \cdot V$; $S_{зріз} = a \cdot v = S \cdot t$; $a = a_z = S \cdot \sin \varphi$; $v = t / \sin \varphi$; $\alpha = a_z / R$ набувають вигляду:

$$P_z = \sigma \cdot S_{зріз} = t \cdot \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \tau_{зсуг}^2 \cdot HV \cdot R \cdot S^2}{\sin \varphi}}; \quad (16)$$

$$P_y = \frac{\sigma \cdot \cos \varphi}{K_{різ}} \cdot S_{зріз} = t \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{16 \cdot \tau_{зсуг} \cdot HV^2 \cdot R^2 \cdot S}{\sin^2 \varphi}}; \quad (17)$$

$$P_x = \frac{\sigma \cdot \sin \varphi}{K_{різ}} \cdot S_{зріз} = t \cdot \sqrt[3]{16 \cdot \tau_{зсуг} \cdot HV^2 \cdot R^2 \cdot S \cdot \sin \varphi}; \quad (18)$$

$$\sigma = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot \tau_{зсуг}^2 \cdot HV \cdot R}{S \cdot \sin \varphi}}, \quad (19)$$

де S – подача, м/об.; t – глибина різання, м; V – швидкість різання, м/с; $S_{зріз}$ – площа поперечного перерізу зрізу, м²; φ – головний кут різця в плані, градус.

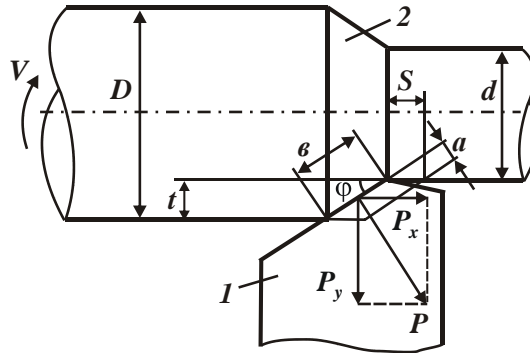


Рисунок 4 – Розрахункова схема поздовжнього точіння:
1 – різець, 2 – деталь; D , d – діаметри заготовки та обробленої деталі

Як видно, найбільше впливає на складові сили різання P_z , P_y і P_x глибина різання t : з її збільшенням P_z , P_y і P_x збільшуються. Зі збільшенням подачі S складові сили різання також збільшуються, однак, у меншому ступені. Умовне напруження різання σ зі збільшенням подачі S й головного кута різця в плані φ зменшується.

Величина пружного переміщення y визначається:

$$y = \frac{P_y}{c} = \frac{t \cdot \cos \varphi}{S} \cdot \sqrt[3]{\frac{16 \cdot \tau_{зсуб} \cdot HV^2 \cdot R^2 \cdot S}{\sin^2 \varphi}}. \quad (20)$$

Виходячи із залежності (20), зменшити величину пружного переміщення y можна зменшенням глибини різання t й збільшенням жорсткості технологічної системи, головного кута різця в плані $\varphi \rightarrow 90^\circ$, а також зменшенням радіуса округлення вершини леза інструмента R . З огляду на те, що зменшення глибини різання t пов'язане зі зменшенням продуктивності обробки й неефективно, основним шляхом зменшення величини y слід розглядати збільшення жорсткості технологічної системи c й зменшення параметра R за рахунок застосування більш зносостійких інструментальних матеріалів з нанесеними на них зносостійкими покриттями, які забезпечують високу різальну здатність лезвійних інструментів.

ВИСНОВКИ

У роботі визначено основні напрями підвищення ефективності фінішної обробки деталей різанням на основі застосування сучасних лезвійних та абразивних інструментів, що дозволяють виконувати високоточну обробку деталей з одного установа з найменшими виробничими витратами. Теоретично обґрунтовані основні умови зниження силової напруженості процесу різання, підвищення показників точності, якості та продуктивності обробки.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Аналітично визначені пружні переміщення, виникаючі в технологічній системі в процесі різання та шліфування. Установлено, що основними умовами їх зменшення є зменшення радіуса округлення вершини різального елемента (зерна) та збільшення жорсткості технологічної системи. Зменшити радіус округлення вершини леза інструмента можна за рахунок застосування більш зносостійких інструментальних матеріалів з нанесеними на них зносостійкими покриттями, які забезпечують високу різальну здатність лезвийних інструментів. Зменшити пружні переміщення в процесі шліфування можна також збільшенням зернистості круга за умови забезпечення граничних значень відношення товщини зрізу до радіуса округлення вершини різального зерна, за умови досягнення яких процес різання переходить у процес тертя й пластичного деформування оброблюваного матеріалу.

Наведені в роботі теоретичні рішення всебічно експериментально підтверджені й пройшли широку апробацію – впроваджені у виробництво. Завдяки їх застосуванню вдалося на ряді операцій обробки кардинально вирішити проблему підвищення точності та якості обробки, здійснити перехід від традиційних до нових технологій, реалізованих із застосуванням сучасних верстатів та інструментів зі значними технологічними можливостями.

Список використаних джерел:

1. Теоретические основы технологии машиностроения : учебник / А. В. Якимов [и др.]. – Одесса : ОНПУ, 2002. – 491 с.
2. Маталин, А. А. Технология машиностроения : учебник / А. А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Лурье, Г. Б. Прогрессивные методы круглого наружного шлифования / Г. Б. Лурье. – Л.: Машиностроение, 1984. – 103 с.
4. Новоселов, Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 232 с.
5. Новиков, Ф. В. Основы повышения качества и производительности механической обработки : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, Г. В. Новиков. – Днепр : Лира, 2017. – 452 с.
6. Якимов, А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
7. Новиков, Ф. В. Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки : монография / Ф. В. Новиков. – Днепр : Лира, 2018. – 400 с.

Новиков Ф. В., Новиков Д. Ф., Андилахай А. А., Андилахай В. А.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

В работе определены основные направления повышения эффективности финишной обработки деталей резанием на основе применения современных лезвийных и абразивных инструментов, высокопроизводительных технологий обработки на высокооборотных

Машинобудування і зварювальне виробництво

металлорежущих станках типа "обрабатывающий центр", позволяющие выполнять высокоточную обработку деталей на одном станке с наименьшими производственными затратами. Теоретически обоснованы основные условия снижения силовой напряженности процесса резания, повышения показателей точности, качества и производительности обработки. Аналитически определены упругие перемещения, возникающие в технологической системе в процессе резания и шлифования. Установлено, что основными условиями их уменьшения является уменьшение радиуса округления вершины режущего элемента (зерна) и увеличение жесткости технологической системы. Уменьшить радиус округления вершины лезвия инструмента можно за счет применения более износостойких инструментальных материалов с нанесенными на них износостойкими покрытиями, которые обеспечивают высокую режущую способность лезвийных инструментов. Уменьшить упругие перемещения в процессе шлифования можно увеличением зернистости круга при условии обеспечения предельных значений отношения толщины среза к радиусу округления вершины режущего зерна, при достижении которых процесс резания переходит в процесс трения и пластического деформирования обрабатываемого материала. Раскрыты значительные резервы повышения эффективности шлифования материалов, связанные с уменьшением радиусов округления вершин абразивных зерен круга за счет реализации режима самозатачивания круга или его эффективной правки. Теоретически доказано, что в этом случае существенно уменьшаются составляющие силы резания и условное напряжение резания, что позволяет уменьшить упругие перемещения, возникающие в технологической системе, и, соответственно, повысить точность и качество обработки. Приведенные в работе теоретические решения всесторонне экспериментально подтверждены и прошли широкую апробацию – внедрены в производство. Благодаря их применению удалось на ряде операций обработки кардинально решить проблему повышения точности и качества обработки, осуществить переход от традиционных к новым технологиям, реализованным с применением современных станков и инструментов со значительными технологическими возможностями.

Ключевые слова: *финишная обработка, шлифование, упругие перемещения, технологическая система, лезвийные и абразивные инструменты, износостойкие покрытия.*

Novikov F. V., Novikov D. F., Andilakhai O. O., Andilakhai V. O.

TECHNOLOGICAL SUPPORT OF PARAMETERS OF ACCURACY AND QUALITY OF MECHANICAL PROCESSING OF MATERIALS BY CUTTING

The main directions of increase of efficiency of finishing of details by cutting on the basis of application of modern blade and abrasive tools, high-performance technologies of processing on high-speed metal-cutting machines with ChPU like "processing center" allowing to carry out high-precision processing of details from one establishment with the least production costs are defined. The main conditions for reducing the force intensity of the cutting process, increasing the accuracy, quality and productivity of processing are theoretically substantiated. Analytically determined elastic displacements occurring in the technological system in the process of cutting and grinding. It is established that the main conditions for their reduction are a decrease in the radius of rounding of the top of the cutting element (grain) and an increase in the rigidity of the technological system. It is possible to reduce the radius of rounding of the top of the tool blade due to the use of more wear-

resistant tool materials with wear-resistant coatings applied to them, which provide a high cutting ability of the blade tools. It is also possible to reduce elastic displacements during grinding by increasing the grain size of the wheel, provided that the cut-off values of the thickness of the cut to the radius of curvature of the top of the cutting grain are achieved. Significant reserves of increase of efficiency of grinding of materials which are connected with reduction of radii of rounding of tops of abrasive grains of a circle due to realization of a mode of self-sharpening of a wheel or its effective correction are opened. It is theoretically proved that in this case the components of cutting forces and conditional cutting stress are significantly reduced, and this allows to reduce the elastic displacements that occur in the technological system, and, accordingly, to increase the accuracy and quality of processing. The theoretical solutions presented in the work have been comprehensively experimentally confirmed and have been widely tested and implemented in production. Thanks to their application, it was possible to radically solve the problem of improving the accuracy and quality of processing in a number of machining operations, to make the transition from traditional to new technologies implemented using modern machines and tools with significant technological capabilities.

Keywords: *finishing, grinding, elastic movements, technological system, blade and abrasive tools, wear-resistant coatings.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С.С.
Стаття надійшла 19.05.2020 р.*

УДК 621.875

Сагіров Ю. Г.¹, Суглобов В. В.²

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯМ ТОПОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНУ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ

Розроблення оптимізаційних методологій створення та удосконалення елементів порталних кранів, розвинення розрахунків на міцність є важливим науково-технічним завданням, рішення якого дозволить підвищити конкурентоспроможність на глобальному рівні, безпеку експлуатації підйомно-транспортних машин (ПТМ). Метою даної роботи є розроблення методології створення та удосконалення несучих елементів вантажопідйомних машин із застосуванням відомих інженерних методів проєктування металоконструкцій ПТМ, топологічної оптимізації та генеративного дизайну на прикладі порталного крана. Об'єктом дослідження є закономірність розподілу матеріалу в конструкції з урахуванням рівня напруженості в ньому. У статті наведено результати: моделювання навантаженого стану металоконструкції, аналізу їхнього напружено-деформованого стану, топологічної оптимізації, генеративного дизайну.

Наведено твердотільно-деформовану модель та виконаний розрахунок методом скінченних елементів у CAD/CAM/CAE системі. Отриманий закон розподілу напружень в

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

Машинобудування і зварювальне виробництво

елементах металокопструкцій наочно показав, що розташування металу (елементів металокопструкцій) є неефективним та потребує оптимізації; напружено-деформований стан елементів є досить складним і вимагає додаткових досліджень; застосування топологічної оптимізації на етапі проектування дає можливість створювати оптимальні копструкції, а на стадії експлуатації удосконалювати, чи підвищувати надійність та довговічність; використання генеративного дизайну на стадії проекту дозволяє отримати металокопструкцію оптимальну, за рівнем та розподілом напружень, розташуванням матеріалу.

Ключові слова: топологічна оптимізація, гомогенізація, генеративний дизайн, еволюція, порталний кран, металокопструкція, метод скінченних елементів, критерії.

Постановка проблеми.

Передові виробничі технології, системи комп'ютерного інжинірингу та оптимізації з застосуванням біонічного дизайну стають невід'ємною частиною сучасної промисловості і дозволяють створювати глобально конкурентоспроможну продукцію в найкоротші терміни. Ефективність та технічний рівень розроблених підйомно-транспортних машин в значній мірі залежить від застосування раціональних структур і параметрів елементів металокопструкції під час проектування. Особливо актуальним це є для порталних кранів, оскільки вага корисного вантажу в них становить всього до 11 % від ваги копструкції самого крана, тоді як, наприклад, у мостових кранах ця цифра сягає 50 %.

Сучасний стан та перспективи оптимального проектування металокопструкцій невід'ємно пов'язані з використанням сучасних CAD/CAM/CAE систем, які дають змогу ще на початкових етапах проектування знаходити найкращі конструктивні рішення шляхом застосування топологічної оптимізації та генеративного дизайну.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Абстрактний еволюційний структурний метод оптимізації (Evolutionary Structural Optimisation – ESO,) досить ефективно розвивається останні десятиріччя [1-5].

Нині відомі наступні основні методи: SIMP (твердий ізотропний матеріал з пеналізацією), ESO (еволюційна структурна оптимізація) і Level-Set (метод встановлення рівня) і їх різні комбінації. Ці методи мають особливості, але в той же час тісно пов'язані між собою.

Метод ESO заснований на визначенні рівня напружень в довільній частині копструкції методом скінченних елементів. Індикатором неефективного використання матеріалу є низький рівень напружень (чи деформацій) в тій або іншій частині копструкції. У ідеалі рівень напружень в копструкції має бути однаковим, близьким до граничного, але безпечного значення.

З цієї концепції виходить принцип видалення матеріалу, згідно з яким недостатньо навантажений матеріал може бути видалений, що призводить до видалення окремих елементів звичайно-елементної моделі.

Рівень напруженості кожного елемента визначається порівнянням, наприклад, σ_e^M напруження Мізеса цього елемента з критичним або максимальним значенням σ_{\max}^M напруження Мізеса в копструкції. Якщо в результаті звичайно-елементного аналізу елемент задовольняє умові:

$$\frac{\sigma_e^M}{\sigma_{\max}^M} < R_{Ri}, \quad (1)$$

де R_R – граничне значення (коефіцієнт відбракування), при якому матеріал видаляється.

Функція чутливості вказує на збільшення середньої податливості в результаті видалення i -го елемента, рівної елементарної енергії деформації i -го елемента

Серед варіантів методу ESO, сходий та незалежний від сітки метод двонаправленої еволюційної структурної оптимізації (Bidirectional Evolutionary Structural Optimization – BESO) [6], який дає можливість як видаляти так і додавати матеріал у конструкції. Він став широко прийнятою методологією проектування, як для академічних досліджень, так і інженерним додатком, через його ефективність та і помилкостійкість. Значного розвитку вище названі методи отримали водночас із революційним розвитком комп'ютерної техніки та адитивних технологій, просуванням чисельних методів моделювання.

Також популярним математичним методом для оптимізації топології є метод твердого ізотропного матеріалу з пеналізацією (Solid Isotropic Material with Penalization – SIMP). Метод SIMP був спочатку запропонований Bendsøe і Kikuchi [2]. Метод SIMP прогнозує оптимальний розподіл матеріалів в межах вказаного проектного простору для представлених випадків навантажень, граничних умов, виробничих обмеження і вимог продуктивності.

Відповідно до Bendsøe [3]: «Оптимізація форми в найзагальнішому сенсі повинна включати в собі визначення для кожної точки в просторі незалежно від знаходження матеріалу в цій точці». Традиційний підхід до оптимізації топології — це розділення області на сітку скінченних елементів, яка називається ізотропною безперервною мікроструктурою. Кожен елемент заповнюється матеріалом для областей, яким потрібно матеріал, або не містить матеріалу для областей, де можна видаляти матеріал (представлення порожнеч). Розподіл щільності матеріалу у рамках проектного домену, ρ , є дискретним, а кожному елементу призначається двійкове значення:

1. $\rho_{(i)} = 1$, де потрібно залишити (додати) матеріал;
2. $\rho_{(i)} = 0$, де матеріал видалений.

Наприклад, на зображенні (рис. 1) представлений оптимізований макет частини (балка, опора та ригель) завантаженої моделі металоконструкції порталного крану (скінченно-елементний простір Ω). Тверді елементи з щільністю $\rho_{(i)} = 1$ (елементи присутні) та порожнини з $\rho_{(i)} = 0$ (елементи видалені).

Представлення постійної функції розподілу відносної щільності уникає появи двійкових помилок двопозиційної природи. Для кожного елемента призначена відносна щільність може відрізнитися між мінімальним значенням ρ_{\min} (мінімальне допустиме значення відносної щільності для порожніх елементів більше нуля) і 1, що дозволяє призначати елементам проміжну щільність (характеризуються як пористі елементи). Це значення щільності забезпечує числову стабільність аналізу скінченних елементів.

Оскільки відносна щільність матеріалу може безперервно змінюватись, модуль Юнга матеріалу на кожному елементі може також постійно змінюватись. Для кожного елемента « i » є зв'язок між коефіцієнтом відносної щільності матеріалу ρ_i і модулем Юнга для пружності, призначеній ізотропній моделі матеріалу E_0 , що обчислюється ступеневим законом [7]:

$$E_{(\rho_i)} = \rho_i^v E_0 \quad (2)$$

Поправка на втрати ρ знижує вклад елементів з проміжною щільністю до загальної жорсткості та контролює рішення оптимізації для елементів, які представлені суцільним кольором ($\rho_e = 1$) або порожнім ($\rho_e = \rho_{\min}$). Існуючий опит показує, що прийнятним є значення поправки на втрати $\rho = 3$.

Зменшення модуля еластичності матеріалу елемента веде до зменшення жорсткості елемента. З урахуванням методу SIMP глобальна жорсткість модулюється відповідно до:

$$K_{SIMP(\rho_i)} = \sum_{e=1}^N [\rho_{\min} + (1 - \rho_{\min}) \cdot \rho_e^v] K_e, \quad (3)$$

де K_e – це матриця жорсткості елемента;

ρ_{\min} – мінімальна відносна жорсткість;

ρ_e – відносна щільність елемента;

ρ – поправка на втрати;

N – кількість елементів в домені проектування.

У методі SIMP область проектування Ω дискретизується за допомогою скінченних елементів. Властивості матеріалу постійні в кожному з цих елементів і залежать від відносної щільності x_i . Відносна щільність має бути рівне 1 або 0 в розрахунковій області Ω після оптимізації. Для обмеження проміжної відносної щільності використовується чинник відбракування p .

Відношення між модулем пружності і відносною щільністю записується як:

$$E(x_i) = E_{\min} + (x_i)^p (E_0 - E_{\min}), \quad (4)$$

де E_0 – модуль пружності матеріалу,

x_i – відносна щільність i -го елемента,

p – фактор відбраковки.

Тоді завдання оптимізації топології для мінімальної відповідності може бути записане у вигляді:

$$Find : X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_i\}^T, i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

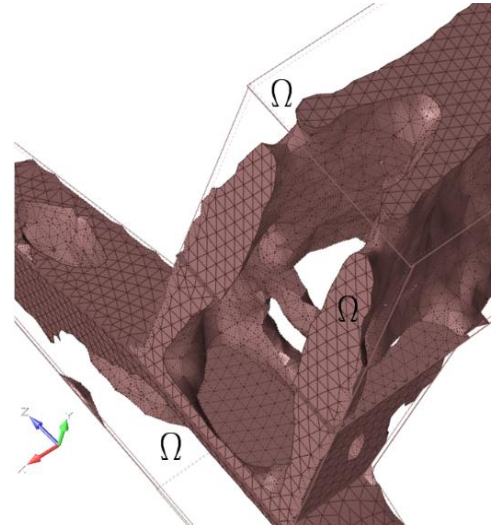


Рисунок 1 – Фрагмент оптимізованої моделі

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$\text{Minimize: } C(X) = F^T U = U^T K U = \sum_{i=1}^n u_i^T k_i u_i = \sum_{i=1}^n (x_i) u_i^T k_{0i} u_i, \quad (5)$$

$$\text{Subject to: } K U = F, \quad V = f_0 V_0 = \sum_{i=1}^n x_i v_i, \quad (6)$$

$$0 < x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \leq 1, \quad (7)$$

де цільова функція C визначається як середня відповідність;
 X – вектор конструктивних змінних;

x_{\min}, x_{\max} – мінімальна та максимальна щільність елементів відповідно.

Основна ідея методу Level-Set (встановлення рівня або безлічі рівнів) полягає в тому, щоб виразити криву або поверхню в неявному виді. При цьому вони приймаються як встановлений нульовий рівень багатовимірної функції. Потім простежується їх деформація за допомогою цієї функції. Наприклад, в оптимізації топології структури криві або поверхні, межі, що зображують її, деформуються, щоб мінімізувати енергію пружної деформації.

Для заданої області Ω з гладкою межею передбачається існування неявної функції $\varphi(x)$, яка задовольняє умовам:

$$\varphi(x) \begin{cases} > 0, & x \in \Omega^+ (\text{матеріал}), \\ = 0, & x \in \partial\Omega = (\text{межа}), \\ < 0, & x \in \Omega^- (\text{порожнина}). \end{cases} \quad (8)$$

Мета дослідження.

Метою цієї роботи є розробка та обґрунтування методики створення та удосконалення несучих елементів вантажопідйомних машин із застосуванням топологічної оптимізації та генеративного дизайну на прикладі елементів порталного крану.

Основний матеріал дослідження.

Нажаль, на сьогодні відсутня методологія щодо застосування топологічної оптимізації та елементів генеративного дизайну під час проектування елементів металоконструкції ПТМ, рекомендації із вибору значень коефіцієнту відбракувань та інше. На даний час для розрахунку металевих конструкцій порталного крану з різноманітних сукупностей навантажень, що діють на кран, зазвичай виділяють три основних випадки його навантаження.

Для моделювання навантаженого стану металоконструкцій порталного крану, реалізації методу скінченних елементів, подальшого аналізу їхнього напружено-деформованого стану та застосування топологічної оптимізації, пропонується використовувати наведені вище комбінації навантажень, схеми їх дій (рис. 2), загальноприйняті інженерні аналітичні методики визначення діючих сил.

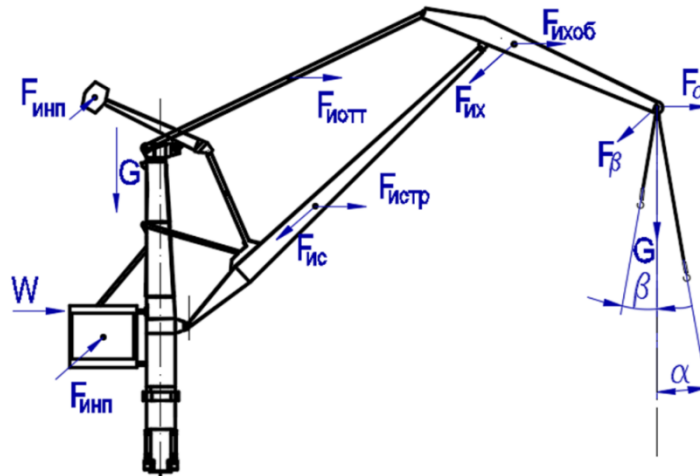


Рисунок 2 – Схема дії сил для моделювання навантаженого стану металоконструкцій порталного крана «Сокол»

Наприклад, для моделювання навантаженого стану металоконструкції крана «Сокол» розрахункові навантаження і їх комбінації приймаються і розраховуються при двох варіантах вантаження відповідно до норм розрахунку металоконструкцій порталних кранів [8].

Отримані значення сил, а також динамічного тиску вітру робочого стану при навантаженнях по варіантах I і II були використані для моделювання напружено-деформованого стану по першому і другому варіантам.

При розрахунку моделей враховувалася власна вага конструкції, а також дія навантажень, визначених раніше. Зовнішній вигляд моделей з прикладеними навантаженнями по двох варіантах показаний на рисунку 3. Після розрахунку був отриманий дуже широкий спектр результатів, що включає, у тому числі, епюри напружень і переміщень.

Аналіз рівня еквівалентного напруження на поверхні колони з боку стріли по першому і другому варіантам навантажень показав, що найбільш несприятливим (більші значення напруження) є перший варіант навантаження, який і вибраний для подальшого аналізу напружено-деформованого стану, виявлення найбільш невдалих, з точки зору навантаженості ділянок, з метою їхньої подальшої оптимізації.

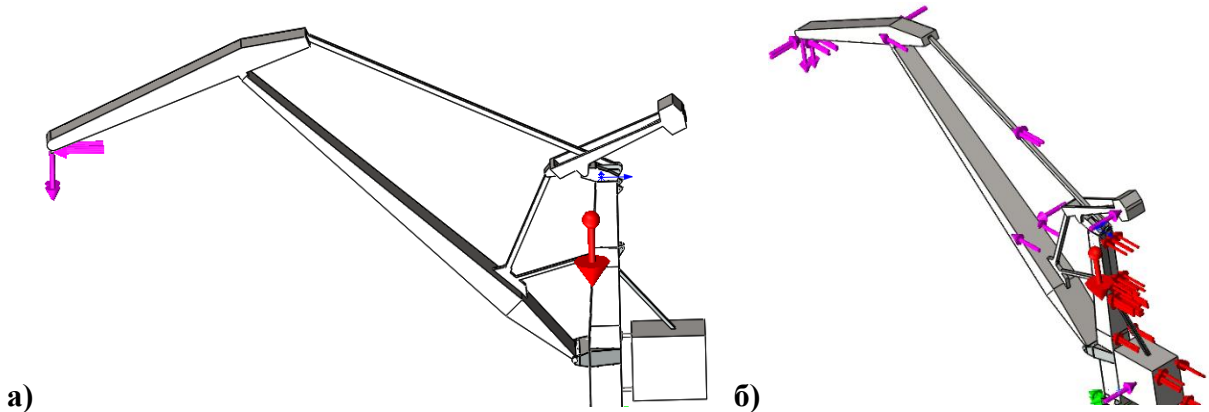


Рисунок 3 – Додаток сил: а – по першому варіанту; б – по другому варіанту

Машинобудування і зварювальне виробництво

В результаті виконання розрахунку методом скінченних елементів були побудовані:
- епюри розподілу еквівалентного напруження в металоконструкції (рисунок 4);

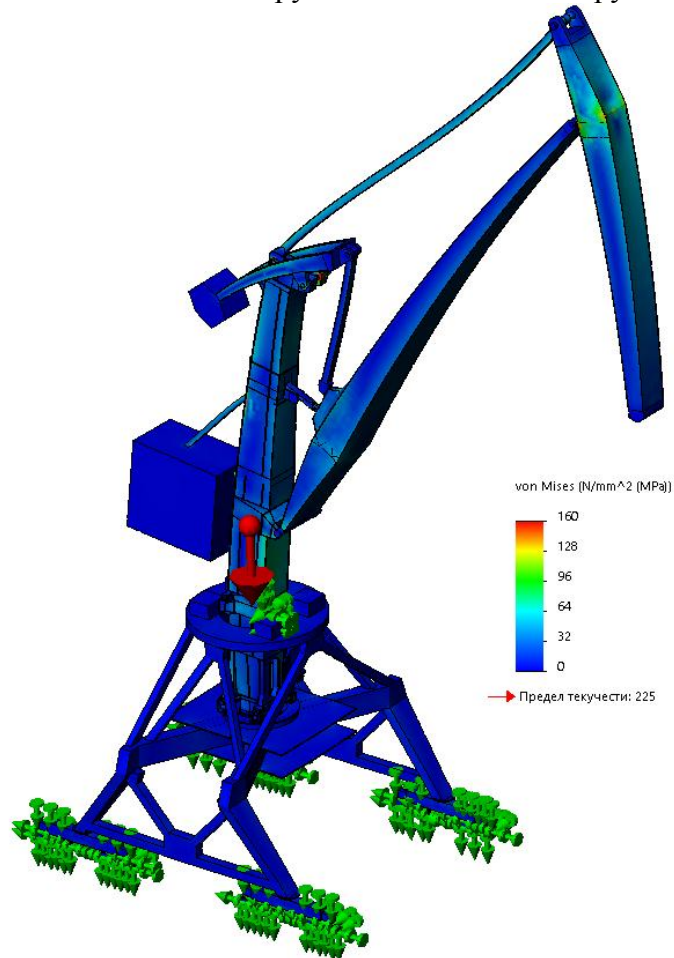


Рисунок 4 – Епюри розподілу еквівалентного напруження в металоконструкції

- епюри розподілу еквівалентного напруження в металоконструкції із застосованим параметром «Обмеження ISO» (40 МПа, 160 МПа).

Введемо поняття – «оптимальна сукупність напружень» («optimal combination of stresses»), яке буде характеризуватися мінімальним $[\sigma]_{os}^{\min}$ та максимальним $[\sigma]_{os}^{\max}$ оптимальними напруженнями (optimal stresses), оскільки, на наступному етапі необхідно виконати аналіз напружено-деформованого стану металоконструкцій та виявити ділянки, перспективні:

1. З точки зору підвищення надійності та довговічності, значення еквівалентних напружень у яких є більше максимального граничного значення $[\sigma]_{os}^{\max}$;

Машинобудування і зварювальне виробництво

2. З точки зору зниження металоємності та збереженням міцністних характеристик, значення еквівалентних напружень у яких є менше мінімального граничного значення $[\sigma]_{os}^{\min}$. Як відомо, розрахунок на міцність за критерієм Мізеса ведеться по четвертій теорії міцності. Вона заснована на наступній гіпотезі: міцність елемента, що знаходиться в складному напруженому стані, вважається вичерпаною (тобто настає граничний напружений стан), якщо питома потенційна енергія його формозмінення досягла граничного значення, визначеного з дослідів на просте розтягування. Пропонуємо, по цій гіпотезі еквівалентне напруження, яке отримане в процесі моделювання та розрахунку, порівнювати з допустимим напруженням, яке розраховується за формулою:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{zp}}{n}, \text{ МПа} \quad (9)$$

де σ_{zp} - межа міцності матеріалу. У нашому випадку - матеріал пластичний, тому вибираємо межу плинності - σ_T . Для крихких матеріалів в якості σ_{zp} необхідно вибрати межу міцності - σ_B ;

n – коефіцієнт безпеки для елементів металоконструкції.

Нагадаємо, що межа плинності – в прикладній механіці визначається як напруження σ_T в матеріалі, при якому він починає деформуватися пластично. Спочатку, при менших навантаженнях, матеріал деформується пружно, тобто він може відновлювати свою форму після зняття навантаження. При збільшенні навантаження і перевищенні межі плинності в матеріалі з'являються безповоротні деформації.

Межа міцності або тимчасовий опір руйнуванню – умовне механічне напруження σ_B , відповідає найбільшому зусиллю, яке досягається в процесі деформації зразка матеріалу, отриманому до розділення зразка на частини, яке відповідає максимуму на діаграмі деформації.

На основі виконаного моделювання виконаний розрахунок довговічності елементів металоконструкції. Якщо для матеріалу відомі межа обмеженої витривалості $(\sigma)_n$ при числі циклів n і напруження $(\sigma)_N$, що викликає руйнування після N циклів, то визначити число циклів до руйнування стає можливим по формулі:

$$(\sigma)_n^k \cdot n = (\sigma)_N^k \cdot N. \quad (10)$$

Для сталей межа обмеженої витривалості, визначена на базі $N_{\sigma}=10^7$ циклів можна прийняти за межу витривалості, оскільки якщо сталевий зразок витримав 10^7 циклів, то він може витримати практично необмежене число циклів.

Можливе число циклів N вантаження при відомому, такому, що перевищує межу витривалості, максимальному напруженні $(\sigma)_N$ циклу:

$$N = \frac{(\sigma)_n^k \cdot n}{(\sigma)_N^k} = n \cdot \left(\frac{(\sigma)_n}{(\sigma)_N} \right)^k. \quad (11)$$

Використовуючи моделювання напруженого стану металоконструкції крану, залежність, зведення про фізичні властивості матеріалу металоконструкції, а також інформацію про навантаженість металоконструкції в процесі експлуатації можна визначити залишковий ресурс металоконструкції.

Знаючи число циклів вантаження крану в добу (рік) і використовуючи методику можна визначити термін служби крану в днях (роках).

Коефіцієнт запасу міцності для розрахункових випадків I і II рекомендують приймати $n = 1,4$.

Межа плинності матеріалу металоконструкції, з урахуванням товщини металу, складає $\sigma_T = 225$ МПа. Тоді, максимальне граничне значення оптимальної сукупності напружень буде складати:

$$[\sigma]_{os}^{max} = \frac{\sigma_T}{n_{II}} = \frac{225}{1.4} = 161 \text{ МПа}. \quad (12)$$

Значення коефіцієнтів динамічності для порталних кранів при розрахункових випадках I і II становлять: у кроковому режимі $k_d = 1,3$ і $k_d = 1,5$, у грейферному режимі $k_d = 1,4$ і $k_d = 1,6$.

Враховуючі, що доля допустимих напружень від статичного навантаження складає:

$$[\sigma]_{cn} = \frac{[\sigma]}{k_d}, \quad (13)$$

доля динамічної складової напруження буде рівнятись:

$$[\sigma]_d = [\sigma] - [\sigma]_{cn} \quad (14)$$

Або

$$[\sigma]_{cn} = [\sigma] \left(1 - \frac{1}{k_d} \right). \quad (15)$$

Для розглянутого випадку роботи крана у грейферному режимі, мінімальне граничне значення оптимальної сукупності напружень буде складати:

$$[\sigma]_{os}^{min} = [\sigma]_d = 60,4 \text{ МПа}. \quad (16)$$

Такий підхід до оцінювання напруженості недовантажених та перевантажених ділянок металевої конструкції порталного крану дозволить виявляти ділянки, перспективні с точки зору застосування топологічної оптимізації.

Для наочного виявлення найменш навантажених елементів металоконструкції (вони є прозорими на рисунку) з рівнем напружень до 60 МПа застосовний інструмент «Обмеження ISO», з прийняттям значення еквівалентного напруження 40 МПа (рисунок 5).

Для наочного виявлення найнебезпечніших місць металоконструкцій, збільшимо рівень напружень при застосуванні інструменту «Обмеження ISO» до 160 МПа (рисунок 6).

Аналізуючи епюру розподілу еквівалентних напружень (рисунок 6) можна виділити найнебезпечніших місця металоконструкцій, максимальні значення напружень у яких наближаються до 160 МПа.

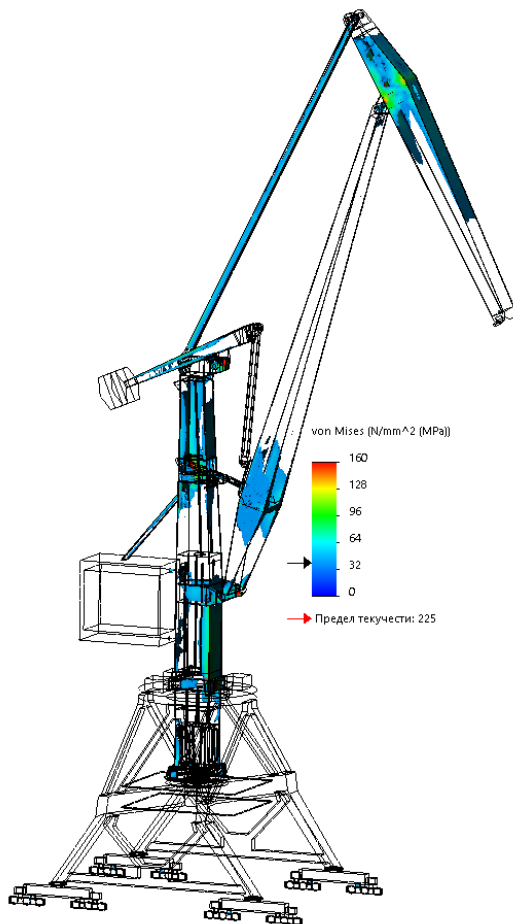


Рисунок 5 – Навантажені ділянки металоконструкції застосування інструменту «Обмеження ISO» (40 МПа)

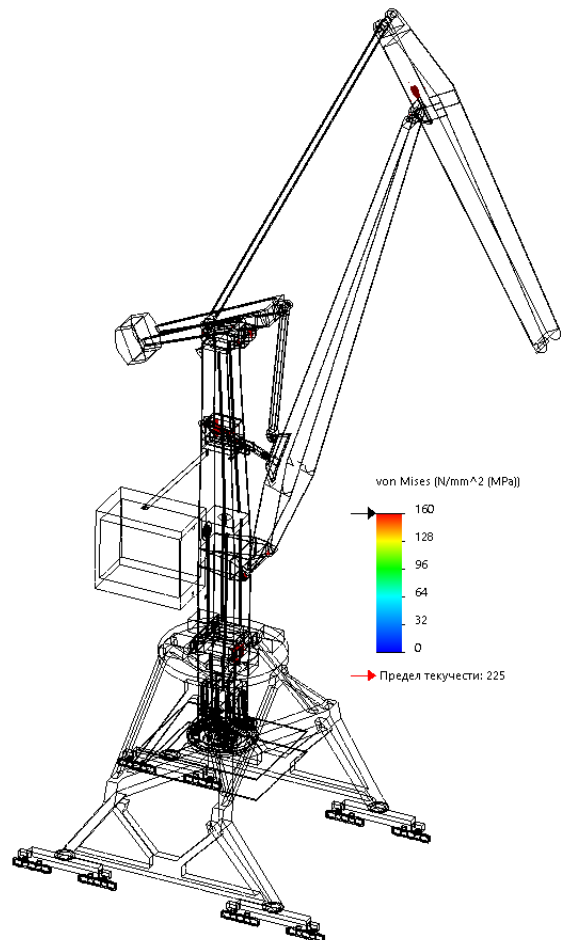


Рисунок 6 – Найнебезпечніші місця металоконструкцій при застосуванні інструменту «Обмеження ISO» (160 МПа)

Виявлені таким чином елементи металоконструкцій порталного крану потребують застосування топологічної оптимізації, до досягнення в них значень напружень з оптимальної сукупності, а конструкція у цілому – генеративного дизайну. Приклад застосування даних

підходів та наведеної методології під час проектування елементів металоконструкцій та пристроїв ПТМ наведено на рисунках 1, 7 та у попередніх працях авторів [9].

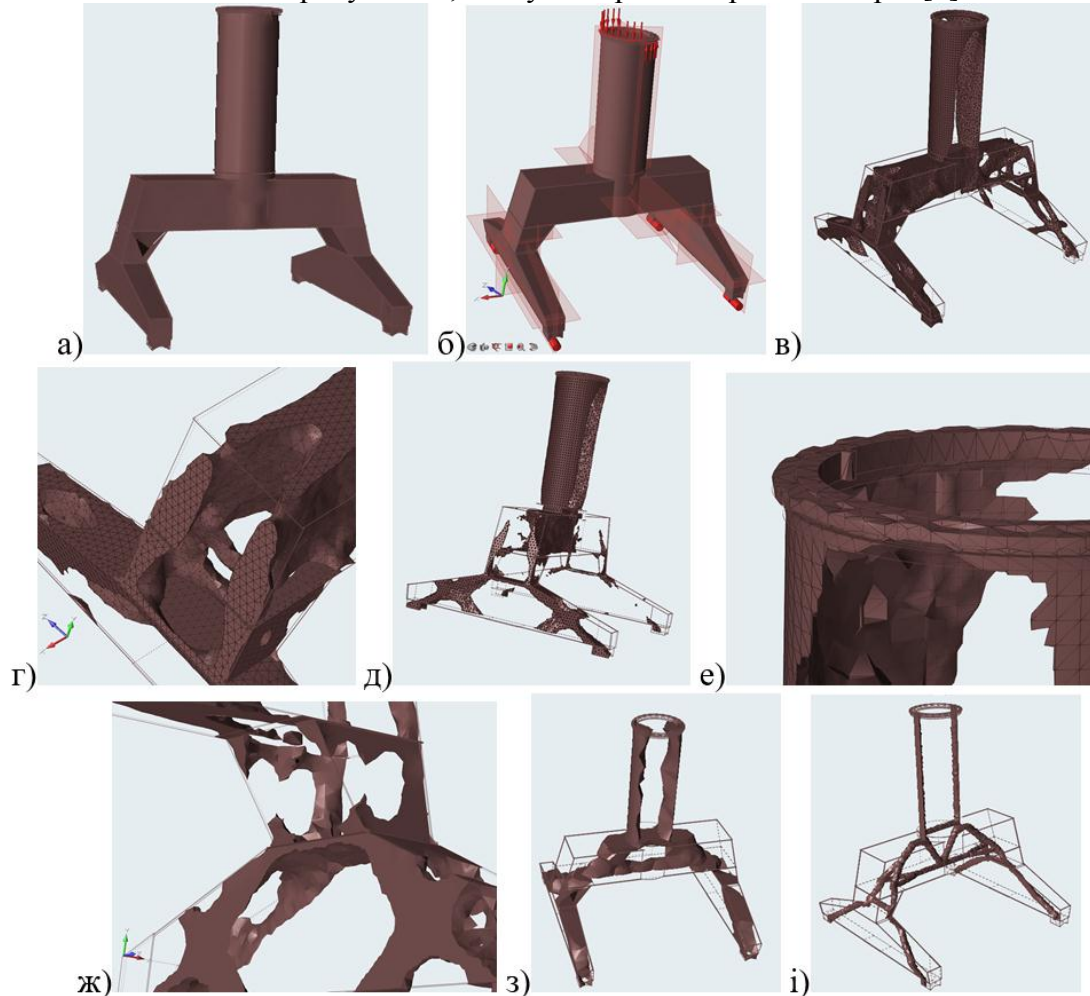


Рисунок 7 – Приклади результату застосування генеративного дизайну при проектуванні металоконструкції порталного крану: а-б – еволюція конструкції

ВИСНОВКИ

1. Методи проектування металоконструкцій, які є прийнятими на сьогодні, потребують подальшого розвитку та уточнень, оскільки вони не завжди дозволяють у повній мірі використовувати сучасний інструментарій. Розробка методології проектування металоконструкцій порталних кранів з використанням елементів топологічної оптимізації та генеративного дизайну є актуальним науково-технічним завданням.

2. Перспективи оптимального проектування металоконструкцій невід’ємно пов’язані з використанням сучасних CAD/CAM/CAE систем, для використання яких розроблені методики:

- встановлення параметрів та структури елементів металоконструкцій на основі структурно-параметричного синтезу та топологічної оптимізації;

- застосування генеративного дизайну для винайдення оптимальних параметрів елементів металоконструкції ПТМ, які забезпечують рівномірний розподіл напружень, плавну передачу силового потоку між ними, та, тим самим, довговічність та надійність під час експлуатації.

3. Застосування запропонованої методології дозволяє:

- за рахунок отримання законів розподілу напружень в металоконструкціях виявляти найбільш навантажені ділянки та під час діагностування стану металоконструкцій приділяти ним особливу увагу, тим самим підвищуючи подальшу небезпечну експлуатацію;

- для ПТМ які вже експлуатуються і в елементах металоконструкцій яких винайдено дефекти, за рахунок структурно-параметричного синтезу запропоновувати оптимальні, з точки зору рівномірності розподілу напружень та забезпечення плавності силового потоку, конструктивні рішення з ремонту та підсиленню;

- значно підвищити якість міцністних розрахунків за рахунок застосування не плоских, а 3D моделей та сучасних CAD/CAM/CAE комплексів;

- досягти мінімальних витрат енергії та об'єму матеріалу під час проведення ремонтів

4. Залишаються ще багато завдань з уточнення оптимальної сукупності напружень («optimal combination of stresses»), значень $[\sigma]_{os}^{\min}$ та $[\sigma]_{os}^{\max}$ для металоконструкцій інших типів ПТМ.

Перелік використаних джерел:

1. Xie, Y. M. A simple evolutionary procedure for structural optimization / Y. M. Xie, G. P. Steven // Computers and Structures. – 1993. – Vol. 49, N 5 (3).– P. 885–896.
2. Bendsoe, M. P. Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method / M. P. Bendsoe, N. Kikuchi // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1988. – Vol. 71, N 2, November. – P. 197–224.
3. Bendsoe, M. P. Optimal shape design as a material distribution problem / M. P. Bendsoe // Structural optimization. – 1989. – Vol. 1, December. – P. 193–202.
4. Bendsoe, M. P. Material interpolation schemes in topology optimization / M. P. Bendsoe, O. Sigmund // Archive of Applied Mechanics. – 1999. – Vol. 69, November. – P. 635–654.
5. Bendsoe, M. P. Topology Optimization - Theory, Methods, and Applications / M. P. Bendsoe, O. Sigmund. – Berlin Heidelberg : Springer Verlag, 2003. – 384 p.
6. Huang, X. Convergent and mesh-independent solutions for the bi-directional evolutionary structural optimization method / X. Huang, Y. M. Xie // Finite Elements in Analysis and Design. – 2007. – Vol. 43, N 14, October. – P. 1039–1049.
7. Метод SIMP для оптимизации топологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://help.solidworks.com/2019/russian/SolidWorks/cworks/c_simp_method_topology.htm?format=P&value=1
8. Справочник по кранам : в 2 т. Т. 1. / под общ. ред. М. М. Гохберга. – М. : Машиностроение, 1988. – 536 с.
9. Сагіров, Ю. Г. Застосування топологічної оптимізації на прикладі елементів підвіски ливарного крану / Ю. Г. Сагіров, В. В. Суглобов // Наука та виробництво : міжвуз. темат. зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Вип. 21. – С. 98–109. – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/24915>

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ

Современное состояние и перспективы оптимального проектирования металлоконструкций неотъемлемо связаны с использованием современных CAD/CAM/CAE систем, позволяющих еще на начальных этапах проектирования находить лучшие конструктивные решения путем применения топологической оптимизации и генеративного дизайна. Разработка оптимизационных методологий создания и совершенствования элементов порталных кранов, разложения расчетов на прочность является важным научно-техническим задачей, решение которой позволит повысить конкурентоспособность на глобальном уровне, безопасность эксплуатации подъемно-транспортных машин (ПТМ). Целью данной работы является разработка методологии создания и совершенствования несущих элементов грузоподъемных машин с применением известных инженерных методов проектирования металлоконструкций ПТМ, топологической оптимизации и генеративного дизайна на примере порталного крана. Объектом исследования является закономерность распределения материала в конструкции с учетом уровня напряженности в нем. В статье приведены результаты: моделирование нагруженного состояния металлоконструкций, анализа их напряженно-деформированного состояния, топологической оптимизации, генеративного дизайна.

Приведены твердоотно-деформированная модель и выполнен расчет методом конечных элементов в CAD/CAM/CAE системе. Полученный закон распределения напряжений в элементах металлоконструкций наглядно показал, что расположение металла (элементов металлоконструкций) является неэффективным и нуждается в оптимизации; напряженно-деформированное состояние элементов является достаточно сложным и требует дополнительных исследований; применение топологической оптимизации на этапе проектирования позволяет создавать оптимальные конструкции, а на стадии эксплуатации совершенствовать, повышать надежность и долговечность; использование генеративного дизайна на стадии проектирования позволяет получить оптимальную металлоконструкцию, по уровню и распределению напряжений, расположением материала.

Ключевые слова: *топологическая оптимизация, гомогенизация, генеративный дизайн, эволюция, порталный кран, металлоконструкция, метод конечных элементов, критерии.*

Sahirov Yu. G., Suglobov V. V.

METHODOLOGICAL FUNDAMENTALS OF APPLICATION OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION AND GENERATIVE DESIGN FOR IMPROVEMENT OF ELEMENTS OF PORTAL CRANE

Advanced manufacturing technologies, computer engineering and optimization systems using bionic design are becoming an integral part of modern industry and allow you to create globally competitive products in the shortest possible time. The efficiency and technical level of the

developed hoisting and transport machines largely depends on the use of rational structures and parameters of the elements of the metal structure during design. This is especially true for gantry cranes, as the weight of the payload in them is only up to 11 % of the weight of the structure of the crane, while, for example, in bridge cranes, this figure reaches 50 %.

Traditional strength calculations of metal structures of cranes and their elements are based on the assumption of a flat scheme of their work, while their elements work as spatial systems. This approach is traditionally due to the fact that calculation methods have evolved, relying on a manual method of calculation using simple calculating devices and installations. In difficult cases, it is difficult to assess the accuracy of such calculations without experimental verification on computer 3D models and products.

Currently, in connection with the development of computer technology, including in connection with the development of special programs for calculating spatial structures, the need for breaking metal structures into flat elements is gradually disappearing. Almost all modern strength calculations are carried out using volumetric computer models and the finite element method. In recent decades, it has taken a leading position and has become widespread.

The current state and prospects of optimal design of metal structures are inextricably linked with the use of modern CAD / CAM / CAE systems, which allow in the initial stages of design to find the best design solutions through the use of topological optimization and generative design. Development of optimization methodologies for the creation and improvement of gantry cranes, development of strength calculations is an important scientific and technical task, the solution of which will increase global competitiveness, safety of hoisting machines (PTM). The purpose of this work is to develop a methodology for creating and improving the load-bearing elements of hoisting machines using known engineering methods of designing metal structures PTM, topological optimization and generative design on the example of a gantry crane. The object of study is the pattern of distribution of the material in the structure, taking into account the level of stress in it. The article presents the results: modeling of the loaded state of metal structures (plots of equivalent stress distribution in metal structures, plots of equivalent stress distribution in metal structures with the applied parameter "ISO Restriction"), analysis of their stress-strain state, topological optimization, generative design.

The solid-deformed model is given and the calculation is performed by the finite element method in the CAD / CAM / CAE system. The obtained law of stress distribution in the elements of metal structures clearly showed that the location of the metal (elements of metal structures) is inefficient and needs to be optimized; the stress-strain state of the elements is quite complex and requires additional research; the application of topological optimization at the design stage makes it possible to create optimal structures, and at the stage of operation to improve or increase reliability and durability; the use of generative design at the project stage allows to obtain an optimal metal structure, according to the level and distribution of stresses, the location of the material. A new concept of "optimal combination of stresses" for the evaluation of the structure is formulated and introduced.

Keywords: *topological optimization, homogenization, generative design, evolution, gantry crane, metal construction, finite element method, criteria.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Іщенко А. О.
Стаття надійшла 19.07.2020 р.*

УДК 004.45:621.31.03

Кривонос В. Є., Василенко В. В., Бухлал Н. А.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЯВЛЕННЯ МЕЖВИТКОВОГО ЗАМИКАННЯ В СТАТОРНИХ ОБМОТКАХ ЕЛЕКТРОДВИГУНА В УМОВАХ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ

Асинхронні двигуни (АД) отримали широке застосування в електротехнічних комплексах промислових підприємств, портів і суден завдяки простоті експлуатації. Актуальність дослідження полягає в тому, що на сьогоднішній день розробка електричних методів діагностики початкового моменту появи виткових замикань в обмотці статора, заснована на порівнянні вимірних фазних струмів АД з їх розрахунковими значеннями.

У статті розглядається порівняння вимірних векторів фазних струмів АД з їх розрахунковими значеннями. Що в свою чергу підвищує вірогідність і чутливість виявлення початкового моменту виткових замикань в статорних обмотках АД.

Встановлено, що одночасне зниження рівнів напруги і фазних струмів до величин нижче (0,8-0,6) номінального значення і тривалістю більше трьох постійних нагріву АД є критерієм діагностики провалу напруги, при якому артеріальний тиск відключають від мережі живлення. Відсутність одного з фазних струмів $I_{aизм}$, $I_{bизм}$, $I_{сизм}$ або лінійного напруження є критерієм неповнофазного режиму мережі живлення або обриву, недовключення кола струму.

Встановлені критеріальні залежності між контрольованими параметрами мережі і АД, що надало можливість розробити комп'ютерну програму «Пристрій діагностики неповнофазних режимів мережі, струмових ланцюгів, початкового моменту виткового замикання в статорних обмотках і захисту електродвигуна (ЕД)». У статті наведена логічна схема пристрою діагностики неповнофазних режимів мережі, струмових ланцюгів, початкового моменту виткового замикання в статорних обмотках і захисту електродвигуна. Розроблене програмне забезпечення використовується для безаварійної експлуатації електродвигунів, які отримують живлення від мереж напругою до 1000 В., а також реалізується спосіб діагностики і захисту АД від неповнофазних режимів напруг мережі, обривів струмових ланцюгів та виявлення початкового моменту утворення виткового замикання в обмотках статора АД.

Ключові слова: електродвигун, міжвиткові замикання, функціональна діагностика, критеріальні залежності, пристрій захисту електродвигун, алгоритм, комп'ютерна програма.

Постановка проблеми. Асинхронні двигуни (АД) отримали широке застосування в електротехнічних комплексах промислових підприємств, портів, суден і сільському господарстві завдяки простоті експлуатації. АД працюють в умовах, що відрізняються від нормальних, до них відносяться технологічні переважанні, локальні перегріву ізоляції, підвищена запиленість і вологість навколишнього середовища та ін. Термін експлуатації АД, які працюють в умовах відмінних від нормальних, у 2,5-5 разів нижче нормативного. Згідно [1], в 75 % випадків аварійного виходу АД з ладу пов'язані з пошкодженням ізоляції обмоток статора, з них 40 % становлять виткові замикання в лобових частинах обмотки.

Виткові замикання, в разі несвоєчасного виявлення, призводять до дво- і трифазним замикань. Вихід АД з ладу пов'язаний з тепловою перевантаженням, коли АД працює при неповнофазному режимі напружень мережі живлення і обриву однієї з струмових ланцюгів. Розробка пристроїв і програмного забезпечення діагностики та захисту АД від аномальних режимів є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує ряд методів визначення і виявлення виткових замикань, як в моменти технологічних пауз [2], так і в процесі експлуатації [3]. Численними і найбільш вивченими є методи тестової діагностики, коли виявлення виткових замикань відбувається після відключення АД від мережі живлення. Безперервні методи функціональної діагностики з появою мікропроцесорної техніки активно розвиваються [4]. Останнім часом широко розвиваються методи безперервної діагностики, засновані на контролі споживаного струму [5].

Перспективним є розробка електричних методів діагностики початкового моменту появи виткових замикань в обмотці статора, що засновані на порівнянні вимірних фазних струмів АД з їх розрахунковими значеннями.

Мета дослідження. Визначення критеріальних залежностей контрольованих і розрахункових параметрів мережі та АД. Розробка пристрою і програмного забезпечення для діагностики і захисту АД в умовах несиметрії напруг мережі живлення.

Виклад основного матеріалу. Для аналізу режимів роботи АД, розрахунку фазних струмів АД, які отримують живлення при несиметрії напруг і встановлення критеріальних залежностей між розрахунковими і вимірюваними параметрами, потрібне знання параметрів схеми заміщення (ПСЗ) АД [6]. Як правило, застосовують Т-образну схему. Відповідно до Т-образної схемою заміщення АД рис. 1 величини і несиметрія фазних струмів залежать від зміни технологічного навантаження (зміни ковзання s), зміни комплексних фазних опорів (міжвиткові замикання), рівнів фазних напруг (несиметрія напруг мережі живлення).

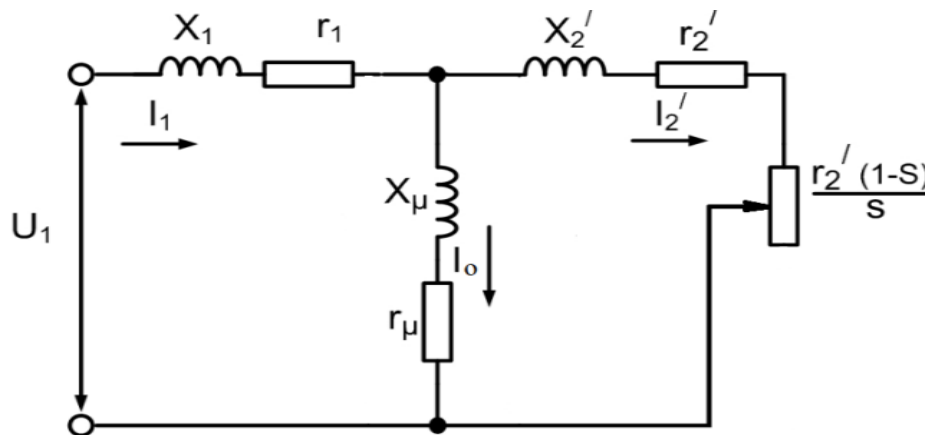


Рисунок 1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

На рис. 1 позначені: r_1 , x_1 – активний опір і індуктивне опір розсіювання обмотки статора; r_2' , x_2' – приведені до обмотці статора активний опір і індуктивне опір розсіювання роторної обмотки; r_μ , x_μ – активне і індуктивний опори що намагнічує контуру, s – ковзання.

Вводячи коефіцієнт, що визначає зміну числа витків в обмотці статора при виткових замикань рівний:

Машинобудування і зварювальне виробництво

$$k_w = 1 - \frac{w_k}{w_1}, \quad (1)$$

де w_k – число короткозамкнених витків обмотки статора; w_1 – загальне число витків обмотки статора;

Коефіцієнт k_w застосуємо для АД з петльовими одношаровими катушковими або секційними обмотками. Коефіцієнт k_m застосуємо для АД з петльовими одно-двошаровими катушковими або секційними обмотками.

З урахуванням виразу (1) активне r_{1w} і індуктивне x_{1w} опори статора, індуктивний опір магнітного кола $x_{\mu w}$ при виткових замикань визначаються за виразами:

$$r_{1w} = k_w \cdot r_1 \quad (2)$$

$$x_{1w} = k_w^2 \cdot x_1 \quad (3)$$

$$x_{\mu w} = k_w^2 \cdot x_\mu \quad (4)$$

При виткових замиканнях в обмотці статора величина активного і індуктивного опорів ротора, а також активна складова ланцюга намагнічування залишаються незмінними.

Повні опори статора і магнітного ланцюга з урахуванням (2)–(4):

$$\underline{Z}_{1w} = k_w \cdot r_1 + jk_w^2 \cdot x_1 \quad (5)$$

$$\underline{Z}_{\mu w} = r_\mu + jk_w^2 \cdot x_\mu \quad (6)$$

Відповідно повний опір АД для аналізу впливу зміни навантаження і опорів в гілках схеми має вигляд:

$$\underline{Z}_{wi} = \left(1 - \frac{w_k}{w_1}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{r_1}{1 - \frac{w_k}{w_1}} + jx_1 \right) + \frac{\left(\frac{r_2'}{s} + jx_2' \right) \cdot \left(\frac{r_\mu}{\left(1 - \frac{w_k}{w_1}\right)^2} + jx_\mu \right)}{\left(\frac{r_2'}{s} + jx_2' \right) + \left(r_\mu + j \left(1 - \frac{w_k}{w_1}\right)^2 x_\mu \right)} \right], \quad (7)$$

де \underline{Z}_{wi} – повний комплексний опір АД в i -й фазі.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Відповідно до ДСТУ 13109-97 напруга в фазі при наявності відхилення визначається виразом:

$$U_{\phi i} = (1 + \Delta U_{\phi i}) \cdot U_n \quad (8)$$

де $U_{\phi i}$ – напруга, що вимірюється в i -й фазі, $\Delta U_{\phi i}$ – відхилення напруги в i -й фазі.

Фазна напруга, яка виражена через номінальне значення і відхилення напруги, визначається виразом:

$$\underline{U}_{\phi i} = (1 + \Delta U_{\phi i}) \cdot e^{j\Delta\varphi_i} \cdot U_{\phi n} \quad (9)$$

Відповідно фазні струми рівні:

$$\underline{I}_{\phi i} = \frac{\underline{U}_{\phi i}}{\underline{Z}_{wi}} = \frac{(1 + \Delta U_{\phi i}) \cdot e^{j\Delta\varphi_i} \cdot U_{\phi n}}{\left(1 - \frac{w_k}{w_1}\right)^2 \cdot \left[\frac{r_1}{1 - \frac{w_k}{w_1}} + jx_1\right] + \frac{\left(\frac{r'_2}{s} + jx'_2\right) \cdot \left[\frac{r_\mu}{\left(1 - \frac{w_k}{w_1}\right)^2} + jx_\mu\right]}{\left(\frac{r'_2}{s} + jx'_2\right) + \left[r_\mu + j\left(1 - \frac{w_k}{w_1}\right)^2 x_\mu\right]} \quad (10)$$

Установлюючи критеріальні залежності:

$$I_{ар} = I_{a \text{ изм}} \pm \delta; I_{бр} = I_{b \text{ изм}} \pm \delta; I_{ср} = I_{c \text{ изм}} \pm \delta, \quad (11)$$

де - $I_{ар}$, $I_{бр}$, $I_{ср}$, - розрахункові фазові струми, $I_{амзи}$, $I_{бизм}$, $I_{сизм}$, - фазові струми, що були виміряні та

$$\varphi_{ар} = \varphi_{a \text{ изм}} \pm \delta; \varphi_{бр} = \varphi_{b \text{ изм}} \pm \delta; \varphi_{ср} = \varphi_{c \text{ изм}} \pm \delta, \quad (12)$$

де - $\varphi_{ар}$, - $\varphi_{бр}$, - $\varphi_{ср}$, - розрахункові фазові кути, - $\varphi_{амзи}$, - $\varphi_{бизм}$, - $\varphi_{сизм}$, - фазові кути, що були виміряні.

Значення фазних струмів, які були виміряні і розраховані, в межах заданої похибки δ є критерієм нормальної роботи АД

Виконання нерівності:

$$I_{ар} \neq I_{a \text{ изм}} \pm \delta; I_{бр} \neq I_{b \text{ изм}} \neq \delta; I_{ср} \neq I_{c \text{ изм}} \pm \delta \quad (13)$$

та

$$\varphi_{ap} \neq \varphi_{a \text{ изм}} \pm \delta; \varphi_{bp} \neq \varphi_{b \text{ изм}} \pm \delta; \varphi_{cp} \neq \varphi_{c \text{ изм}} \pm \delta \quad (14)$$

є критерієм виявлення початкового моменту виткового замикання.

Одночасне зниження рівнів напруги і фазних струмів до величин нижче (0,8-0,6) номінального значення і тривалістю більше трьох постійних нагріву АД є критерієм діагностики провалу напруги, при якому артеріальний тиск відключають від мережі живлення.

Відсутність одного з фазних струмів $I_{a \text{ изм}}$, $I_{b \text{ изм}}$, $I_{c \text{ изм}}$ або лінійного напруження є критерієм неповнофазного режиму мережі живлення або обриву, недовключення кола струму.

Використовуючи отримані критеріальні залежності розроблена комп'ютерна програма «Пристрій діагностики неповнофазних режимів мережі, струмових ланцюгів, початкового моменту виткового замикання в статорних обмотках і захисту електродвигуна (ЕД)» [2], є програмним забезпеченням для безаварійної експлуатації електродвигунів, які отримують живлення від мереж напругою до 1000 В.

На рис. 2, приведена логічна схема пристрою діагностики неповнофазних режимів мережі, струмових ланцюгів, початкового моменту виткового замикання в статорних обмотках і захисту електродвигуна.



Рисунок 2 – Блок-схема пристрою виявлення початкового моменту виткових замикань в статорних обмотках АД

Пристрій складається з комутаційного апарату 1, блок вимірювання лінійних струмів двигуна 2, аналогово-цифрового перетворювача 3, 6, 8, 11, двигуна 4, блоку вимірювання швидкості обертання двигуна 5, блок вимірювання лінійних напруг мережі живлення 7, мікроконтролера 9, блоку вимірювання частоти живильної мережі 10, виконавчого блоку управління і сигналізації 12, блоку живлення 13.

Машинобудування і зварювальне виробництво

На рис. 3, приведена логічна схема проходження інформаційних сигналів, сигналів виміру контрольованих величин, командних управляючих сигналів.

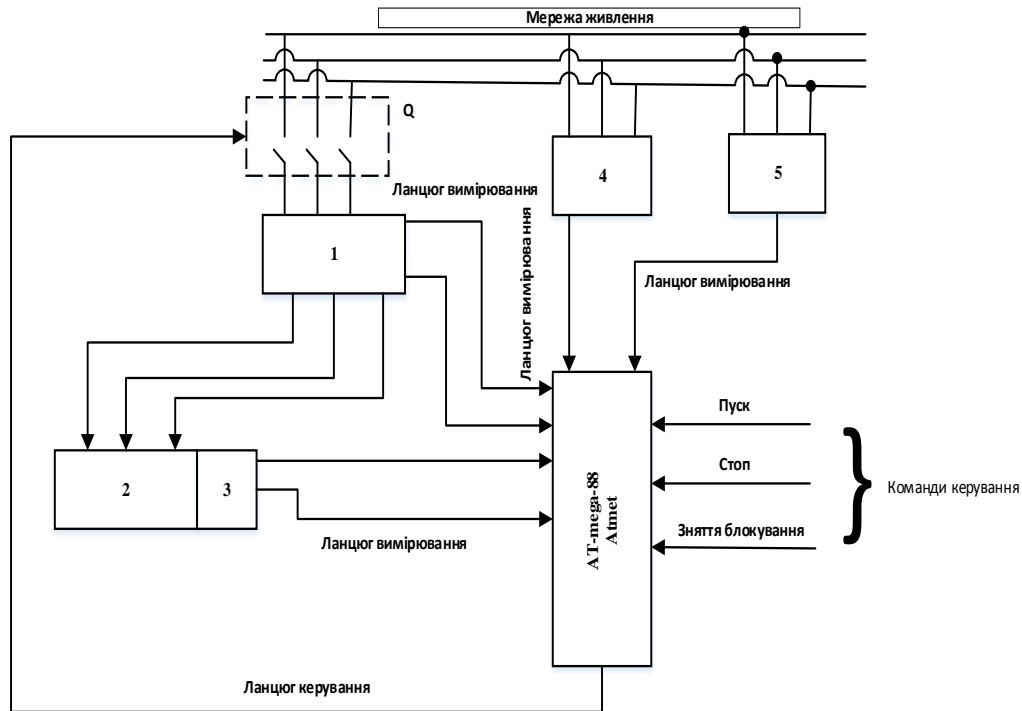


Рисунок 3 – Логічна схема проходження інформаційних сигналів, сигналів виміру контрольованих величин, командних управляючих сигналів

На рис. 3 позначено: 1 – блок виміру струмів, 2 – електродвигун, блок виміру швидкості обертів електродвигуна, 4 – блок виміру частоти мережі живлення, 5 – блок виміру лінійних напруг мережі живлення.

На рис. 4 приведена блок схема алгоритму комп'ютерної програми, позначено: $U_{ав}$, $U_{вс}$, $U_{са}$ - лінійних напруги; U_a , U_b , U_c - фазні напруги; r_1 , x_1 – активна та реактивна складові обмотки статора r_2 , x_2 , - приведені активна та реактивна складові обмотки ротора, r_μ , x_μ , - активна та реактивна складові ланцюгів намагнічення; p – число пар полюсів; $\Delta\beta$ – розмір довірчих інтервалів; φ_a , φ_b , φ_c - фазові кути між напругами; τ – часова пауза; I_a , I_b , I_c , - фазові струми; φ_{aI} , φ_{bI} , φ_{cI} - фазові кути струмів; S – ковзання; f – частота мережі; n – швидкість електродвигуна; n_0 - швидкість магнітного поля; I_{aPac} , I_{bPac} , I_{cPac} – розрахункові значення фазних струмів.

Керуючими командами є сигнали на керування пускачів Q- пускач (вимикач) для включення і виключення електродвигуна це команда «Пуск» - підключення електродвигуна до мережі живлення, команда «Стоп» - відключення електродвигуна від мережі, команда «Зняття блокування» - знімає обмеження після аварійної зупинки електродвигуна.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Вимірюваними сигналами є: $I_{\text{аизм}}, I_{\text{бизм}}, I_{\text{сизм}}$, - фазні струми, $\varphi_{\text{а}}, \varphi_{\text{б}}, \varphi_{\text{с}}$ - фазові кути струмів, $U_{\text{ав}}, U_{\text{вс}}, U_{\text{са}}$ - лінійні напруги, $\varphi_{\text{а}}, \varphi_{\text{б}}, \varphi_{\text{с}}$ - фазові кути між напругами, f – частота мережі; n – швидкість електродвигуна;

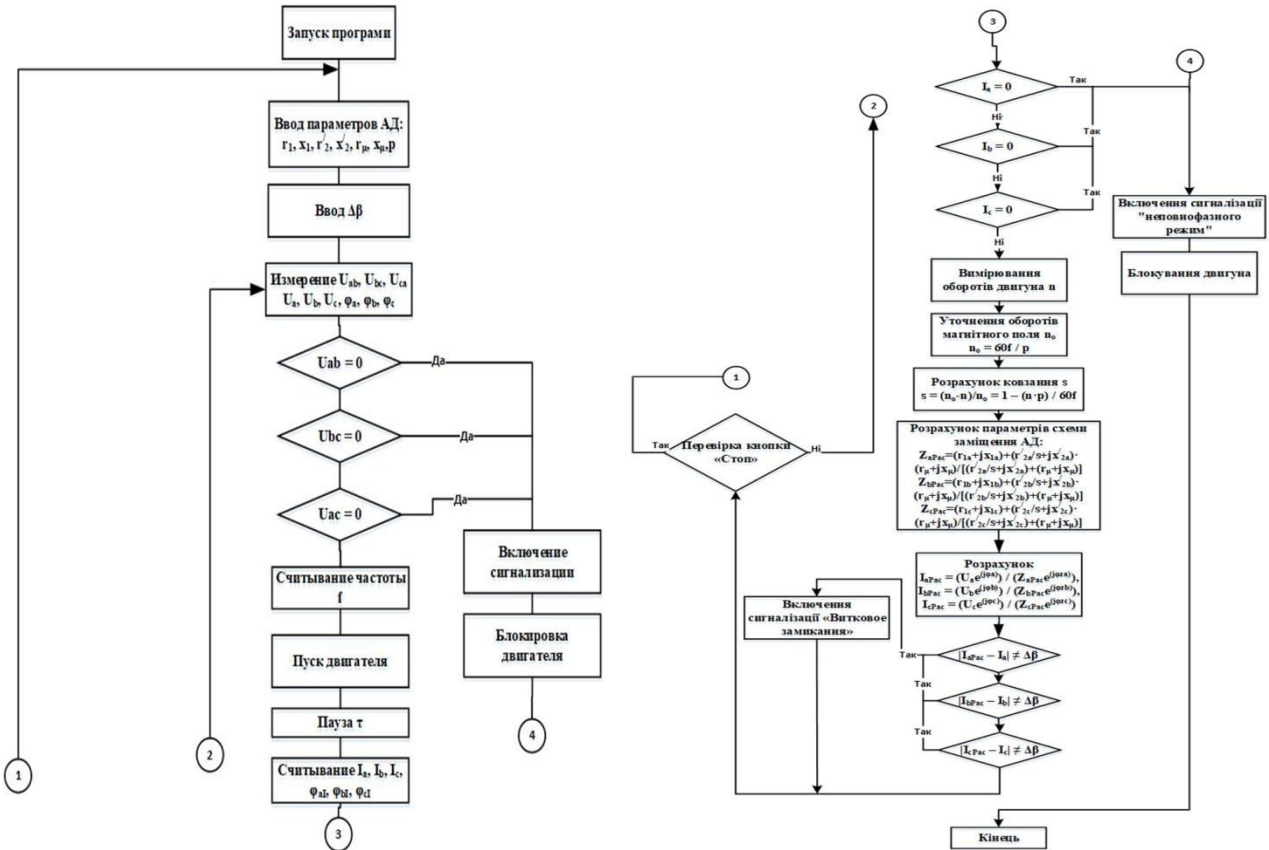


Рисунок 4 – Блок схема алгоритму

Робота комп'ютерної програми «Пристрій діагностики неповнофазних режимів мережі, струмових ланцюгів, початкового моменту виткового замикання в статорних обмотках і захисту електродвигуна».

За даними дослідів холостого ходу і короткого замикання розраховуються параметри схеми заміщення ЕД, які є вихідними даними.

«Команда «Пуск». Перевіряється обмеження «Блокіровок» за відсутності блокіровок проводиться вимірювання лінійних напруг мережі живлення. Наявність трьох лінійних напруг, відхилення яких не перевищують значення нормованого ДСТУ 13109-97, формує сигнал в ланцюзі управління комутаційним апаратом Q і ЕД підключається до мережі. У другу чергу проводиться вимірювання фазних струмів. Наявність трьох напруг мережі живлення і трьох фазних струмів свідчить про нормальному режимі праці струмових ланцюгів та електропостачання ЕД.

Обрив одного струмоведучого ланцюга призводить до появи нульового значення струму в пошкодженому ланцюгу і збільшення сили струмів в двох непошкоджених ланцюгах, при цьому лінійних напруг залишаються незмінними. Ця аварійна ситуація

Машинобудування і зварювальне виробництво

сигналізується як «обрив кола струму». Мікропроцесор подає сигнал в блок керування, який відключає ЕД від мережі.

Неповнофазний режим мережі призводить до зникнення однієї лінійної напруги і фазного струму ЕД. Мікропроцесор подає сигнал в блок керування, який відключає ЕД від мережі та відображає цю аварійну ситуацію.

Постійно вимірюються швидкість обертання ЕД, частота мережі, рівень напружень мережі і величини фазних струмів. За отриманими значеннями проводиться корекція параметрів схеми заміщення ЕД і розраховуються фазні струми і фазові кути між ними. Проводиться порівняння вимірних і розрахункових значення фазних струмів і фазових кутів. Відхилення порівнюваних значень більше встановленого, з урахуванням величини довірчого інтервалу, є критерієм виявлення початкового моменту виткового замикання в обмотках статора ЕД.

Програма працює таким чином. Встановлюються початкові дані, якими є : константи, задаючи допустимі значення контрольованих величин,. На рис. 5 приведений протокол роботи комп'ютерної програми.

```

Ввод параметров АД:
r1 : 4.9
x1: 4.7
r2: 7.2
x2: 5.15
rm: 2.04
xm: 49.02
p: 3
B: 0.02
Измерение U:
Ua: 220
Ub: 220
Ua: 220
Uab: 380
Ubc: 380
Uac: 380
Измерение ф(фи):
фа: 0
фb: -120
фс: -240
Ua: 220
Ub: -109.798-190.642j
Uc: -110.404+190.292j
Измерение частоты f: 50
Пуск двигателя!
Пауза t: 10
Измерение I:
Ia: 4.640
Ib: 4.638
Ic: 4.655
Измерение угла фи:
фIab: -57
фIab: -177
фIab: 63
Измерение оборотов двигателя n: 915
Измерение частоты f: 50
Расчёт n0: 1000
Расчёт скольжения s: 0.085
Расчёт параметров АД
Za: 25.7991+39.6375j
Zb: 25.7991+39.6375j
Zac: 25.7991+39.6375j
Гарас: 2.53755-3.89867j
Гарас: -4.64486-0.253181j
Гарас: 2.09876+4.15138j
Сигнализация! Витковое замыкание!
Нажата кнопка "Стоп" ? (y/n) _
    
```

Рисунок 5 – Протокол роботи комп'ютерної програми

ВИСНОВКИ

1. Порівняння вимірних векторів фазних струмів АД з їх розрахунковими значеннями підвищує достовірність і чутливість виявлення початкового моменту виткових замикань в статорних обмотках АД.

2. Встановлені критеріальні залежності між контрольованими параметрами мережі і АД дозволили розробити програмне забезпечення для пристрою, що реалізує спосіб діагностики і захисту АД від неповнофазних режимів напруг мережі, обривів струмових ланцюгів та виявлення початкового моменту утворення виткового замикання в обмотках статора АД.

Список використаних джерел:

1. *Хомутов, С. О.* Система поддержания надежности электрических двигателей на основе комплексной диагностики и эффективной технологии восстановления изоляции [Электронный ресурс] : монография / *С. О. Хомутов*. – Барнаул : МЦ ЭОР, 2015. – 399 с. – Режим доступа: http://elib.altstu.ru/disser/stat/Хомутов_monograph.pdf

2. *Бобров, В. В.* Оценка эффективности основных методов диагностики асинхронных электродвигателей / *В. В. Бобров* // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3/1. – С. 198–203.

3. *Браташ, О. В.* Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей / *О. В. Браташ, А. П. Калинов* // Вести Кременчукского гос. политехн. ун-та. – 2006. – № 4. – С. 44.

4. Новые методы диагностики асинхронных двигателей / *А. И. Тутко [и др.]* // Праці Ін-ту електродинаміки НАНУ: зб. наук. пр. – К., 2014. – Вип. 37. – С. 58–61.

5. А. с. 96405 Україна. Комп'ютерна програма «Пристрій діагностики неповнофазних режимів мережі, струмових ланцюгів, початкового моменту виткового замикання в статорних обмотках і захисту електродвигуна» / *Кривоносов В. Є., Гриб О. Г., Карпалюк І. Т., Кривоносов В. В., Борякін А. О., Василенко С. В.* – опубл. 27.02.2020. – 1 с.

6. *Кривоносов, В. Е.* Сравнительный анализ методов расчета параметров схем замещения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором [Электронный ресурс] = Comparative analysis of methods for calculating the parameters of asynchronous engines for reference data / *В. Е. Кривоносов, С. В. Василенко* // Österreichisches Multiscience Journal. – 2019. – Vol. 1, N 18. – P. 36–42. – Mode of access: http://aus-journal.com/wp-content/uploads/2019/07/Oster_%E2%84%9618.pdf

Кривоносов В. Е., Василенко В. В., Бухлал Н. А.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕЖВИТКОВОГО ЗАМЫКАНИЯ В СТАТОРНЫХ ОБМОТКАХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Асинхронные двигатели (АД) получили широкое применение в электротехнических комплексах промышленных предприятий, портов и судов благодаря простоте эксплуатации.

Машинобудування і зварювальне виробництво

Актуальность исследования заключается в том, что на сегодняшний день разработка электрических методов диагностики начального момента появления витковых замыканий в обмотке статора, основана на сравнении измеренных фазных токов АД с их расчетными значениями.

В статье рассматривается сравнение измеренных векторов фазных токов АД с их расчетными значениями. Что в свою очередь повышает достоверность и чувствительность обнаружения начального момента витковых замыканий в статорных обмотках АД.

Установлено, что одновременное снижение уровней напряжения и фазных токов до величин ниже (0,8-0,6) номинального значения и продолжительностью более трех постоянных нагрева АД является критерием диагностики провала напряжения, при котором артериальное давление отключают от сети. Отсутствие одного из фазных токов $I_{\text{аизм}}$, $I_{\text{бизм}}$, $I_{\text{сизм}}$ или линейного напряжения является критерием неполнофазного режима сети питания или обрыва, недовключения цепи тока.

Установлены критериальные зависимости между контролируемыми параметрами сети и АД, что дало возможность разработать компьютерную программу «Устройство диагностики неполнофазных режимов сети, токовых цепей, начального момента виткового замыкания в статорных обмотках и защиты электродвигателя (ЭД)». В статье приведена логическая схема устройства диагностики неполнофазных режимов сети, токовых цепей, начального момента виткового замыкания в статорных обмотках и защиты электродвигателя. Разработанное программное обеспечение используется для безаварийной эксплуатации электродвигателей, которые получают питание от сетей напряжением до 1000 В., а также реализуется способ диагностики и защиты АД от неполнофазных режимов напряжений сети, обрывов токовых цепей и выявления начального момента образования виткового замыкания в обмотках статора АД.

Ключевые слова: электродвигатель, межвитковые замыкания, функциональная диагностика, критериальные зависимости, устройство защиты электродвигатель, алгоритм, компьютерная программа.

Krivosov V. E., Vasilenko V. V., Bouhlal N. A.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR DETECTING AN INTER-TURN FAULT IN THE STATOR WINDINGS OF AN ELECTRIC MOTOR UNDER CONDITIONS OF VOLTAGE ASYMMETRY

Asynchronous motors are widely used in electrical complexes of industrial enterprises, ports and ships due to their ease of operation. The relevance of the study lies in the fact that today the development of electrical methods for diagnosing the initial moment of occurrence of loop faults in the stator winding is based on comparing the measured phase currents of asynchronous motors with their calculated values.

The article deals with the comparison of the measured phase current vectors of asynchronous motors with their calculated values. This, in turn, increases the reliability and sensitivity of detecting the initial moment of loop faults in the stator windings of asynchronous motors.

Машинобудування і зварювальне виробництво

It is established that the simultaneous reduction of voltage levels and phase currents to values below (0.8-0.6) the nominal value and lasting more than three continuous heating of asynchronous motors is a criterion for diagnosing a voltage failure in which blood pressure is disconnected from the network. The absence of one of the phase currents I_{aizm} , I_{bizm} , I_{cizm} or line voltage is a criterion for an incomplete phase mode of the power supply network or an open or under-connected current circuit.

The criteria dependences between the controlled parameters of the network and asynchronous motors were established, which made it possible to develop a computer program "Device for diagnostics of incomplete network modes, current circuits, the initial moment of a turn circuit in the stator windings and motor protection (ED)". The article presents a logical diagram of the device for diagnostics of non-full-phase network modes, current circuits, the initial moment of the turn circuit in the stator windings and motor protection. The developed software is used for trouble-free operation of the electric motors that receive power from networks with voltage up to 1000 V, and also implements a method of diagnosis and protection of asynchronous motors unbalance voltage, break current circuits and identify the initial moment of short circuit in the stator windings of asynchronous motors.

Keywords: *electric motor, inter-turn circuits, functional diagnostics, criterion dependencies, electric motor protection device, algorithm, computer program.*

Рекомендовано до публікації: канд. техн. наук, доц. Балалаєва О. Ю.

Стаття надійшла 01.12.2020 р.

УДК 72.023

Годун Т. М., Коваленко А. С., Бочарова О. А.

ЦЕГЛЯНИЙ СТИЛЬ В ЕКСТЕР'ЄРІ ТА ІНТЕР'ЄРІ АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ ТА СУЧАСНОСТІ

Дана стаття присвячена питанню архітектурної спадщини та сучасній архітектурі цегляних будівель та споруд, розвитку цегляної архітектури з давніх часів по теперішній час. Висвітлені питання еволюції розвитку цегли, як будівельного матеріалу, який дозволяє втілити різноманітні архітектурні ідеї у реальність. Застосування декоративних елементів на стінах і вікнах фасадів - здатне перетворити зовнішній вигляд будь-якої будівлі на краще. Колони, замкові камені, арки, ліпнина і консолі дозволяють посилити увагу на достоїнствах споруди. Також втілити самі неймовірні задуми архітекторів. Завдяки новим сучасним технологіям виробництва цегли, цей будівельний матеріал є надзвичайно популярним і часто використовується архітекторами для створення оригінальних форм.

У статті проаналізовано поступовий розвиток еволюції виробництва цегли, надані характеристики цегли, як будівельного матеріалу, розглянуто види за ознаками, застосування цегли в залежності від її призначення. Розглянуто і висвітлено історію застосування цегляної кладки, її місце і значення в архітектурних стилях різних епох. Використання цегляної кладки у сучасній архітектурі та проектах різних типів: приватних і громадських об'єктах в різних кліматичних умовах і в різній місцевості. Проведено збір та аналіз інформації в області виробництва цегли і кладки цегли. Проаналізовано характерні види декоративної цегляної кладки, переваги та особливості її застосування в зовнішньому вигляді будинків, функціональні причини застосування, цілі, що досягаються архітекторами при використанні декоративної кладки. На основі аналізу архітектурних проектів, а також тенденцій у розвитку матеріалів їх застосуванні, проводиться обґрунтування подальшого використання різних видів декоративної кладки. Цегла є екологічним, практичним, надійним, зручним в роботі, довговічним, міцним, красивим і естетичним будівельним матеріалом.

Ключові слова: *архітектура, декор, інтер'єр, екстер'єр, цегла, фактура, оздоблення, будівлі, споруди, камін, виробництво, будівельні матеріали, стіни, готика, аркади, фасад, бароко, декоративна, рельєфна, узорчата, кладка.*

Люди використовували цеглу для будівництва протягом тисячі років. Цегла один з найстаріших відомих матеріалів, використовуваний для будівництва ще починаючи з 7000 року до н.е. Спочатку цеглини були зроблені з глини, змішаної з соломною та висушеними на сонці для затвердіння. Починаючи з 3500 року до н.е., цеглу стали обпалювати і виготовляти в різних кліматичних районах. Приблизно до кінця XIX цегла виготовлювалась вручну. Після початку промислової революції була введена техніка для виробництва цегли.

Отже, кількість глини, яка могла бути перетворена в цеглу, було значно збільшено, що вплинуло на виробничі потужності. Оскільки цегляні конструкції можна було будувати набагато швидше і дешевше, вони замінювали іншу сировину. У кінці XIX століття коли промисловість виробництва цегли набрала обертів, щорічно вироблялося понад 10 мільярдів цегли, багато міст по усьому світі почали будівництво з цегли.

Архітектура

З прийняттям християнства князем Володимиром у 988 році на територію Київської Русі попрямували ремісники з Візантії. При безпосередній участі візантійських зодчих з каменю вже в наступному 989 році була побудована Десятинна церква. В XI столітті в Києві зведений Софійський Собор, який є найбільш яскравим виразом архітектурної спадщини давньоруської архітектури. Зовнішній вигляд має закінчену цілісність і навіть деяку помпезність. Храм став уособленням українського бароко. Вздовж століть архітектура будівництва з цегли поступово розвивалась.



Рисунок 1 – Велика Китайська стіна, III тисячоліття до н. е.

Вважається, що початком течії будівництва з цегли було покладено творчістю голландського архітектора Хенріка Петрюса Берлаге (1856-1934), який прагнув використовувати естетичні властивості натуральних матеріалів - цегли з обробкою стін білим каменем (традиційний прийом в архітектурі північних країн). Спочатку Берлаге будував в дусі історизму, що відтворює форми нідерландського ренесансу.

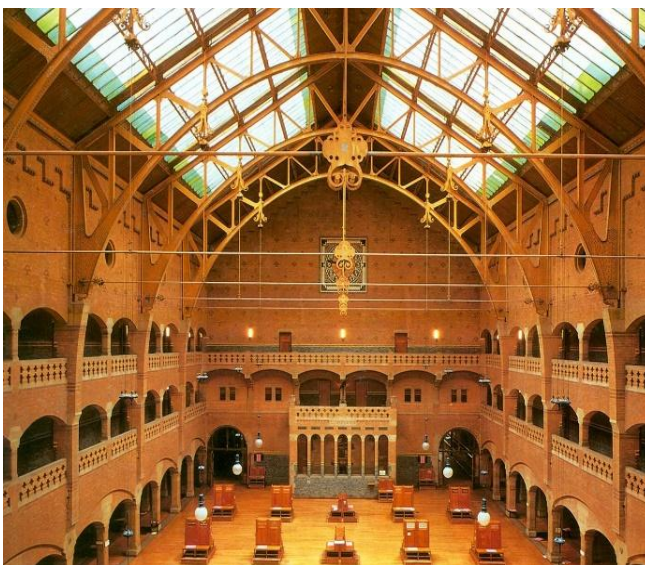


Рисунок 2 – Біржа в Амстердамі

Біржа в Амстердамі, побудована за проектом Берлаге (1897-1903), близька за стилем «цегляної готики». Будівля стала вражаючим сплавом національно-середньовічної традиції (масивні стіни, жваві аркадами) і сучасних конструкцій (величезний триповерховий зал, перекритий дахом, що спирається на оголені сталеві ферми).

Архітектура

На теперішній час цегла виготовляється у різноманітному асортименті. Виробничий процес має різний склад та різні способи виготовлення. Цегла виготовляється різними способом виробництва та відрізняється за складом. Цегла має різні кольори, форми, розміри та призначення.

Зараз у арсеналі будівельного виробництва:

- силікатна цегла - з застиглою вапняною розчиною в автоклаві, може бути синього, зеленого, фіолетового кольору при додаванні пігментів або природного кольору білого або світло-сірого, вона дешева, але важка, не досить міцна, легко проводить тепло і не водостійка, використовується в кладці перегородок і стін. У цьому він поступається керамічній цеглі;

- керамічна цегла - виготовляється випалюванням глини, міцна, вогнестійка, має високу звукоізолюючу здатність, довговічна, не вбирає шкідливі речовини з навколишнього середовища.

В будівництві з цегли крім стін і перегородок, потребуючих надалі оздоблення, застосовують також лицьову (фасадну) цеглу, яка не потребує оздоблювальних робіт.

Фактурна цегла, може мати на поверхні рельєфний малюнок. Вона використовується для декорування інтер'єрів та фасадів. Різновидами є - фактурна цегла та фасонна. Фактурна має нерівний рельєф або на бічних гранях має правильний геометричний малюнок. Фасонна цегла буває різних форм - кутова, скошена, напівкругла, з виїмками і т.п. За допомогою цього виду можна вишукано оформляти карнизи, вікна, виконувати колони, склепіння і арки та інші різноманітні архітектурні елементи.



Рисунок 3 – Сучасний будинок з фасадної цегли

З вогнетривкої глини виготовляється цегла для мурування печей та камінів. Має досить багато різновидів і відрізняється за розмірами.

Архітектура

Цегла може бути:

Пустотіла - має внутрішні порожнечі різних форм, які роблять її менш міцною, але більш легкою; зведені з неї стіни, мають відмінну теплоізоляцію.

Повнотіла - така цегла не містить отворів, теплопровідність такого цегли її невисока, але вона має дуже високу водостійкість і достатню міцність; використовуються повнотілі цеглини в основному там, де вони повинні витримати розподілені навантаження, наприклад - для цоколів і фундаментів. Такі цеглини можна використовувати і для зведення зовнішньої стіни. Але тоді стіни повинні бути товстими, для того щоб була присутня необхідна нормативна теплопровідність.

Поризована - за рахунок пористої структури матеріалу, така цегла вважається самою «теплою». Її теплоізоляційні властивості набагато вище, ніж у звичайного саману. Внутрішні пори такого цегли забезпечують кращу ізоляцію звуку.

За розмірами найбільш застосовуються:

- Одинарні або стандартні.

Має розмір 250 × 120 × 65 мм. Цей розмір цегли вважається самим «зручним» і найбільш ходовим.

- Полуторні. Висота такого цегли 88 мм.
- Подвійні. Його розмір - 250x120x138 мм.

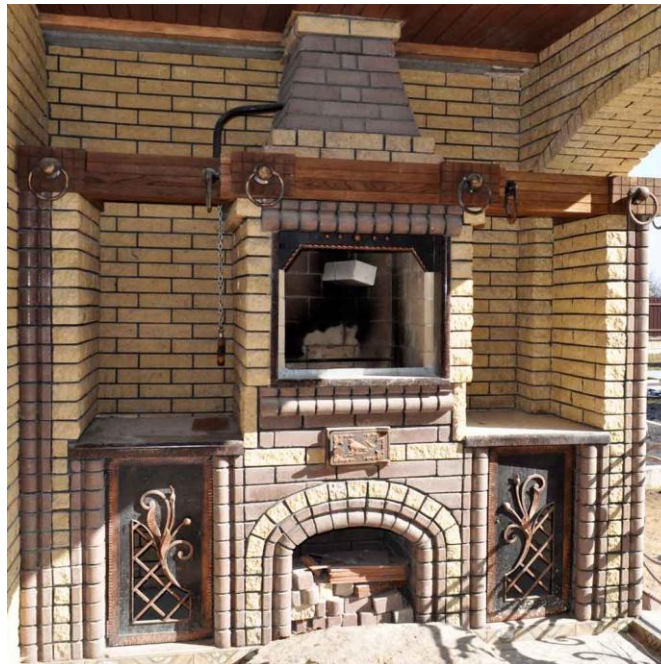


Рисунок 4 – Камін з вогнетривкої цегли

Застосування декоративних елементів на стінах і вікнах фасадів - здатне перетворити зовнішній вигляд будь-якої будівлі на краще. Колони, замкові камені, арки, ліпнина і консолі дозволяють посилити увагу на достоїнствах споруди. Також втілити самі неймовірні задуми архітекторів.

Архітектура

Завдяки новим сучасним технологіям виробництва цегли, цей будівельний матеріал є надзвичайно популярним і часто використовується архітекторами для створення оригінальних форм. В офісній будівлі Termeh Commercial Office Building, розташованому в іранському місті Хамадані, з цегли зроблено хвилястий дах, що формує незвичайний вигляд будівлі, фасади якої облицьовані цією ж цеглою рудого кольору. Будівля як би виростає з землі і служить продовженням тротуару.

Архітектурна виразність сучасних цегляних будівель пов'язана не тільки з декоративними елементами: пристроєм масивних карнизів, колон і інших складних елементів, а спирається також на застосування особливого виду кладки - декоративно-рельєфного.

Фігурна кладка створює дуже цікавий ефект - гру на стіні світла і тіні: в сонячний день виступаючі елементи фасаду відкидають тіні, легко змінюють вигляд будівлі, також привертають увагу до значних деталей будівлі і розставляють стилістичні акценти.



Рисунок 5 – Офісна будівля у м. Хамадані

Рельєфна кладка застосовується для прикраси фризів, декоративних смуг у верхній частині стіни, простінків, створення пасків, цим способом виділяють віконні прорізи, балкони, арки. Часто рельєфну кладку поєднують з чіткою геометрією фасадних швів і композиціями з малюнків кольоровою цеглою. Рельєфна кладка дійшла до теперішнього часу з часів декорування ще ассирійських палаців.

Існує безліч варіантів використання цегли в облицьованні будівлі. Це і традиційна кладка, що служить в першу чергу для захисту будівлі від зовнішніх факторів, що створює простий, але приємний екстер'єр будинку.

Архітектура



Рисунок 6 – Елементи рельєфної кладки на фасаді будівлі

Але також існують варіанти облицювання, які так чи інакше змінюють вигляд будівлі. Крім рельєфної кладки, застосовують узорчату з суцільної кладки та ґратчасту. Ґратчастий вид кладки з'явився на сході, де мав більш декоративні, ніж сучасні будівлі, риси. Зараз вона стала популярна, тому що задовольняє потребу впускати всередину приміщення більше простору, світла і повітря.

Цегла є основою сучасного будівництва. Таке широке застосування цегли призвело до її чіткого поділу на види. Але незалежно від матеріалу цегли, її основні характеристики залишаються єдиними, а саме: міцність - здатність, не руйнуючись, чинити опір деформацій і різного роду внутрішнім напруженням, морозостійкість - здатність витримувати по черзі заморожування і відтавання у водонасиченому стані. Цегла екологічний, практичний, надійний, зручний в роботі, довговічний, міцний, красивий і естетичний будівельний матеріал.

ВИСНОВКИ

1. Таким чином цегла сьогодні повністю відповідає духу часу і дозволяє втілити в життя самі неймовірніші ідеї архітектурної справи, дає можливість створювати нові оригінальні форми.

2. Сучасна технологія виробництва цегли дозволяє випускати не тільки стандартні вироби, але нові більш вдосконалені.

3. Цегляна кладка починає використовуватися не тільки в невеликих проектах, але і в громадських будівлях і комплексах, з'являються і розробляються нові матеріали і форми. Цегляна кладка, відповідає запитам сучасної архітектури і містобудування, виходе на новий, більш якісний, рівень. Це дає розвиток одному з найдавнішого матеріалів, використовуваних людьми в будівництві.

Список літератури:

1. Бусева-Давыдова, И. Л. Каменное зодчество Древней Руси / И. Л. Бусева-Давыдова. – М. : Детская литература, 1989. – 144 с. – (Библиотечная серия).

Архітектура

2. *Блохина, И. В.* Архитектура. Всемирная история архитектуры и стилей / И. В. Блохина. – М. : АСТ, 2016. – 255 с.
3. *Френч, Х.* История архитектуры : пер. с англ. / Х. Френч. – М. : Астрель : АСТ, 2006. – 143 с.
4. *Шуази, О.* Всеобщая история архитектуры: пер. с фр. / О. Шуази. – М. : Эксмо, 2008. - 703 с.
5. *Шуази, О.* Мировая архитектура : история, стили, направления : пер. с фр. / О. Шуази. – М. : Эксмо, 2010. – 542 с.
6. *Якобсон, А. Л.* Закономерности в развитии средневековой архитектуры 9-15 веков: Византия. Греция. Южно-славянские страны. Русь. Закавказье / А. Л. Якобсон. – Л.: Наука, 1987. – 236 с.
7. *Харабет, В. В.* Чудеса архитектурного искусства : очерки / В. В. Харабет ; худож. О. В. Харабет. - Мариуполь : Новый мир, 2012. – 366 с.
8. *Харабет, В. В.* Чудеса народного зодчества: очерки / В. В. Харабет ; худож. О. В. Харабет. – Мариуполь : Новый мир, 2014. – 359 с.
9. *Айрапетов, Г. А.* Строительные материалы: учебно-справочное пособие / Г. А. Айрапетов. – М. : Феникс, 2009. – 699 с.
10. *Алимов, Л. А.* Строительные материалы : учебник / Л. А. Алимов. - М. : Академия, 2018. – 317 с.

Годун Т. Н., Коваленко А. С., Бочарова Е. А.

КИРПИЧНЫЙ СТИЛЬ В ЭКСТЕРЬЕРЕ И ИНТЕРЬЕРЕ АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ И СОВРЕМЕННОСТИ

Данная статья посвящена вопросу архитектурного наследия и современной архитектуре кирпичных зданий и сооружений, развития кирпичной архитектуры с древних времен по настоящее время. Освещены вопросы эволюции развития кирпича, как строительного материала, который позволяет воплотить разнообразные архитектурные идеи в реальность. Применение декоративных элементов на стенах и окнах фасадов - способно преобразить внешний вид любого здания к лучшему. Колонны, замковые камни, арки, лепнина и консоли позволяют усилить внимание на достоинствах сооружения. Также воплотить самые невероятные замыслы архитекторов. Благодаря новым современным технологиям производства кирпича, этот строительный материал является чрезвычайно популярным и часто используется архитекторами для создания оригинальных форм.

В статье проанализированы постепенное развитие эволюции производства кирпича, предоставленные характеристики кирпича, как строительного материала, рассмотрены виды по признакам, применение кирпича в зависимости от ее назначения. Рассмотрены и отражена история применения кирпичной кладки, ее место и значение в архитектурных стилях разных эпох. Использование кирпичной кладки в современной архитектуре и проектах различных типов: частных и общественных объектах в различных климатических условиях и в разной местности. Проведен сбор и анализ информации в области производства кирпича и кладки кирпича. Проанализированы характерные виды декоративной кирпичной кладки, преимущества и особенности ее применения во внешнем виде домов, функциональные причины применения, цели, достигаемые архитекторами при использовании декоративной

Архітектура

кладки. На основе анализа архитектурных проектов, а также тенденций в развитии материалов их применении, проводится обоснование дальнейшего использования различных видов декоративной кладки. Кирпич является экологическим, практичным, надежным, удобным в работе, долговечным, прочным, красивым и эстетичным строительным материалом.

Ключевые слова: архитектура, декор, интерьер, экстерьер, кирпич, фактура, отделка, здания, сооружения, камин, производство, строительные материалы, стены, готика, аркады, фасад, барокко, декоративная, рельефная, узорная, кладка..

Hodun T. M., Kovalenko A. S., Bocharova O. A.

BRICK STYLE IN THE EXTERIOR AND INTERIOR OF THE ARCHITECTURAL HERITAGE AND MODERNITY

This article is devoted to the issue of architectural heritage and modern architecture of brick buildings and structures, the development of brick architecture from ancient times to the present. The issues of the evolution of the development of bricks as a building material are highlighted, which makes it possible to translate various architectural ideas into reality. The use of decorative elements on the walls and windows of facades is able to transform the appearance of any building for the better. Columns, keystones, arches, stucco moldings and consoles allow you to focus on the merits of the structure. Also to embody the most incredible ideas of architects. Thanks to new modern technologies for brick production, this building material is extremely popular and is often used by architects to create original forms.

The article analyzes the gradual development of the evolution of brick production, provides the characteristics of brick as a building material, considers the types of characteristics, the use of brick, depending on its purpose. The history of the use of brickwork, its place and significance in the architectural styles of different eras are considered and reflected. The use of brickwork in modern architecture and projects of various types: private and public facilities in different climatic conditions and in different areas. The collection and analysis of information in the field of brick production and brickwork was carried out. The author analyzes the characteristic types of decorative brickwork, the advantages and features of its use in the appearance of houses, the functional reasons for its use, the goals achieved by architects when using decorative brickwork. Based on the analysis of architectural projects, as well as trends in the development of materials for their use, a justification for the further use of various types of decorative masonry is carried out. Brick is an ecological, practical, reliable, easy-to-use, durable, strong, beautiful and aesthetic building material.

Keywords: architecture, decor, interior, exterior, brick, texture, decoration, buildings, structures, fireplace, production, building materials, walls, gothic, arcades, facade, baroque, decorative, embossed, patterned, masonry.

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

Стаття надійшла 28.11.2020 р.

УДК 811.111:69:72

Коваленко А. С., Гібаленко О. М., Бочарова О. А., Годун Т. Н.

ЛІНГВІСТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ АНГЛІЙСЬКИХ ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ У ГАЛУЗІ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Дана стаття присвячена дослідженню питання лінгвістичних прийомів при перекладі англійських архітектурно-будівельних термінів. Основами є переклад термінологічних систем англійських технічних термінів у галузі будівництва та архітектури. Переклад технічних текстів відрізняється від перекладу художньої літератури, газетних статей, документально-ділового матеріалу тощо. Науково-технічні тексти характеризуються особливим стилем. Характерною рисою сучасної науково-технічної літератури є використання скорочень та аббревіатур.

Наукові статті, як особливий жанр науково-технічної літератури, є об'єктом науково-технічного перекладу. Оскільки не всі науковці володіють англійською мовою на рівні, достатньому для написання наукового дослідження, велика кількість наукових статей потребує перекладу, який забезпечують фахівці. Тому у сучасній практиці є необхідність професійного перекладу сьогодні проявляється у всіх сферах технічної галузі. У тому числі ці послуги необхідні в будівництві. В даний час проблема перекладу текстів будівельної галузі є актуальною у зв'язку зі зростаючими обсягами переказів. При перекладі виникають труднощі, з якими доводиться стикатися технічним перекладачам, які працюють в різних іноземних компаніях і фірмах.

В даний час є велика необхідність виділити науково-технічний переклад не тільки як спеціальний вид перекладу і спеціальну теорію, яка досліджує цей вид діяльності, але й надати науково-технічному перекладу статус незалежної прикладної науки. Лінгвістичні особливості науково-технічних текстів базуються на їх стилістиці, граматиці і лексиці. Головне завдання науково-технічного перекладу – чітко і точно забезпечення читача інформацією.

Актуальність статті зумовлена потребою дослідження термінологічних систем та способи їх подолання при перекладі науково-технічних текстів архітектурно-будівельної галузі, зокрема на матеріалах наукових статей, вивчення специфіки вихідного тексту та взаємозв'язку тексту і перекладу. Архітектурно-будівельна лексика полягає в комплексному вивченні труднощів англо-українського перекладу термінологічних одиниць при перекладі науково-технічних текстів архітектурної та будівельної галузі.

Ключові слова: *архітектура, будівництво, дослідження, питання, лінгвістичні прийоми, переклад, англійський, архітектурно-будівельний, термін, галузь, проектування, термінологічність, наукові статті, технічний, інформація, учені, аналіз, творення.*

Науково-технічна сфера є однією з життєво важливих сфер діяльності людства. У зв'язку з бурхливим розвитком техніки та поширенням науково-технічної інформації виросло значення науково-технічного перекладу. Науково-технічні тексти призначені для збереження й передавання інформації, здобутої під час процесу наукового пізнання. Передові розробки та

Архітектура

інновації потребують створення й упорядкування термінологічних одиниць, які зазвичай відіграють важливу роль у комунікації фахівців.

Архітектурно-будівельна лексика становить самостійний сегмент в науковій картині світу людей, носіїв мови, тому представляє інтерес як для лінгвістів, архітекторів, будівельників всього світу. Вона об'єднує загальнолітературну лексику та спеціальні терміни, які називають поняття у архітектурі та будівництві, а також архітектурної діяльності.

Лінгвістичні дослідження термінологічних систем завжди на часі, адже розвиваються науково-технічні галузі, що спричинює появу нових термінів, а також є потреба в уніфікації наявних термінологічних ресурсів.

Методологічні дослідження термінології в мовознавстві пов'язані з іменами Б. М. Головіна, В. П. Даниленко, В. Л. Іващенко, Д. С. Лотте, Т. Р. Кияка, О. О. Реформатського, Л. О. Симоненко, Е. Ф. Скороходька, С. Д. Шелова та ін. Значна частина робіт являє собою лінгвістичний опис конкретних терміносистем, спрямований на виявлення структурно-семантичних особливостей термінолексики та її дослідження.

Терміни – це слова або словосполучення, які мають лінгвістичні властивості як і інші одиниці словникового складу. Відмінність терміна від звичайного слова залежить, перш за все, від його значення. Терміни виражають поняття науковооброблені і властиві лише конкретній галузі науки і техніки.

Терміни, які мають еквіваленти, відіграють важливу роль при перекладі текстів. Еквівалентні одиниці поділяються на одноквівалентні та багатоквівалентні. Одноквівалентні – це ті, які мають один відповідник. Наприклад,

<i>ball-flower ornament</i> –	<i>готичний орнамент у вигляді квітки з кулькою всередині, або орнамент у формі гуртка з трьома пелюстками всередині;</i>
<i>running dog</i> –	<i>класичний орнамент у вигляді безперервного ряду хвиль, які біжать одна за однією (часто використовується в обробці фризів)</i>
<i>laying of concrete</i> –	<i>укладання бетону;</i>
<i>concrete technology</i> –	<i>технологія бетону;</i>
<i>tunnel concrete technique</i> –	<i>технологія бетонування тунелів.</i>

Багатоквівалентні – це ті, які мають більше одного відповідника, наприклад:

<i>bower</i> –	<i>дача котедж, альтанка, помешкання;</i>
<i>pier</i> –	<i>простінок, стояк, стовп, бик(мосту)</i>

Архітектура

drum – а) подушка капітелі,
б) стрижень колони,
в) купол, барабан,
г) циліндричний блок;

He crossed to the bower of roses and he looked down up on the pallet set in its midst – Проїшов через альтанку і подивився на солом'яну постіль у центрі.

Термінологія виступає автономною частиною будь-якої мови (рис. 1). Вона тісно пов'язана із науковою та професійною діяльністю особистості. Терміни будь-якої галузі науки, техніки, виробництва складають власні терміносистеми. Вони виступають важливим складником науки та техніки, адже саме за допомогою термінів формуються наукові теорії, закони, догми, принципи та постулати.

Українські і зарубіжні учені (Д. С. Лотте, О. В. Суперанська, Л. О. Симоненко, Т. І. Панько) з'ясували, що появи термінології передуює час масового термінотворення. Саме тоді в окремих мовах накопичується достатня кількість тематично об'єднаних слів, що становлять одну систему понять.

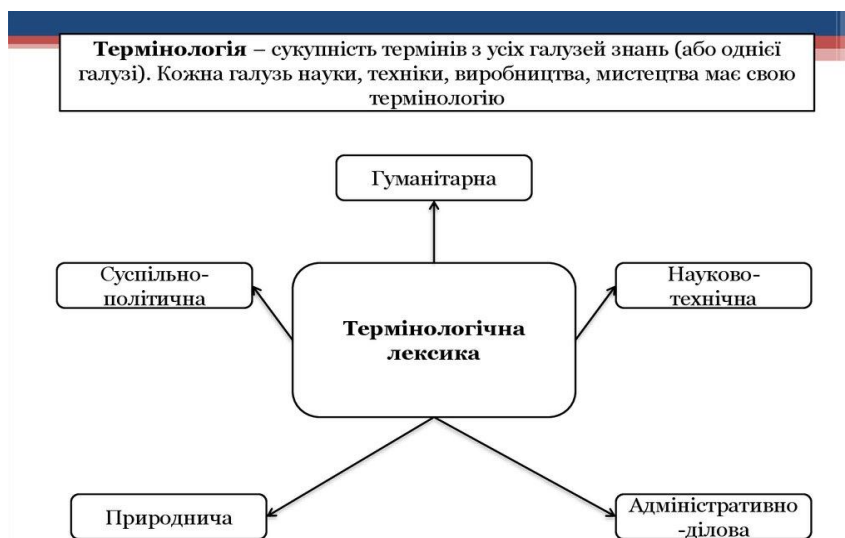


Рисунок 1 – Схема термінологічної лексики

Сучасна українська термінологія будівництва та архітектури потребує подальшого лінгвістичного аналізу, зокрема у лексико-семантичному аспекті. Отож, мета пропонованого дослідження: лінгвістичний аналіз лексико-семантичної парадигматики сучасної української термінології будівництва та архітектури.

Фахові експертні знання з галузі будівництва, архітектури та компонентний аналіз дефініцій термінів, представлених у лексикографічній праці: Архітектурно-будівельна енциклопедія, дали змогу виділити тематичні групи, які формують термінологічне поле будівництва та архітектури: назви технологічних процесів, технологічних операцій; назви будівельних матеріалів; назви властивостей та ознак будівельних матеріалів та конструкцій;

назви пристроїв, інструментів, інженерного та санітарно-технічного обладнання; назви нормативних та проєктувальних документів; назви будівельних професій та назви будівель, приміщень, їх конструктивних елементів; назви технологічних спеціальностей; назви галузей будівництва та суміжних наук; назви законів, теорій, положень. Терміни тематичних груп перебувають у взаємовідношеннях з погляду виконання певної функції (інструментарій дослідження, характеристика об'єкта дослідження, об'єкт дослідження).

У термінології будівництва та архітектури спостерігається поєднання в антонімічні пари слів, які в загальноживаній лексиці не є антонімами. Це свідчення відносної автономності термінологічної системи, порівняно з лексичною системою мови взагалі. Такі антоніми треба подавати в одній словниковій статті з метою встановлення адекватних асоціативних зв'язків. Наприклад, Утворення тріщин суттєво впливає на жорсткість залізобетонних елементів як під час згину, так і під час кручення.

У терміносистемі архітектури, будівництва антонімічні відношення найчастіше встановлюються між термінами, які позначають ознаки, якості та властивості: джерела походження – зовнішні, внутрішні; ступінь небезпеки – потенційний, реальний, безпосередній; об'єкт впливу – система в цілому, підсистема, елемент; масштаб впливу – глобальний, локальний; інтенсивність впливу – катастрофічна, інтенсивна, помірна, нейтральна; тривалість впливу – миттєва, короточасна, тривала. Якщо синонімія, полісемія чи паронімія – певною мірою небажані явища в термінології, то антонімія ніскільки не ускладнює терміносистему, а, навпаки, є засобом розмежування значень синонімічних, полісемічних чи паронімічних слів.

Синонімія – семантичне явище, яке вважається в лексиці однією з найважливіших системотвірних категорій поряд з антонімією. Синонімія в термінології має риси, які відрізняють її від синонімії в загальноживаній лексиці. Насамперед, це відсутність експресивних конотацій, різнорідність у плані знакового (семіотичного) вираження, стилістична диференціація в межах наукового стилю (власне академічний, науково-популярний), диференціація за сферами використання (різні ступені освіти: від початкової до академічної тощо).

Синонімія в термінології (і в термінології будівництва та архітектури, зокрема) зумовлена як лінгвістичними, так і екстралінгвістичними чинниками:

- 1) постійним розвитком наук, що супроводжується появою нових понять та бажанням дати кожному поняттю найточнішу номінацію;
- 2) неуніфікованістю термінології;
- 3) наявністю застарілих назв, які функціонують паралельно з новими;
- 4) відродженням вдалих термінів, які з певних причин не використано-увалися протягом якогось часу;
- 5) паралельним уживанням запозиченого й автохтонного термінів;
- 6) необхідністю мовної економії, що породжує синонімію різних структурних рівнів;
- 7) номінацією того самого поняття різними науковими школами чи вченими.

Синонімія в термінології характеризується за різними параметрами, проте поділ синонімів на повні (дублети) і часткові є основним, тому що відображає суть явища синонімії.

Повні синоніми (дублети, абсолютні синоніми) відзначаються тим, що вони цілком тотожні за своїм семантичним складом, наприклад: наріжні стільці (стендарі) – так називаються опори, на які укладали перший вінець зрубу [6]. Проте ці синоніми

Архітектура

розрізняються за частотою вживання (термін стандарі) вживається значно рідше. Ще один приклад: народна архітектурна метрологія (український модульор) – дюйм = 2,5 см; цалівка = 24 дюйми = 60 см; сажні: малий дорівнює 138,72 см; сажень маховий – відстань між розведеними в сторони руками людини; сажень великий народний дорівнює 231,20 см.

Ці терміносиноніми використовуються в різних стилях: народна архітектурна метрологія – в науковому, а український модульор – у професійному розмовному. Взагалі, на основі аналізу термінів будівництва можна констатувати, що в жодному з прикладів абсолютної синонімії не зафіксована повна взаємозамінюваність у всіх можливих контекстах та однакова сполучуваність на граматико-семантичному рівні.

Дублетна синонімія в термінології будівництва зумовлена:

- 1) паралельним функціонуванням питомого і запозиченого термінів (адсорбція – поглинання);
- 2) тісним зв'язком з розмовним мовленням (груба лата, звозденка);
- 3) номінацією у різних осередках професійного спілкування (селепровід, селескид).

У терміносистемі є випадки мовного вираження одного поняття термінами різних структурних типів: однословами, композитами, абрєвіатурами, словосполученнями, символами. За Б. Головіним, це синтаксична (структурна) синонімія [3].

У термінології будівництва та архітектури можна виділити синтаксичні синоніми таких типів:

- 1) слово + словосполучення. Напр.: паперошаруваті пластики – паперопластики, озокерит – гірський віск, споруда – будівельна система.
- 2) словосполучення + словосполучення. Напр.: розмічальні роботи – геодезичні розмічувальні роботи, сейсмостійке будівництво – антисейсмічне будівництво. Як правило, у словосполученнях опорне слово залишається незмінним.

Наявні в текстах будівельної тематики наявні і поняттєві (ідеографічні) синоніми: лата, обрешітка; палиця, дефект, недолік. Вони мають незначні відтінки у значеннях. Синоніми цього типу представлені в загальноповживаній і загальнонауковій лексиці, для власне термінологічної лексики такий тип синонімії не властивий, адже якщо є відтінки у значеннях, то це вже різні терміни.

Отже, підхід до розв'язання проблеми синонімії в термінології має бути диференційованим, адже, з одного боку, наявність багатьох лексичних відповідників до того самого поняття ускладнює спілкування в наукових колах (усне чи писемне), з іншого боку, синонімія є природним виявом розвитку лексики; крім того, синоніми з різними експліцитно вираженими ознаками семантичної структури можуть полегшити розуміння суті поняття [4].

Термінології будівництва властиве семантичне явище полісемії, яке передбачає наявність у слові кількох відмінних у логіко-предметному відношенні значень, що виступають його окремими варіантами, не розриваючи єдності лексичної одиниці. Одна лексема може бути виразником різних понять термінологічної і загальноповживаної лексики.

Спільні компоненти значення виражаються вербально в дефініціях або простежуються тільки на семантичному рівні. Наприклад:

- каблучок –*
- 1) *в ордерній архітектурі облом, що складається у переріз з вигнутої і ввігнутої дуг;*
 - 2) *архітектурна деталь, профіль якої являє собою поєднання двох кривих (вигнутої і ввігнутої), при цьому опукла*

Архітектура

(вигнута) дуга має більший винос порівняно з нижньою ввігнутою дугою (прямий каблучок); можливий і зворотний каблучок [4];

- канал –
- 1) частина комунікаційної системи, що з'єднує між собою джерело і приймач;
 - 2) наповнене водою штучне річище (для зрошування ґрунтів, судноплавства);
 - 3) вузький порожній довгий простір всередині чого-небудь (напр., вентиляційний канал);
 - 4) канал зв'язку (телеканал).

З одного боку, полісемія ускладнює наукове спілкування, тому в межах конкретного термінологічного поля її треба позбуватися, наскільки це можливо. Але, з іншого боку, багатозначність – це засіб мовної економії.

Для репрезентації нових понять, звичайно, можна створювати окремі терміни, проте “жодна мова не була б спроможна виражати кожен конкретну ідею самостійним словом або кореневим елементом. Конкретність досвіду безмежна, ресурси ж найбагатшої мови суворо обмежені” [5].

При внутрішньо-системній полісемії як твірний, так і похідний терміни (семантична деривація) належать терміносистемі будівництва. Цей тип полісемії характеризується в основному функціональними перенесеннями значення. “Якщо полісемія слова зумовлена образними (художніми за своєю природою) перенесеннями значень, то неоднозначність терміна пов'язана з різними сторонами досліджуваного об'єкта, співвідносного з даним терміном”, – цілком справедливо зауважує Б. О. Плотніков. Наприклад:

- каналізаційна мережа –
- 1) основна частина системи каналізації, що включає в себе підземні трубопроводи, колектори, які збирають стічні води з басейнів каналізування, наземні лотки та колодязі для збирання і відведення стічної з території населеного пункту або промислових підприємств;
 - 2) система трубопроводів, каналів або лотків та споруд на них, яка призначена для збирання та відведення стічних вод з певної території.

Характеристика і класифікація багатозначних термінів (слів) досить складна внаслідок складності і неідентичності їх семантичної структури.

Отже, термінологія будівництва та архітектури є підсистемою лексики літературної мови. Такі типи семантичних відношень, як синонімія, антонімія, полісемія в терміносистемі поряд із загальномовними тенденціями знаходять також і специфічну реалізацію (контекстуальні внутрішньо-системні синоніми, функціонування синонімів у номенклатурі, кількісний і якісний склад парадигм тощо), знання чого необхідне для нормування термінології. У перспективі нашого дослідження – аналіз класифікаційних відношень у терміносистемі будівництва та архітектури.

Архітектура

ВИСНОВКИ

1. Таким чином, архітектурно-будівельна лексика становить самостійний сегмент в науковій картині світу людей, носіїв мови, тому представляє інтерес як для лінгвістів, архітекторів, будівельників всього світу. Вона об'єднує загальнолітературну лексику та спеціальні терміни, які називають поняття у архітектурі та будівництві, а також архітектурної діяльності.

2. У терміносистемі архітектури та будівництва антонімічні відношення найчастіше встановлюються між термінами, які позначають ознаки, якості та властивості: джерела походження, ступінь небезпеки, об'єкт впливу, масштаб впливу, інтенсивність впливу та тривалість.

3. Отже, лінгвістичні дослідження термінологічних систем завжди на часі, адже розвиваються науково-технічні галузі, що спричинює появу нових термінів, а також є потреба в уніфікації наявних термінологічних ресурсів.

Список літератури:

1. *Карабан В. І.* Переклад англійської наукової і технічної літератури / *В. І. Карабан.* – Вінниця : Нова книга, 2002. – 564 с.
2. *Сухенко, К. М.* Лексичні проблеми перекладу / *К. М. Сухенко.* – К. : Вид-во Київ. ун-ту, 2000. – 124 с.
3. *Швейцер, А. Д.* Теория перевода : статус, проблемы, аспекты / *А. Д. Швейцер.* – М. : Наука, 2003. – 75с.
4. *Корунець, І. В.* Теорія і практика перекладу (аспектний переклад) : [підручник] / *І. В. Корунець.* – Вінниця : Нова книга, 2001. – 448 с.
5. Українсько-російський словник термінів будівництва і архітектури / *С. Жуковський, Р. Кінаш, Л. Полюга, В. Базилевич; за ред. Р. Кінаша.* – Львів : Ліга-Прес, 2007. – 488 с.
6. Український тлумачний словник будівельних термінів / *О. М. Лівінський [та ін.]; під ред. О. М. Лівінського.* – К. : МП Леся, 2006. – 528 с.
7. Архитектурно-строительная энциклопедия / *под ред. А. Б. Гольшера.* – К. : Основа, 2008. – 648 с.

Коваленко А. С., Гибаленко А. Н., Бочарова Е. А., Годун Т. Н.

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ АНГЛИЙСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ТЕРМИНОВ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Данная статья посвящена исследованию вопроса лингвистических приемов при переводе английских архитектурно-строительных терминов. Основами является перевод терминологических систем английских технических терминов в области строительства и архитектуры. Перевод технических текстов отличается от перевода художественной литературы, газетных статей, документально-делового материала. Научно-технические

Архітектура

тексты характеризуются особым стилем. Характерной чертой современной научно-технической литературы является использование сокращений и аббревиатур.

Научные статьи, как особый жанр научно-технической литературы, является объектом научно-технического перевода. Поскольку не все ученые владеют английским языком на уровне, достаточном для написания научного исследования, большое количество научных статей нуждается в переводе, который обеспечивают специалисты. Поэтому в современной практике необходимость профессионального перевода сегодня проявляется во всех сферах технической отрасли. В том числе эти услуги необходимы в строительстве. В настоящее время проблема перевода текстов строительной отрасли является актуальной в связи с растущими объемами переводов. При переводе возникают трудности, с которыми приходится сталкиваться техническим переводчикам, которые работают в различных иностранных компаниях и фирмах.

В настоящее время есть большая необходимость выделить научно-технический перевод не только как специальный вид перевода и специальную теорию, которая исследует этот вид деятельности, но и придать научно-техническому переводу статус независимого прикладной науки. Лингвистические особенности научно-технических текстов базируются на их стилистике, грамматике и лексике. Главная задача научно-технического перевода - четкое и точное обеспечение читателя информацией.

Актуальность статьи обусловлена необходимостью исследования терминологических систем и способы их преодоления при переводе научно-технических текстов архитектурно-строительной отрасли, в частности на материалах научных статей, изучение специфики исходного текста и взаимосвязи текста и перевода. Архитектурно-строительная лексика состоит в комплексном изучении проблем англо-украинского перевода терминологических единиц при переводе научно-технических текстов архитектурной и строительной отрасли.

Ключевые слова: архитектура, строительство, исследования, вопросы, лингвистические приемы, перевод, английский, архитектурно-строительный, срок, отрасль, проектирование, терминологичность, научные статьи, технический, информация, ученые, анализ, созидания.

Kovalenko A. S., Gibalenko O. M., Bocharova O. A., Hodun T. M.

LINGUISTIC RESEARCH OF TERMINOLOGICAL SYSTEMS ENGLISH TECHNICAL TERMS IN THE FIELD OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

This article is devoted to the study of the issue of linguistic techniques in the translation of English architectural and construction terms. The basics is the translation of terminological systems of English technical terms in the field of construction and architecture. Translation of technical texts is different from translation of fiction, newspaper articles, documentary business material, and the like. Scientific and technical texts are characterized by a special style. A characteristic feature of modern scientific and technical literature is the use of abbreviations and abbreviations.

Scientific articles, as a special genre of scientific and technical literature, are the object of scientific and technical translation. Since not all scientists speak English at a level sufficient to write a scientific research, a large number of scientific articles need translation, which is provided by specialists. Therefore, in modern practice, the need for professional translation today manifests

Архітектура

itself in all areas of the technical industry. Including these services are needed in construction. Currently, the problem of translating texts in the construction industry is relevant due to the growing volumes of translations. When translating, there are difficulties that technical translators who work in various foreign companies and firms have to face.

Currently, there is a great need to highlight scientific and technical translation not only as a special type of translation and a special theory that studies this type of activity, but also to give scientific and technical translation the status of an independent applied science. The linguistic characteristics of scientific and technical texts are based on their style, grammar and vocabulary. The main task of scientific and technical translation is to provide the reader with information clearly and accurately.

The relevance of the article is due to the need to study terminological systems and ways to overcome them when translating scientific and technical texts of the architectural and construction industry, in particular on the materials of scientific articles, studying the specifics of the source text and the relationship between text and translation. Architectural and construction vocabulary consists in a comprehensive study of the problems of the English-Ukrainian translation of terminological units in the translation of scientific and technical texts of the architectural and construction industry.

Keywords: *architecture, construction, research, questions, linguistic techniques, translation, English, architectural and construction, term, industry, design, terminology, scientific articles, technical, information, scientists, analysis, creation.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Суглобов В. В.
Стаття надійшла 30.11.2020 р.*

УДК 721.011.12

Коваленко А. С., Бочарова О. А., Годун Т. М.

ЗАСТОСУВАННЯ ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ БУДІВЕЛЬ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Стаття присвячена питанню застосування об'ємно-планувальних засобів при забезпеченні мікрокліматичних умов будівель цивільного призначення в якості використання аріума. Актуальність статті полягає в розробці принципів положень мобільного формування атріумного простору.

Атріумні простори - складова частина більшості сучасних престижних громадських будівель. Сьогодні вони займають чільне місце в структурі будь-якого значного ділового офісу або торгового центру. Атріуми зручні для відвідувачів. Їх простори запам'ятовується зовнішністю, характеризуються яскравим видом, великим масштабом, багатофункціональністю і особливим мікрокліматом. Атріуми часто унікальні по ряду новітніх архітектурних ідей. Одним із найважливішим значенням для композиції внутрішнього простору атріуму є система освітлення, обрана в кожному випадку індивідуально в залежності від характеру споруди, контингенту відвідувачів, а також від цілей освітлення, методів експозиції, передбачуваних витрат. Сучасний атріумний простір

Архітектура

повинен відповідати актуальному іміджу будівлі, сприяти залученню відвідувачів, відповідати вимогам інформативності і мати можливості швидкої зміни функцій.

У статті проведено дослідження атриумних просторів та їх застосування в цивільних будівлях. Розглянуті питання застосування об'ємно-планувальних засобів забезпечення мікрокліматичних умов будівель цивільного призначення в якості використання атриума.

Об'єктом проектування в архітектурі завжди є просторова форма. Безліч функцій проектованого об'єкта передбачає різноманіття просторових форм. Для того, щоб всі елементи складного комплексу були органічно пов'язані, часто виникає необхідність включення в планування будівлі об'єднуючий елемент - атриум.

Ключові слова: атриум, простір, освітлення, доцільність, структура атриума, будівля, елемент декору, будівельні матеріали, об'ємно-планувальні рішення, інтер'єрний простір, мобільні компоненти архітектурного середовища, просторова рухливість, конструктивний елемент, міцність, надійність, дослідження, експлуатаційні умови.

Стаття присвячена питанню застосування об'ємно-планувальних засобів забезпечення мікрокліматичних умов будівель цивільного призначення в якості використання атриума. Сучасний атриумний простір повинен відповідати актуальному іміджу будівлі, сприяти залученню відвідувачів, відповідати вимогам інформативності і мати можливості швидкої зміни функцій. Разом з тим, структура атриуму не завжди здатна своєчасно змінюватися з урахуванням цих вимог (рис. 1). Це протиріччя визначає необхідність пошуку шляхів мобільного зміни архітектурного середовища атриумного простору [3].

Мета статті полягає в розробці принципів положень мобільного формування атриумного простору. Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні завдання:

- провести уточнення терміну «атриум», визначити ознаки
- розглянути прототипи атриумних просторів.

У структурі атриуму завжди знаходилися компоненти. З моменту появи перших атриумів, їх простір наповнювалося об'єктами мистецтв і ремесел: картинами, скульптурами, меблями. Протягом довгого часу ці компоненти становили предметне наповнення. Зміни позначилися в 1970-і роки, коли в число засобів формування вигляду атриумів стали залучатися мобільні форми і об'єкти, близькі до архітектури, а також до різних областей мистецтва і науки, з їх новими естетичними і технологічними можливостями. В даний час мобільні компоненти архітектурного середовища (МКАС) відіграють важливу роль в створенні образу атриумного простору.

Зіставлення чинників зміни МКАС дозволило виявити групи властивостей, що відображають своєрідність компонентів:

- висока інформативність;
- реалізація спеціальних і додаткових функцій;
- розвинені художньо-просторові характеристики;
- просторова рухливість;
- конструктивна трансформація.

Багато атриумних будівель мають похилі дахи або криволінійні покриття. Такого роду форми оживляють ландшафт, вносячи різноманітність в чергування вертикальних і горизонтальних площин. Але не слід забувати і про труднощі, які вони викличуть. Для експлуатації похилих дахів необхідно влаштовувати спеціальні пристосування для їх

Архітектура

очищення, як зовнішні, так і внутрішні. Особливо важко обслуговувати зворотні схили в навісають частинах перекриття. Тому, перш ніж вибрати ту чи іншу конфігурацію покриття, слід ретельно продумати спосіб його очищення. Такий підхід може значно спростити проблему експлуатації атриуму. Конденсат, що утворюється в холодні ночі на внутрішній поверхні скла, легко видаляється з вертикальних стін, але з працею - з похилих поверхонь. В умовах холодного клімату слід спеціально продумати способи видалення конденсату.

Похилі даху створюють додаткові незручності, якщо вони розташовуються над дверними отворами. Від вертикальних закслених поверхонь краплі дощу зазвичай відскакують, а похилі поверхні збирають опади, тому над дверима в таких випадках необхідно влаштовувати водовідвідні лотки. У кліматичних зонах з випадання великої кількості снігу слід передбачати спеціальні пристрої для танення снігу або заслони, що перешкоджають утворенню снігових мішків.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Види атриумів:

а) простір атриуму; б) простір атриуму; в) освітлення атриум; г) зона атриуму

Усі будівлі мусять відповідати наступним вимогам: доцільності, функціональним, технічним, експлуатаційним, архітектурним, економічним, екологічним, спеціальним. Вимога доцільності стосується до доцільності у цілому. Під час архітектурно-будівельного проектування керуються нормами і правилами, у яких зосереджені історичний досвід, сучасні науково-технічні досягнення і настанови технічної політики, що забезпечують раціональні, безпечні економічні рішення. Доцільність – найбільш загальна вимога, тому їй підлеглі усі інші. Під функціональними вимогами мають на увазі відповідність будівель процесам, що протікають в них, тобто відповідність їхнім призначенням. Будівля, зокрема, має забезпечувати комфортне середовище для людини при здійсненні їм функцій, для яких ця будівля призначена по усіх своїх параметрах. Технічні вимоги включають, зокрема, інженерні: забезпечення розрахункової міцності, жорсткості і стійкості будівель. Міцність – збереження працездатності будівельних конструкцій без їхнього руйнування під дією навантажень; жорсткість – опір конструкцій у вигляді деформацій (малих переміщень) під дією навантажень; стійкість – здатність будівлі зберігати під дією навантажень первісну, проектну геометричну форму. Будівлі повинні мати витривалість, тобто збереження працездатності під дією гармонічних навантажень, також забезпечувати надійність – здатність безвідмовно виконувати інженерні і інші функції протягом заданого терміну їхньої служби.

До технічних відносять також вимоги щодо капітальності будівель, зокрема, їх довговічності, вогнестійкості. Довговічність будівлі – передбачений проектом термін її працездатності за умови нормальної експлуатації. Одними з найважливіших технічних вимог є протипожежні, котрі являють собою норми, що регламентують об'ємно - планувальні і конструктивні рішення будівель у відношенні пожежної безпеки. Важливе місце в технічних вимогах займають санітарно-технічні, що пред'являють до фізичних якостей середовища перебування людини: температури і вологості повітря в приміщеннях, їх чистоти, задоволенню звукового і зорового комфорту, забезпеченню достатньої інсоляції та природного освітлення приміщень. Ці вимоги залежать від місця будівництва. Тому через них враховують кліматичні параметри територій забудови. Експлуатаційні вимоги відносять до будівель під час їхнього використання і обслуговування. Тому вони тісно пов'язані з функціональними для житлових будинків та громадських будівель і споруд або технологічними для виробничих будівель і споруд вимогами, технічними зокрема, у відношенні надійності, ремонтпридатності, економічними наприклад, з боку експлуатаційних витрат на опалення приміщень, поточних ремонтів. Ці вимоги визначаються складом, розмірами і взаємним розташуванням приміщень, їх внутрішнім оздобленням, інженерно-технічним устаткуванням і санітарно-технічним обладнанням, зручністю монтажу і демонтажу функціонального чи технологічного обладнання тощо.

Архітектурні вимоги стосуються будівель в аспекті відповідності їх певній якості, що задовольняє естетичні потреби людей. Вимоги ці, однак, вельми різноманітні і містять всілякі сторони – історичний, соціальний, національний, етнічний, ландшафтний, побутовий і інші, досліджувані в дисциплінах з архітектурного проектування, історії архітектури, ландшафтної архітектури, соціології і інших навчальних дисциплін.

Економічні вимоги стосуються комплексу показників і характеризують будівлі по кошторисній вартості, трудовитратам, матеріаломісткості, термінам будівництва і ін. Проведенням техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) прийнятих рішень і порівнянням їх з аналогічними проектами забезпечують вибір оптимального варіанта за певними критеріями.

Це сприяє ефективності капітальних вкладень, зниженню кошторисної вартості, скороченню термінів будівництва, економії матеріалів. Врешті, економічні вимоги є вирішальними при виборі остаточного варіанта. Економічність будівель залежить від низки умов, з яких найважливішими є: відповідність розмірів будівель його проектній місткості або пропускній спроможності; застосовуваних раціональних конструкцій за їх розмірами і матеріалом, відповідних тим умовам, внутрішнім зусиллям у будівельних конструкціях, при яких вони будуть працювати, а також недопущення надлишків в архітектурному проектуванні та оздобленні; раціональна організація робіт, підвищення продуктивності праці, зниження накладних витрат.



Рисунок 2 – «Пасаж» в Одесі:

а) – галерея, б) елементи декору

Композиційне взаємодію просторових зон пасажу здійснюється за допомогою граничних елементів - точок переходу з однієї просторового середовища в іншу: з інтер'єру в зовнішній простір, із замкнутого внутрішнього двору або атриуму в торговий пасаж. Приклад місто Одеса (рис. 2). Фіксація таких точок планувальними і об'ємними засобами сприяє упорядкуванню зорового сприйняття, формування у відвідувача стійкого образу у вигляді пам'ятних, художньо повноцінних композицій. Найважливіше значення для композиції внутрішнього простору атриуму має система освітлення, обрана в кожному випадку індивідуально в залежності від характеру споруди, контингенту відвідувачів, а також від цілей освітлення, методів експозиції, передбачуваних витрат. Гармонійне єдність внутрішнього середовища пасажу забезпечується виконанням двох умов: просторової цілісності комунікаційного остова, тобто торгово-пішохідного молу, і варіабельності просторових структур складових підприємств на основі гнучкого планування і універсальності конструктивних рішень.

Визначено, що таке екологічно комфортне житлове середовище в сучасних умовах повинно формуватися з використанням раціональних прийомів архітектурного формоутворення, спрямованих на організацію стійкого зв'язку об'єму будівлі і природи:

– нетрадиційне рішення житлового будинку з інтегрованим взаємозв'язком інтер'єрних і екстер'єрних просторів;

Архітектура

- поєднання геометричних об'ємів та їх трансформація;
- органічне включення об'єму будинку в структуру ландшафту;
- імітація антропогенних і природних форм;
- оригінальне архітектурно-планувальне рішення житлового будинку з метою локалізації простору з використанням елементів зеленої архітектури.

У зв'язку з необхідністю вирішення енергозберігаючих завдань застосовуються різні прийоми включення будинку в рельєф: напівзаглиблені, що підносяться, врізані в схили, заглиблені і житлові будинки з наявністю внутрішніх двориків атріумів, а так само без них.

Розробка об'ємно-планувальних рішень громадських будівель є першим етапом їхнього проектування, що ґрунтується на комплексному врахуванні різнобічних вимог – функціональних, фізико-технічних, конструктивних, архітектурно-художніх і економічних. Формування об'ємно-планувальних рішень будівель визначають наступними основними чинниками:

- функціональним процесом і встановлюваним на його основі складом приміщень, геометричними параметрами, вимогами до їхнього угруповання, взаємозв'язку з умовами уніфікації планувальних і конструктивних елементів;

- містобудівними і природно-кліматичними умовами, включаючи особливості ділянки будівництва, його рельєфу, що оточує забудови, а також ландшафтними і іншими характеристиками місцевості;

- конструктивними особливостями проектованої будівлі, зв'язаними з величиною прольотів, висотою і іншими геометричними параметрами, матеріалом несівних і огорожувальних конструкцій;

- архітектурно-художніми задачами у зв'язку із соціальним змістом і значенням громадської будівлі в ансамблі забудови;

- економічністю об'ємно-планувального і конструктивного рішень;

- особливостями функціональної і технічної експлуатації.

Таким чином, основними вимогами до формування екологічних житлових будинків необхідно визначити такі:

- створення стійкого і надійного житлового середовища з високим рівнем екологічного, функціонального і естетичного комфорту;
- забезпечення безпечного функціонування інженерних систем життєзабезпечення та підтримання здоров'я мешканців;
- дбайливе ставлення до навколишнього середовища;
- застосування раціональних прийомів проектування;
- використання екологічно чистих будівельних матеріалів (конструкцій з дерева; місцевих, маловитратних за способом видобутку, переробки, перевезення);
- ефективне використання природних ресурсів та економія енергії;
- застосування природних біоінтенсивних технологій для переробки та утилізації органічних відходів для збільшення врожайності с/г культур;
- забезпечення економічної доступності.

ВИСНОВКИ

1. Питання вивчення дослідженні архітектурно-композиційної ролі мобільних компонентів в просторі атріуму і побудові системи підходів, що визначають формування атріумних просторів засобами мобільних компонентів архітектурного середовища.

Архітектура

2. Функціональна особливість взаємодії атріумного простору в загальному просторі будівлі є основою функціональної схеми атріуму, сформована базовими і спеціальними функціями простору, ускладнюється за рахунок введення нових додаткових функцій, які здійснюються мобільними компонентами. Додаткові функції не замінюють основні функції атріуму: орієнтацію, комунікацію і рекреацію, разом з тим, вони можуть підвищити ефективність їх реалізації.

3. Виявлені ознаки дали можливість проаналізувати ряд інтер'єрних просторів на відповідність визначенню атріумів. В результаті визначено - оранжереї, зимові сади, приміщення, освітлені zenітними ліхтарями, деякі вестибюлі і центральні зальні простору мають тільки схожі з атріумами ознаки і помилково зараховуються до їх числа.

4. Цілеспрямоване включення мобільних компонентів в архітектурне середовище атріуму може привести до зміни його функціональної основи, інформаційної та композиційно-просторової організації.

Список літератури:

1. Гібаленко, А. Н. Технологічність робіт забезпечення вторинного захисту металокопструкцій від корозії в умовах хімічно активних середовищ / А. Н. Гібаленко, В. А. Гібаленко, О. А. Бочарова // Сучасні будівельні копструкції з металу та деревини : зб. наук. пр. / Одеська держ. академія будівництва та архітектури. – Одеса, 2020. – Вип. 24. – С. 28–35.

2. Gibalenko, O. Anticorrosive protection of structures in robust design / O. Gibalenko, V. Gibalenko, O. Bocharova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Vol. 5, N 12 (107). – P. 66–72. – Mode of access: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/214821>

3. Коваленко, А. С. Напряженно-деформированное состояние и повреждаемость элементов конструкций при постепенных отказах / А. С. Коваленко // Захист металургійних машин від поломок : зб. наук. праць. – Маріуполь, 2010. – Вип. 12. – С. 40–46.

4. Рускевич, Н. Л. Справочник по основи типології дизайну архітектурного середовища / Н. Л. Рускевич – Київ : Освіта, 2007. – 385 с.

5. Сербинович, П. П. Основи типології дизайну архітектурного середовища / П. П. Сербинович. – Київ : Освіта, 2011. – 369 с.

Коваленко А. С., Бочарова Е. А., Годун Т. Н.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Статья посвящена вопросу применения объемно-планировочных средств при обеспечении микроклиматических условий зданий гражданского назначения в качестве использования атриума. Актуальность статьи заключается в разработке принципиальных положений мобильного формирования атриумного пространства.

Атриумные пространства - составная часть большинства современных престижных общественных зданий. Сегодня они занимают видное место в структуре любого значительного делового офиса или торгового центра. Атриумы удобные для посетителей. Их пространства запоминающейся внешностью, характеризуются ярким видом, большим масштабом, многофункциональностью и особым микроклиматом. Атриумы

Архітектура

часто уникальные по ряду новейших архитектурных идей. Одним из важнейшим значением для композиции внутреннего пространства атриума является система освещения, выбранная в каждом случае индивидуально в зависимости от характера сооружения, контингента посетителей, а также от целей освещения, методов экспозиции, предполагаемых расходов. Современный атриумное пространство должно соответствовать актуальному имиджу здания, способствовать привлечению посетителей, отвечать требованиям информативности и иметь возможности быстрого изменения функций.

В статье проведено исследование атриумных пространств и их применение в гражданских зданиях. Рассмотрены вопросы применения объемно-планировочных средств обеспечения микроклиматических условий зданий гражданского назначения в качестве использования атриума.

Объектом проектирования в архитектуре всегда пространственная форма. Множество функций проектируемого объекта предусматривает многообразие пространственных форм. Для того, чтобы все элементы сложного комплекса были органически связаны, часто возникает необходимость включения в планировку здания объединяющий элемент - атриум.

Ключевые слова: *атриум, пространство, освещение, целесообразность, структура атриума, здание, элемент декора, строительные материалы, объемно-планировочные решения, интерьерный пространство, мобильные компоненты архитектурной среды, пространственная подвижность, конструктивный элемент, прочность, надежность, исследования, эксплуатационные условия.*

Kovalenko A. S., Bocharova O. A., Hodun T. M.

APPLICATION OF VOLUME-PLANNING MEANS OF PROVIDING MICROCLIMATE CONDITIONS OF CIVIL BUILDINGS

The article is devoted to the issue of the use of space-planning means while ensuring the microclimatic conditions of civil buildings as the use of atrium. The relevance of the article lies in the development of the fundamental provisions of the mobile formation of the atrium space.

Atrium spaces are an integral part of most modern prestigious public buildings. Today, they figure prominently in the structure of any significant business office or shopping center. Visitor-friendly atriums. Their spaces have a memorable appearance, are characterized by a bright appearance, large scale, versatility and a special microclimate. Atriums are often unique in a number of the latest architectural ideas. One of the most important values for the composition of the interior space of the atrium is the lighting system, chosen in each case individually, depending on the nature of the structure, the contingent of visitors, as well as on the purposes of lighting, methods of exposure, and estimated costs. A modern atrium space should correspond to the current image of the building, help attract visitors, meet the requirements of information content and be able to quickly change functions.

The article deals with a study of atrium spaces and their application in civil buildings. The questions of the use of space-planning means of ensuring the microclimatic conditions of civil buildings as the use of atrium are considered.

The object of design in architecture is always a spatial form. The set of functions of the

designed object provides for a variety of spatial forms. In order for all the elements of a complex complex to be organically connected, it is often necessary to include a unifying element in the layout of the building - the atrium.

Keywords: *arthrium, space, lighting, expediency, atrium structure, building, decor element, building materials, spatial planning solutions, interior space, mobile components of architectural environment, spatial mobility, structural element, strength, reliability, research, operating conditions.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Суглобов В. В.
Стаття надійшла 27.10.2020 р.*

УДК 725.57:721.011

Коваленко А. С., Бочарова О. А., Годун Т. Н.

АРХІТЕКТУРНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЗАХОДИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДИТЯЧИХ УСТАНОВ НОВОГО ТИПУ

Дана стаття присвячена питанню архітектурних та конструктивних заходів при проектуванні дитячих установ нового типу у нашої країні. У сучасній практиці проектування і будівництва виникає серйозна проблема в області архітектури дитячих установ. На сьогоднішній день ці будівлі, побудовані за типовими проектами радянського періоду, багато в чому не відповідають сучасним вимогам. У сучасній практиці проектування і будівництва виникає серйозна проблема в області архітектури дитячих установ. Питанню дослідження архітектурно-художніх аспектів формування дитячих дошкільних установ присвячено декілька дисертацій, але це питанн потрібно розвивати і приймати при проектуванні бачення дитячих установ не тільки, як місця безпечного перебування дитини, а як освітньої та розвиваючої установи для особистого формування, виховання і соціалізації дітей.

У статті проаналізовані архітектурно-планувальні рішення будівлі дитячих установ в Західній Європі. Сучасні тенденції проектування дитячих установ з застосуванням композиційних матеріалів простежуються в ряді будинків, зведених в останнє десятиліття. Завдяки високій і стабільній якості, легкості, високої міцності, ідеальної гладкості і довговічності композитних панелей завоювали популярність у всьому світі як один з найбільш підходящих матеріалів для екстер'єрної і інтер'єрного облицювання будівель. Архітектурні та конструктивні заходи при проектуванні дитячих установ нового типу для регіонів нашої країни однозначно повинні використовувати концептуальні підходи із зарубіжних прикладів.

Ключові слова: *архітектура, інтер'єр, дитячі установи, функціональність, проблема, приклад, архітектурні та конструктивні заходи, проектування, новий тип, композиційні панелі, світло і колір, фактор, будівля.*

Кожен тип будівлі – це архітектурна відповідь на запит суспільства, що потребує матеріального середовища для організації соціальних процесів. Дитячі установи не виняток, а скоріше – об'єкт, який в архітектурі найбільш яскраво відображає тенденції суспільного

розвитку. У сучасній практиці проектування і будівництва виникає серйозна проблема в області архітектури дитячих установ.

На сьогоднішній день ці будівлі, побудовані за типовими проектами радянського періоду, багато в чому не відповідають сучасним вимогам. Типологічна еволюція установ демонструє це зміною спектру зведених будинків по місткості і за призначенням, і за планувальною організацією. Зовнішність дитячих установ повинна бути як своєрідний посил до дії вихователям і батькам - навчити і розвинути в дітях особистість, зацікавити, прищепити бажання жити і радіти навколишньому світу. Зараз, потрібно розвивати і приймати як належне при проектуванні бачення дитячих установ не тільки, як місця безпечного перебування дитини, але як освітньої та розвиваючої установи для особистого формування, виховання і соціалізації дітей.

Не можна сказати, що немає теоретичних робіт в цій галузі, написані дисертаційні дослідження, навчальні посібники та підручники, виконані аналітичні роботи. Наприклад, питання дослідження архітектурно-художніх аспектів формування дитячих дошкільних установ присвячена дисертація А. О. Кадурін [2], величезну роботу по дослідженню та аналізу конкретної проектної ситуації та аналізу міжнародного досвіду у вирішенні інтер'єрів дитячих садків. Проектування дитячого середовища, зокрема середовища дитячої установи, в якій дитина проводить значну частину свого життя, є нагальним завданням і найважливішою проблемою, яка стоїть в даний час перед людством.

Архітектурні та конструктивні заходи при проектуванні дитячих установ нового типу для регіонів нашої країни однозначно повинні використовувати концептуальні підходи із зарубіжних прикладів. Для загального розвитку запропоновані дитячі центри Європи з застосуванням композиційних панелей (рис. 1).



Рисунок 1 – Дитячі центри в Данії з застосуванням композиційних панелей:

а) Дитячий центр Forfatterhuset в Данії (побудовано у 2014 році);

б) Дитячий центр «Сонячний дім» в Данії (побудований 2010 році)

Сьогодні будівлі повинні бути не тільки функціональними і красивими, але і відповідати вимогам довговічності, енергоефективності, практичності, екологічності та архітектурно-планувального формування будівлі. Всі ці вимоги, на щастя, набувають все більш важливе значення і в перспективі передбачають стати невід'ємною частиною кожного проекту. Сьогодні найбільший відсоток енергоефективних будівель - це громадські та

виробничі будівлі. Що стосується екологічно стійких дитячих установ, то їх поки не так багато. А тим часом, дитячі садки, дитячі центри для дітей з обмеженими можливостями – це як раз ті будівлі, які повинні бути саме такими. Сучасні тенденції проектування дитячих установ простежуються в ряді будинків, зведених в останнє десятиліття в Західній Європі.

Використання і застосування композитних панелей будь-якої будівлі стала користуватися великою популярністю. Обумовлено це відмінними властивостями і характеристиками матеріалу. У статті пропонується використання саме цього матеріалу при проектуванні дитячих установ нового типу. Напевно багатьох цікавить питання: чому саме використання композитних панелей?

Панелі цього виду є сучасним облицювальним матеріалом. Ці композитні панелі часто використовуються для оформлення фасадів, також застосовуються для внутрішньої обробки. Дизайнери нерідко застосовують цей матеріал для створення незвичайних інтер'єрів і композицій.

Виготовляють ці панелі з двох шарів алюмінію і одного шару усередині, який приблизно на 90 % може складатися з наповнювача. Він виконує теплоізоляційну функцію. Такий листовий піриг легкий, що дозволяє його просто монтувати. Окрім цього він має антикорозійні властивості. Корозійна стійкість дозволяє експлуатувати вироби і конструкції з композитів в умовах підвищеної вологості і морського клімату, як для нашого регіону. А тепер більш докладніше.

Композитні панелі називаються так тому, що складаються з декількох шарів. Завдяки складу матеріалу можна не виконувати додаткове утеплення і ізоляцію будови, так як одним з шарів є утеплювач. Послуги з облицювання фасадів композитними алюмінієвими панелями має низку характеристик:

Вологостійкість. Композитні панелі не здатні вбирати вологу через властивостей і щільної структури самого металу. Також допомагають підвищити вологостійкість і шари полімерної фарби і захисної плівки, якими покривається поверхню.

Вогнестійкість. Панелі не горять і не здатні реагувати деформацією на вплив прямого джерела вогню. Алюміній вважається м'яким металом, але від високої температури не втрачає щільність своєї структури і властивості.

Морозостійкість. Завдяки тому, що алюміній має щільну структуру, він не здатний реагувати на низькі температурні режими. З цієї причини панелі широко використовуються для обробки фасадів в регіонах з суворими кліматичними умовами.

Практичність. Особливого догляду алюмінієві композитні панелі не вимагають. Їх поверхня не здатна вбирати бруд і завдяки цьому очищати матеріал не потрібно часто.

Довговічність. Послуги з облицювання фасадів композитними панелями служить дуже тривалий проміжок часу. Термін експлуатації матеріалу становить не менше 20 років. Тут також є певні правила, завдяки яким при виконанні правильного монтажу панелі прослужать набагато довше.

Герметичність. Панелі при якісному монтажі здатні надійно утримувати тепло всередині будинку, так як вони мають спеціальні замки і кріплення, які дозволяють надійно скріпити кожен елемент оздоблення. Також облицювання будинку композитними панелями характеризується простим і швидким монтажем (рис. 2).

Архітектура

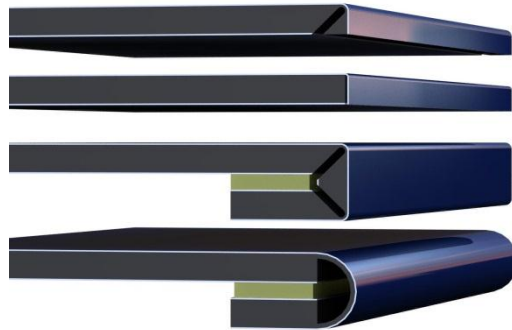


Рисунок 2 – Види кріплення композитних панелей

Їх головних переваг можна відмітити наступні:

- Панелі трохи важать, що дозволяє легко і швидко здійснювати монтаж. Технологія установки досить проста, тому можна обійтися своїми силами.
- Термін експлуатації дуже великої. В середньому це складає 50 років і це при умові, що панелі використовуються для зовнішньої обробки.
- З часом панелі не поміняють колір, тому що стійкі до ультрафіолетового випромінювання (рис. 3).
- Тиск на стіни буде невеликим із-за маленької ваги панелей.
- Для панелей характерна стійкість до вібрацій і підвищені властивості шумоізоляції.
- Найголовніше – не вимогливість у відході. Можна зрідка очищати від бруду і пилу матеріал. Він навіть може очищатися шляхом природних опадів. Через десятки років він все одно буде таким же яскравим і насиченим.



Рисунок 3 – Багата колірна гама композитних панелей

Основні сфери використання композитних панелей:

- В будівництві – для монтажу навісних вентиляваних фасадів у всіх типах будинків;

Архітектура

- В екстер'єрі – як облицювальний матеріал зовнішніх стін. Застосовується для закладів громадського користування – автозаправні станції, вокзал, автомийки, дорожні конструкції і інше;
- В інтер'єрі – для створення ексклюзивних дизайнів офісів, житлових будинків, торгових центрів;
- У рекламі – вітрини, щити для реклами, вивіски.

Основні переваги композитних панелей:

1. Довговічність
2. Стійкість до агресивного зовнішнього середовища і УФ-випромінювання
3. Жорсткість і легкість
4. Показники звукопоглинання і віброізоляції
5. Легкість обробки
6. Краса
7. Швидкість монтажу.
8. При всіх своїх перевагах, композитні панелі мають більш високу ціну в порівнянні з такими матеріалами, як фіброцемент, алюмінієвий і сталевий лист. Але в комплексі витрат на тривалий період (розробка проекту, якісний матеріал, установка, обслуговування) вкладені кошти в композитних панелей багаторазово окупаються в ході експлуатації об'єктів.

Завдяки високій і стабільній якості, легкості, високої міцності, ідеальній гладкості і довговічності композитних панелей завоювали популярність у всьому світі як один з найбільш підходящих матеріалів для екстер'єрної і інтер'єрної оцінки будівель.

Такі панелі використовувалися при будівництві:

1. Одного з найдорожчих готелів у світі – Бурж Аль Араб в Дубаї, ОАЕ.
2. Міжнародного аеропорту в Мельбурні, Австралія.
3. Будівлі парламенту Індонезії в Джакарті.
4. Міністерства транспорту Індонезії в Джакарті.
5. Королівського дитячого госпіталю в Австралії.
6. Дитячого центру в Данії.
7. Офісного будинку Ройал-Банку в Онтаріо, Канада.
8. Будівлі Національного банку Малайзії в Куала Лумпур.
9. Заводу Моторола в Малайзії.
10. Міжнародного аеропорту Тайпей в Тайвані.
11. Міжнародного аеропорту Дубаї в ОАЕ.
12. Будинку Сіті Тауер в Бангкоку, Таїланд.

В сучасних дитячих установах необхідно передбачити приміщення загальнорозвиваючого призначення (ізостудії, галереї, лінгвістичні класи і т.п.) які являють собою не менш цікаві можливості для організації короточасних груп мобільного, багатофункціонального і універсального простору для дітей різних вікових груп. Тому є сенс у створенні нового мобільного, універсального простору за рахунок поділу одного великого зального простору на приміщення для кожної вікової групи і об'єднання цих приміщень кімнатами загального користування (музичний клас, ізостудія, клас історії рідного краю, скульптура, буфет). Також характер архітектури будівлі визначився не тільки його компонуванням, а й активним включенням елементів інженерно-технічних пристроїв в структуру композиції.

Архітектура



Рисунок 4 – Кольорова композиція дитячої установи

Таким чином, сама архітектурна форма дитячого закладу повинна бути максимально наближена до людини. Це досягається масштабністю і геометрією приміщень і будівлі в цілому, вирішеною в органічному ключі і з «теплых», довговічних та практичних матеріалів, таких як композитні панелі.

Найважливішим композиційним засобом у руках архітектора при проектуванні також є колір. Світло і колір – невіддільні і навколишній світ сприймається кольоровим завдяки променям світла, що відбиваються від небосхилу, різних предметів. Людський зір має чудову функцію сприймати весь світ кольоровим (рис. 4). Але колір може викликати не тільки позитивні емоції, а й негативні. Завданням архітектора, який розробляє композицію кольорів, є досягнення максимального сприяння кольорів для покращення життєдіяльності людини. Тому переважно одним із факторів, що впливають на композицію будівель дитячих дошкільних установ – є вибір кольорової гами будівлі.

ВИСНОВКИ

1. Таким чином, зовнішність дитячих установ повинна бути як своєрідний посил до дії вихователям і батькам - навчити і розвинути в дітях особистість, зацікавити, прищепити бажання жити і радіти навколишньому світу.

2. Виявлення проблем архітектурних та конструктивних заходів при проектуванні дитячих установ нового типу в Україні, з визначенням шляхів їх вирішення на основі використання зарубіжного досвіду проектування інноваційних дитячих установ.

3. Дизайнерський підхід до проектування дитячих установ з довговічності та практичності використаних матеріалів, таких як композитні панелі згідно державних будівельних норм України ДБН В.2.2-4-97 «Будинки і споруди дитячих дошкільних установ».

Архітектура

Список літератури:

1. *Кліменко, В. З.* Випробування конструкцій, обстеження та моніторинг будівель і споруд / *В. З. Кліменко, І. Д. Бєлов.* – Київ : Кондор, 2015. – 572 с.
2. *Кадурина, А. О.* Архитектурно-художественные аспекты формирования детских дошкольных учреждений : автореф. дис. ... канд. архитектуры : 18.00.01 / *Кадурина Антонина Олеговна.* – Киев, 2005. – 20 с.
3. *Алиева, Э. Ф.* Проектирование пространства и архитектуры современных дошкольных образовательных учреждений Германии / *Э. Ф. Алиева, О. Р. Радионова.* – М. : Высш. школа, 2011. – 256 с.
4. *Мартовицкая, А. А.* Архитектура для детей / *А. А. Мартовицкая.* – 2015. – Speech. – № 14. – С. 16–37.
5. *Кудрявцева, С. П.* Возможности реализации принципов энергосбережения в условиях астраханского региона с учетом опыта стран Евросоюза / *С. П. Кудрявцева, Н. С. Долотказина* // Перспективы развития строительного комплекса. – М., 2014. – С. 3–12.

Коваленко А. С., Бочарова О. А. Годун Т. М.

АРХІТЕКТУРНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЗАХОДИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДИТЯЧИХ УСТАНОВ НОВОГО ТИПУ

Дана стаття присвячена питанню архітектурних та конструктивних заходів при проектуванні дитячих установ нового типу у нашої країні. У сучасній практиці проектування і будівництва виникає серйозна проблема в області архітектури дитячих установ. На сьогоднішній день ці будівлі, побудовані за типовими проектами радянського періоду, багато в чому не відповідають сучасним вимогам. У сучасній практиці проектування і будівництва виникає серйозна проблема в області архітектури дитячих установ. Питанню дослідження архітектурно-художніх аспектів формування дитячих дошкільних установ присвячено декілька дисертацій, але це питанн потрібно розвивати і приймати при проектуванні бачення дитячих установ не тільки, як місця безпечного перебування дитини, а як освітньої та розвиваючої установи для особистого формування, виховання і соціалізації дітей.

У статті проаналізовані архітектурно-планувальні рішення будівлі дитячих установ в Західній Європі. Сучасні тенденції проектування дитячих установ з застосуванням композиційних матеріалів простежуються в ряді будинків, зведених в останнє десятиліття. Завдяки високій і стабільній якості, легкості, високій міцності, ідеальній гладкості і довговічності композитних панелей завоювали популярність у всьому світі як один з найбільш підходящих матеріалів для екстер'єрної і інтер'єрного облицювання будівель. Архітектурні та конструктивні заходи при проектуванні дитячих установ нового типу для регіонів нашої країни однозначно повинні використовувати концептуальні підходи із зарубіжних прикладів.

Ключові слова: *архітектура, інтер'єр, дитячі установи, функціональність, проблема, приклад, архітектурні та конструктивні, заходи, проектування, новий тип, композиційні панелі, світло і колір, фактор, будівля.*

ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTIVE MEASURES WHEN DESIGNING NEW TYPE CHILDREN'S INSTITUTIONS

This article is devoted to the issue of architectural and constructive measures in the design of a new type of children's institutions in our country. In the modern practice of design and construction, a serious problem arises in the field of architecture of children's institutions. Today, these buildings, built according to projects of the Soviet period, largely do not meet modern requirements. In the modern practice of design and construction, a serious problem arises in the field of architecture of children's institutions. Several dissertations are devoted to the question of researching the architectural and artistic aspects of the formation of preschool institutions, but this issue needs to be developed and adopted in the design of the vision of children's institutions not only as a safe place for a child, but as an educational and developmental institution for the personal formation, upbringing and socialization of children.

The article analyzes the architectural and planning solutions for the building of children's institutions in Western Europe. Modern trends in the design of children's institutions using composite materials can be traced in a number of houses built in the last decade. Due to their high and stable quality, lightness, high strength, perfect smoothness and durability, composite panels have gained popularity all over the world as one of the most suitable materials for exterior and interior cladding of buildings. Architectural and constructive measures in the design of children's institutions of a new type for the regions of our country should definitely use conceptual approaches from foreign examples.

Keywords: *childcare, functionality, problem, example, architectural, constructive, events, design, new type, composite panels, light and color, factor, building.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Суглобов В. В.
Стаття надійшла 30.11.2020 р.*

УДК 004.312.2

Сілі І. І., Азархов О. Ю., Федюшко Ю. М., Головаха Р. В.

ФЕТАЛЬНИЙ ПУЛЬСОМЕТР З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ УПРАВЛІННЯМ

Частота серцевих скорочень плода є важливим біологічним показником для оцінки стану самопочуття плода вагітної жінки. Коли серце б'ється, воно перекачує кисневу кров по всьому тілу організму. Адекватність оксигенації плода важлива для запобігання гіпоксії, яка впливає на все тіло. Якщо виникає гіпоксія, це може призвести до зменшення мозкового кровотоку плода. Отже, моніторинг серцебиття здатний розпізнати асфіксію плода. Таким чином моніторинг серцебиття здатний розпізнати асфіксію плода. Дана робота присвячена розробці фетального пульсометра (ФЕП), який можна використовувати вагітній матері в домашніх умовах. Для розробки монітора серцевого ритму плода нами запропоновано п'ять кроків: 1) збір даних; 2) попередня обробка даних; 3) передача даних в мікроконтролер; 4) подальша обробка та 5) відображення результату на LCD дисплеї. Конденсаторний мікрофон використовується як датчик для отримання серцевого звуку плода. Мікрофон отримує дані, після чого проходить попередню обробку, яка включає посилення та фільтрацію за допомогою фільтра низької частоти четвертого порядку Баттерворта. Операційний підсилювач використовується для попереднього посилення під час фільтрації, ми використали операційний підсилювач LM741. Апарати на базі сучасних мікроконтролерів AVR в біоінженерії знаходять все більше застосування. Відомий мікропроцесор ATmega 328 в платах Ардуіно свого часу здійснив революцію в цифровій електроніці, а платформа Ардуіно все частіше застосовується при розробці нових біомедичних приладів. До переваг слід віднести простоту програмування, невисока вартість, маленькі габарити, достатня кількість цифрових та аналогових входів-виходів. Сигнал, який отримується після етапу попередньої обробки, надсилається до мікроконтролеру (ATmega328) для обчислення та передачі даних шляхом розробки алгоритму, щоб комп'ютер міг зчитувати сигнал. На фінальному етапі, вихід (частота серцевих скорочень плода) відображається на LCD-дисплеї.

Ключові слова: фетальний пульсометр (ФЕП), конденсаторний мікрофон, операційний підсилювач, мікроконтролер, біологічний показник, серцебиття.

Постановка проблеми. Серце і система кровообігу - це одні із раних органів, які розвиваються у плода. Перший удар серця у плода спостерігаються на 3-му тижні життя [1]. Існують відмінності в анатомії та фізіології серця плода та серця новонародженого. Під час вагітності кровообіг серця плода відрізняється від кровообігу серця новонароджених. Кисень надходить до плоду лише через плаценту, тому серце виконує функцію лише перекачування кисневої крові по всьому тілу, включаючи легені [2]. Однак легені забезпечують киснем серце новонародженого так само, як і у дорослих.

Частота серцевих скорочень плода - це дуже важливий параметр, який можна контролювати, і який виступає в якості показника для оцінки стану плода [3]. Під час вагітності іншим способом дізнатись про самопочуття плода є використання контролю за рухом плода. Однак даний метод має багато недоліків. В будь якому випадку важливо проводити моніторинг плоду, оскільки на цьому етапі можна вжити превентивні заходи, у

тому випадку, коли будуть виявлені порушення серцевого ритму плода, що можуть призводити до недозрівання або викидня. Інший важливий аспект це спостереження за тими майбутніми матерями, які перебувають у групі високого ризику або раніше вже перенесли викидень.

Коли серце б'ється, воно перекачує кисневу кров по всьому тілу організму. Адекватність оксигенації плода важлива для запобігання гіпоксії, яка впливає на все тіло. Якщо виникає гіпоксія, це може призвести до зменшення мозкового кровотоку плода. Отже, моніторинг серцебиття здатний розпізнати асфіксію плода [4]. Асфіксія плода це досить тяжкий стан, що може призвести до неврологічних пошкоджень або навіть загибелі дитини. Крім того, моніторинг серцебиття дитини може вирішити дві проблеми, які слугують скринінговим тестом на важку асфіксію і дозволяють розпізнати ранню асфіксію, щоб своєчасне акушерське втручання допомогло уникнути пошкодження мозку або смерті новонародженого, спричиненого асфіксією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз останніх досліджень свідчить, що спроби визначити серцебиття плоду в утробі матері є в більшості випадків досить успішні. В даний час основним методом оцінки стану плода під час пологів, є кардіотокографія (КТГ) [5]. Безперервний моніторинг серцевої діяльності плода за допомогою розроблених в кінці 1960-х рр. скальпелектродів, які можна прикладати на головку плоду, привів до величезної кількості досліджень по вивченню взаємовідносин між зміною частоти серцевих скорочень плода (ЧСС) і характером перебігу пологів. В [6] встановили, що ультразвукова доплерографія судин плода, артерії пуповини і маткових артерій недостатньо специфічна щодо гіпоксичного стану плода.

Можливість застосування фетальної пульсоксиметрії також вивчається протягом останніх 10 років, проте її потенційне клінічне значення як і раніше є неоднозначним. Зберігаються суперечки щодо того, наскільки точно результати пульсоксиметрії відображають рівень ацидемії. Таким чином, в даний час немає чітких критеріїв оцінки стану плода в пологах. Кожен з перерахованих методів фетального моніторингу не забезпечує окремо адекватної оцінки стану плода в пологах, що диктує необхідність комплексного обліку даних основних взаємодоповнюючих методів фетального моніторингу. Завдяки постійному прогресу технічних, діагностичних і лікувальних можливостей сучасної медицини методи оцінки стану плода в пологах будуть завжди залишатися розвиваючою областю перинаталогії, а широкий спектр недорогих електронних компонентів дозволяє створити прості, зручні, автономні та досить прецензійні прилади для виміру серцевих скорочень малюка.

Апарати на базі сучасних мікроконтролерів AVR в біоінженерії знаходить все більше застосування [7]. Відомий мікропроцесор ATmega 328 в платах Ардуіно свого часу здійснив революцію в цифровій електроніці, а платформа Ардуіно все частіше застосовується при розробці нових біомедичних приладів [8]. До переваг слід віднести простоту програмування, невисока вартість, маленькі габарити, достатня кількість цифрових та аналогових входів-виходів. Саме цю платформу ми будемо використовувати в нашій моделі.

Мета (завдання) дослідження. У цьому дослідженні ми представляємо нашу конструкцію нового компактного та недорогого фетального пульсометра (ФЕП) на основі конденсаторного мікрофона та мікроконтролера Arduino. Результатом ФЕП є середній пульс плода, який може відображатися на LCD-дисплеї.

Основний матеріал дослідження. На рисунку 1 показано загальну блок-схему всієї системи для апаратної реалізації. Вона складається з п'яти етапів: збір даних, попередня обробка даних, подача на мікроконтролер, цифрова обробка та відображення.



Рисунок 1 – Блок-схема роботи фетального пульсометра

Етап збору даних складається з одного конденсаторного мікрофона, який діє як датчик для виявлення та отримання серцевого звуку дитини. Звук, який виробляє серце плода, не чути людським слухом. Отже, для отримання сигналу потрібен носій. Конденсаторний мікрофон, здатний реагувати на звуки всіх частот у широкому частотному діапазоні до 20 кГц. Частота серцевого звуку плода до 200 Гц [5], тому була обрана гранична частота 200 Гц.

Попередня обробка даних складається з підсилювача та фільтра. Операційний підсилювач, який використовується для посилення - NE5532. Імітація схеми попереднього підсилення та фільтрації проводилася за допомогою програмного забезпечення Multisim окремо. Схему було зроблено на основі ескізу із використанням програмного забезпечення, результат моделювання показаний на рисунку 2.

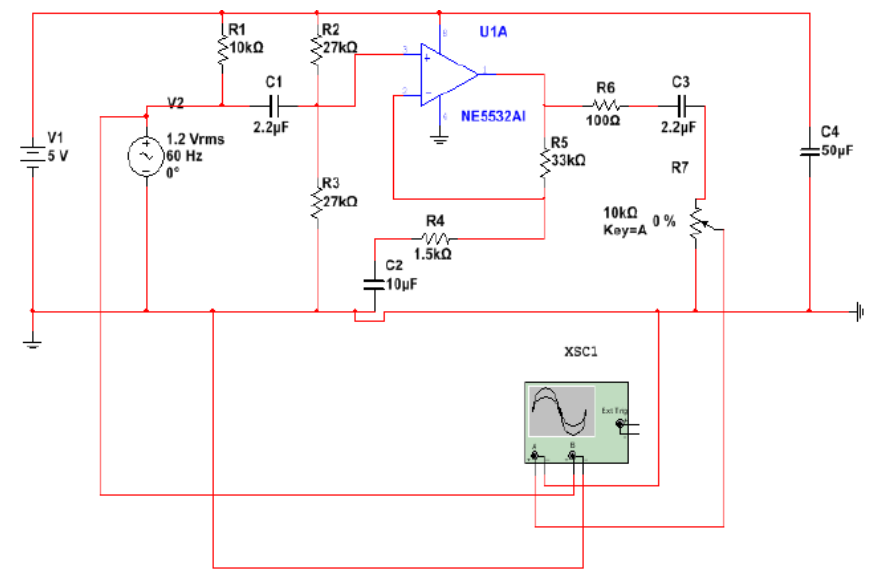


Рисунок 2 – Схема попереднього підсилення

Для усунення шумів нами використано низькочастотний фільтр. За допомогою програмного забезпечення Filter Lab 2.0 було створено низькочастотний фільтр Баттерворта четвертого порядку. Схема фільтрації показана на рис. 3, а результати моделювання - на рис. 4.

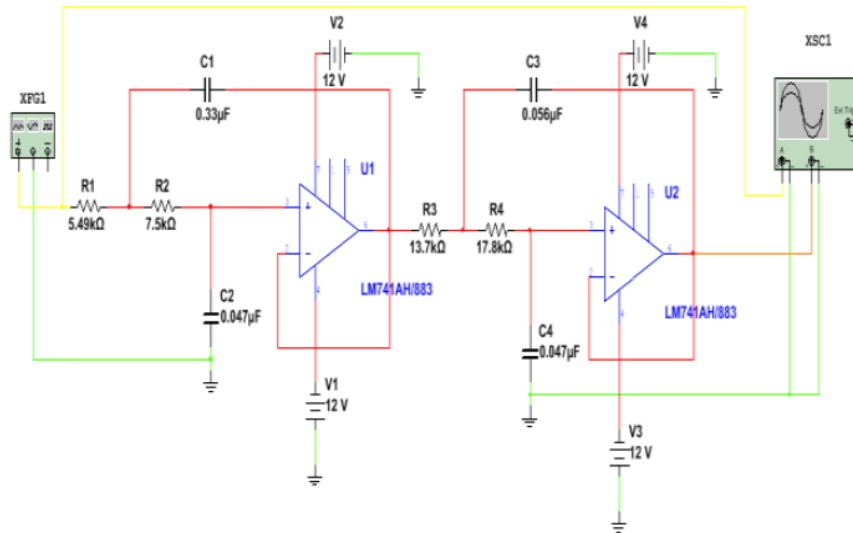


Рисунок 3 – Схема низькочастотного фільтра Баттерворта четвертого порядку

Ідея використання четвертого порядку є досить ефективною, тому що чим більша кількість сумарних каскадів, тим ближче фільтр до ідеальної реакції і використовує менше живлення компонентів порівняно з фільтром 8-го порядку. Операційним підсилювачем, що використовується для фільтрації, є LM741.

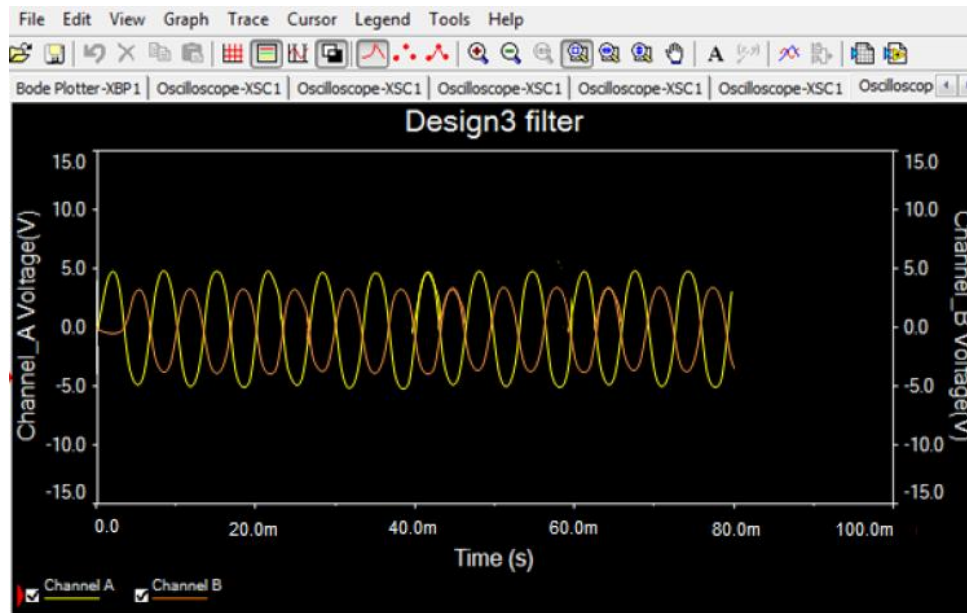


Рисунок 4 – Осцилограма низькочастотного фільтра Баттерворта четвертого порядку (200 Гц)

Оскільки частота відсічки становить 200 Гц, вихід нижче частоти відсікання дасть те саме, що і вхід. Однак у практичному випадку графік покаже максимум від 60 до 70 Гц, а

вихідна потужність почне зменшуватися після 70 Гц. Поріг використовується при програмуванні для усунення ефектів від цих частот.

В проєкті ми використали Arduino Uno R3, який має вбудований мікроконтролер ATmega 328 для обробки даних. Сигнал, отриманий після етапу попередньої обробки даних, надходить у Arduino Uno R3 як вхід для подальшої обробки. Вхід сигналу має аналогову форму, тому його можна підключити до аналогового входу на Arduino Uno (в нашому випадку A0). Комп'ютер не може прочитати аналогову форму сигналу. Отже, мікроконтролер також діє як 10 бітний АЦП, який може перетворювати аналогову форму в цифрову. Розроблена програма завантажується в Arduino Uno за допомогою програмного забезпечення Arduino IDE для подальшого процесу.

Для того, щоб отримати показники серцебиття плода, у роботі використовується постійний поріг. У цьому дослідженні було обрано поріг який дорівнює 10. Для введення цього вимірювання був наданий відфільтрований сигнал і алгоритм виявлення піків був використаний для виявлення піку від сигналу. Після виявлення піку було додано ще одну затримку в 300 мс (рис. 5).

```

1 | Arduino 1.8.13
Файл Правка Скетч Інструменти Допомога

1 §
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd_27(0x27, 16, 2);

void setup()
{
  lcd_27.begin ();
  lcd_27.backlight ();
}

void loop()
{
  if (analogRead(0) > 10)
  {
    lcd_27.setCursor(1-1, 1-1);
    lcd_27.print( "Fetal Heart Rate" );
    lcd_27.setCursor(1-1, 2-1);
    lcd_27.print( "Aver." );
    lcd_27.print( analogRead(0) );
    delay(300);
  }
}
    
```

Рисунок 5 – Приклад програмного коду для роботу фетального датчика з виводом результатів на екран LCD

На останньому етапі показники частоти серцевих скорочень плода відображатимуться на LCD-дисплеї 16x2 з вбудованим модулем I2C. LCD-дисплей підключений до мікроконтролера і повинен бути запрограмований. Результат також можна контролювати через послідовний монітор (рис. 6). На LCD-дисплеї він відображатиме середній пульс плода лише так, як показано на рис. 6(b) нижче. Частоту плода усереднювали протягом 1 хвилини, а оптимізований час усереднення класифікують у подальших дослідженнях. Живлення пристрою передбачено від акумулятора напругою 9В. Це дозволить побудувати прилад на умовах автономності та портативності.

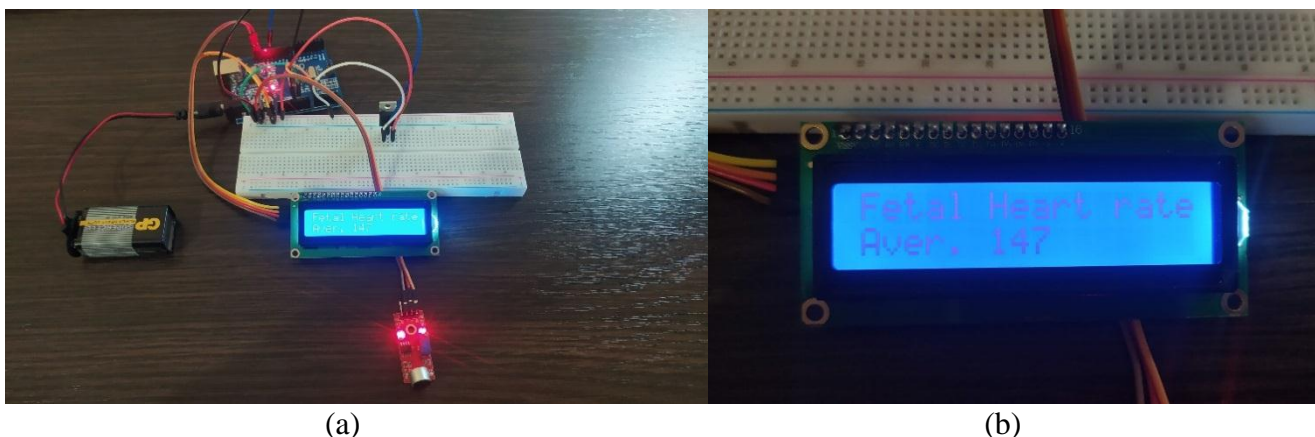


Рисунок 6 – Загальний вигляд моделі фетального пульсометру (a) та приклад виведення результату середнього пульсу плода на LCD дисплеї (b)

Для оцінки ефективності розробленого ФЕП, частоту серцевих скорочень плода, записаного за допомогою розробленого прототипу, ми порівнювали з існуючим електронним стетоскопом. Цей порівняльний експеримент був проведений на вагітній жінці у період від 35 до 39 тижня вагітності, і середній час запису був обмежений 1–2 хвилинами. У таблиці 1 узагальнено вимірювання частоти серцевих скорочень плода за допомогою розробленого прототипу та електронного стетоскопа.

Таблиця 1 – Порівняння результатів між прототипом ФЕП та електронним стетоскопом

	Тиждень вагітності	Показання електронного стетоскопу	Показання розробленого ФЕП
·	35	150	147
·	36	142	140
·	37	148	147
·	38	151	151
·	39	148	150

Біоінженерія

З таблиці видно, що показання прототипу в більшості випадків майже відповідає рівню електронного стетоскопа. Загальний зсув прототипу та електронного стетоскопа становить 1,4 % та - 1,2 % відповідно. Можна стверджувати, що дана різниця в показах знаходиться в межах допуску, який становить + 5 для частоти серцевих скорочень [9]. Однак обмеження пропонованого прототипу полягає в тому, що він здатний виявляти частоту серцевих скорочень плода лише протягом третього триместру, та не може фіксувати серцебиття плода у першому та другому триместрі.

ВИСНОВКИ

У науковій роботі представлено розробку недорогої, неінвазивної, керованої користувачем та мікроконтролером ATMEga 328 автономної системи моніторингу серцебиття плода, яка може використовуватися як в лікарняних так і в домашніх умовах. Тони серця плода реєструються за допомогою конденсаторного мікрофона та попередньо обробляються низькочастотним фільтром, який усуває непотрібні шуми та обмежує пропускну здатність сигналу. Крім того, розроблено алгоритм виявлення піку для виявлення піку із затримкою 300 мс. Це забезпечує серце плода значним діагностичним та клінічним значенням. Пристрій було протестоване на вагітній жінці у третьому триместрі та проведено порівняння з електронним стетоскопом лікаря. Результат показує, що запропонований прототип демонструє досить добру точність на основі відносної перевірки електронного стетоскопа в реальних клінічних умовах. Отже, дослідження показало, що конденсаторний мікрофон є робочою моделлю і може ефективно використовуватися при розробці комерційних ФЕП для використання в якості системи моніторингу домашнього догляду вагітних. Однак прототип пристрою потрібно протестувати на більшій кількості вагітних жінок для третього триместру, щоб узагальнити та покращити роботу пристрою.

Перелік використаних джерел:

1. *Sameni, R.* A Review of Fetal ECG Signal Processing Issues and Promising Directions [Electronic resource] / *R. Sameni, G. D. Clifford* // The Open Pacing, Electrophysiology & Therapy Journal. – 2010. – N 3. – P. 4–20. – Mode of access: <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOPETJ/TOPETJ-3-4.pdf>
2. Health Encyclopedia [Electronic resource] / Rochester: University of Rochester Medical Center. – Mode of access: <https://www.urmc.rochester.edu/encyclopedia.aspx>
3. Intraoperative fetal heart monitoring for non-obstetric surgery: A systematic review [Electronic resource] / *O. Carlotta [et al.]* // European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology. – 2019. – Vol. 238, July. – P. 12–19. – Mode of access: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31082738/>
4. *Nageotte, M. P.* Fetal heart rate monitoring / *M. P. Nageotte* // Seminars in Fetal & Neonatal Medicine. – 2015. – Vol. 20, N 3. – P. 144–148.
5. *Барашнев, Ю. И.* Гипоксическая энцефалопатия: гипотезы патогенеза церебральных расстройств и поиск методов лекарственной терапии / *Ю. И. Барашнев* // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2002. – № 1. – С. 6–9.
6. Кардиотокография и доплерометрия в современном акушерстве / *В. И. Орлов [и др.]*. – Ростов на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. – 288 с.

7. Сілі, І. І. Модель безструмового апарату підігрівання імплантантів [Електронний ресурс] / І. І. Сілі, О. Ю. Азархов // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали І Міжнар. науково-практ. Інтернет-конф. (Мелітополь, 01–24 квітня 2020 р.) / ТДАТУ. – Мелітополь, 2020. – С. 417–419. – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/materialy-1-mnpk-tehnicne-zabezpechennja-innovacijnyh-tehnolohij-v-ahropromyslovomu-kompleksi-m.-melitopol-01-24.04.2020.pdf>

8. Волошин, В. С.осушувач повітря на базі елемента Пельтьє та Ардуіно [Електронний ресурс] / В. С. Волошин, О. Ю. Азархов, І. І. Сілі // Медична інформатика та інженерія. – 2020. – № 2. – С. 90–95. – Режим доступу: <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2020.2.11180>

9. Santoso, D. Design and Implementation of Capnograph for Laparoscopic Surgery [Electronic resource] / D. Santoso, F. D. Setiaji // International Journal of Information and Electronics Engineering. – 2013. – Vol. 3, N 5, September. – P. 55–67. – Mode of access: <http://www.ijjee.org/papers/370-JI178.pdf>

Сілі І. І., Азархов А. Ю., Федюшко Ю. М., Головаха Р. В.

ФЕТАЛЬНЫЙ ПУЛЬСОМЕТР С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Частота сердечных сокращений плода является важным биологическим показателем для оценки состояния самочувствия плода беременной женщины. Когда сердце бьется, оно перекачивает кислородную кровь по всему телу плода. Адекватность оксигенации плода важна для предотвращения гипоксии, которая влияет на все тело ребенка. Если возникает гипоксия, это может привести к уменьшению мозгового кровотока плода. Таким образом мониторинг сердцебиения способен распознать асфиксию плода. Данная работа посвящена разработке фетального пульсометра (ФЕП), который можно использовать беременной матери в домашних условиях. Для разработки монитора сердечного ритма плода нами предложено пять шагов: 1) сбор данных; 2) предварительная обработка данных; 3) передача данных в микроконтроллер; 4) дальнейшая обработка и 5) отображение результатов на мониторе. Конденсаторный микрофон используется как датчик для получения сердечного звука плода. Микрофон получает данные, после чего проходит предварительную обработку, которая включает усиление и фильтрацию с помощью фильтра низкой частоты четвертого порядка Баттерворта. Операционный усилитель используется для предварительного усиления во время фильтрации; мы использовали операционный усилитель LM 741. Аппараты на базе современных микроконтроллеров AVR в бионженерии находят все большее применение. Известный микропроцессор ATmega 328 в платах Ардуино в свое время совершил революцию в цифровой электронике, а платформа Ардуино все чаще применяется при разработке новых биомедицинских приборов. К достоинствам следует отнести простоту программирования, невысокая стоимость, небольшие габариты, достаточное количество цифровых и аналоговых входов-выходов. Сигнал, получаемый после этапа предварительной обработки, направляется в микроконтроллер (ATmega328) для исчисления и передачи данных путем разработки алгоритма, чтобы компьютер мог считывать сигнал. На финальном этапе, выход (частота сердечных сокращений плода) отображается на LCD-дисплее.

Ключевые слова: *фетальный пульсометр, конденсаторный микрофон, операционный усилитель, микроконтроллер, биологический показатель, сердцебиение.*

Sili I. I., Azarkhov O. Yu., Fediushko Yu. M., Golovakha R. V.

FETAL HEART RATE MONITOR WITH MICROPROCESSOR CONTROL

Fetal heart rate is an important indicator or biological index to know the condition of fetal well-being. When a heart beats, it pumps oxygenated blood throughout the fetal body. Adequacy of fetal oxygenation is important to prevent hypoxia that affecting the whole fetal body. If hypoxia occurs, there might be a decrease in fetal cerebral blood flow. Therefore, fetal heart rate monitoring able to recognize fetal asphyxia. Thus, monitoring the heartbeat is able to recognize fetal asphyxia. This work is devoted to the development of a fetal heart rate monitor (FHRM) that can be used by a pregnant mother at home. We have proposed five steps to develop a fetal heart rate monitor: 1) data acquisition; 2) data pre-processing; 3) feeding into microcontroller; 4) post-processing and 5) LCD display. A condenser microphone is used as a transducer for fetal heart sound. Data acquisition stage comprises of one condenser microphone which act as a sensor to detect and acquire the fetal heart sound. Sound produce by fetal heart cannot be heard by human hearing. The frequency of fetal heart sound is up to 200Hz so a cutoff frequency of 200Hz was chosen. Then undergoes preprocessing, which includes amplification and filtering using a fourth-order Butterworth low-pass filter. An operational amplifier is used for pre-amplification during filtering; we used an operational amplifier LM 741. Devices based on modern AVR microcontrollers are increasingly being used in bioengineering. The well-known ATmega 328 microprocessor in Arduino boards at one time revolutionized digital electronics, and the Arduino platform is increasingly being used in the development of new biomedical devices. The advantages include simplicity of programming, low cost, small size and a sufficient number of digital and analog inputs and outputs (PINs). The signal obtained after the preprocessing step is sent to a microcontroller (ATmega328) for calculating and transmitting data by developing an algorithm so that the computer can read the signal. In the final stage, the output (fetal heart rate) is displayed on the LCD.

Keywords: *fetal heart rate monitor (FHRM), condenser microphone, operational amplifier, microcontroller, biological indicator, heartbeat.*

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Єфременко В. Г.
Стаття надійшла 30.11.2020 р.*

УДК 669.184.244

doi:

Юшкевич П. О., Юшкевич О. П.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОДУВНИХ БЛОКІВ ДЛЯ ОДНОЯРУСНИХ ТА БАГАТОЯРУСНИХ ФУРМ

Верхні фурми є одними з основних пристроїв для організації ефективної продувки розплаву та отримання якісного металевого напівпродукту у кисневому конвертері. На сьогодні відсутні опубліковані роботи, що дозволяють повністю охарактеризувати основні конструктивні параметри продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм, що ускладнює підхід до їх розробки та проектування, а також може призводити до прийняття помилкових рішень. Тому метою стало створення уявлень, щодо основних конструктивних параметрів продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм з наданням характеристики їх впливу на хід та ефективність продувки розплаву.

Встановлено, що для проектування (класичних) одноярусних фурм перш за все важливо визначити конструктивні параметри наконечнику ($n_l; \alpha; \varphi; d_{ex}; d_{вих}; d_{кр}; l_0; l_3$). У випадку розробки раціональних конструкцій багатоярусних фурм окрім наконечника, що є головним дутьовим блоком необхідно також встановити параметри додаткових продувних блоків їх кількість та позицією розташування на стовбурі фурм ($n_u^n; \alpha_u^n; \varphi_u^n; d_u^n; l_u^n; N_{нб}; H_{нб}^n$).

Визначено, що забезпечення ефективного режиму продувки конвертерної ванни з уникненням розгару наконечника фурми та явища рекомпресії у результаті зносу вихідних ділянок сопел можливо шляхом проектування укорочених сопел Лаваля, геометричні розміри яких розраховуються не на точно задану величенну тиску P та витрату q газу, а на деякий інтервал тиску від P_{min} до P_{max} та витрату газу від q_{min} до q_{max} на вході у докритичну частину сопла Лаваля.

Від вдалого комбонування основних конструктивних параметрів продувних блоків верхньої фурми на підставі проведення розрахунків за вірно підібраними методиками та рівняннями залежить ефективність процесу конвертування розплаву у цілому, експлуатаційний строк фурми й кисневого-конвертерного обладнання, якість та вихід придатного металевого напівпродукту.

Ключові слова: конвертер, багатоярусна фурма, одноярусна фурма, продувні блоки, основні конструктивні параметри.

Постановка проблеми.

Верхні фурми є одними з основних пристроїв для організації ефективної продувки розплаву та отримання якісного металевого напівпродукту у кисневому конвертері. Тому важливим питанням є проектування верхніх фурм з повним розрахунком основних конструктивних параметрів продувних блоків, що дозволить раціоналізувати конструкцію під певні технологічні умови киснево-конвертерного виробництва кожного Національного металургійного підприємства України з урахуванням наявної сировинної бази та техніко-економічних показників.

Однак треба відзначити, що на сьогодні відсутні опубліковані роботи, що дозволяють повністю охарактеризувати основні конструктивні параметри продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм, що ускладнює підхід до їх розробки та проектування, а також може призводити до прийняття помилкових рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанню розробки конструкцій одноярусних [1-3, 7] та багатоярусних [4-6] фурм, продувних блоків [2, 7, 8], а також напрямкам їх вдосконалення та модифікації присвячено ряд робіт, до яких відносяться [1-9]. Переважно у цих роботах надаються свідчення, щодо вже готових конструктивних рішень верхньої одноярусної або багатоярусної фурми, чи їх продувних блоків, що розроблені під технологічні умови конкретного кисневого конвертеру одного з ведучих металургійних підприємств, наводяться рекомендації, щодо до їх експлуатації та режимів роботи, типові креслення, технічні та технологічні параметри, а також техніко-економічні показники плавок з їх застосуванням, отримані під час проведених лабораторно-експериментальних або дослідно-промислових компаній. Завдяки чому можливо отримати уявлення, щодо напрямків розвитку та ефективності пропозицій нових конструкцій верхніх фурм з урахуванням сучасних умов сировинної бази та особливостей роботи киснево-конвертерних цехів.

Незважаючи на це, нажаль майже відсутні роботи, які дозволяють охарактеризувати, а також скласти повне уявлення відносно того, що саме становить основні конструктивні параметри продувних блоків верхніх одноярусних та багатоярусних фурм, а також як впливає зміна цих параметрів на ефективність перебігу продувки розплаву у ванні кисневого конвертеру, якість отриманого металевого напівпродукту. Треба відзначити, що з ряду розглянутих робіт до яких, також відносяться [1-9], така певна характеристика основних конструктивних параметрів одноярусних фурм надана у роботах [7, 8], однак для параметрів багатоярусних на сьогодні вона відсутня.

Мета дослідження.

Створити уявлення відносно основних конструктивних параметрів продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм, охарактеризувати їх вплив на перебіг та ефективність продувки розплаву.

Основний матеріал дослідження.

Питання основних конструктивних параметрів продувних блоків одноярусних та багатоярусних фурм є важливим, тому, що саме від них залежить організація продувки конвертерної ванни та ряд техніко-економічних показників процесу безпосередньо пов'язаних з ефективністю отримання та якістю металевого напівпродукту [1-9].

Для проектування (класичних) одноярусних верхніх фурм перш за все необхідно визначити основні конструктивні параметри наконечнику. У випадку розробки конструкцій багатоярусних фурм окрім параметрів наконечника, що є головним продувним блоком необхідно також встановити основні конструктивні параметри додаткових продувних блоків їх кількість та позицію розташування на стовбурі фурми.

Відповідно до аналізу робіт [1-9] основними конструктивними параметрами наконечнику (головного продувного блоку) фурми є:

- n_d - кількість основних сопел Лаваля у наконечнику фурми, шт.;
- α - кут нахилу сопел Лаваля у наконечнику до вертикальної осі фурми, °;
- φ - кут у плані між осями сусідніх сопел Лаваля у наконечнику фурми °;

Металургія

- $d_{вх}$ - вхідний діаметр сопла Лаваля у наконечнику фурми, м;
- $d_{вих}$ - вихідний діаметр сопла Лаваля у наконечнику фурми, м;
- $d_{кр}$ - критичний діаметр сопла Лаваля у наконечнику фурми, м;
- l_0 - докритична довжина сопла Лаваля (конфузора) у наконечнику фурми, м;
- l_3 - закритична довжина сопла Лаваля (дифузора) у наконечнику фурми, м.

Основними конструктивними параметрами додаткових продувних блоків для проектування багатоярусної фурми є:

- n_n^n - кількість циліндричних сопел у n -му додатковому продувному блоці, шт;
- α_n^n - кут нахилу циліндричних сопел у n -му додатковому продувному блоці до вертикальної осі фурми, °;
- φ_n^n - кут між осями сусідніх циліндричних сопел у n -му додатковому продувному блоці, °;
- d_n^n - діаметр циліндричного сопла у n -му додатковому продувному блоці, м;
- l_n^n - довжина циліндричного сопла у n -му додатковому продувному блоці, м;
- $N_{n\delta}$ - кількість додаткових продувних блоків у багатоярусній фурмі, шт;
- $H_{n\delta}^n$ - висота розташування n -го продувного блоку відносно торця головки багатоярусної фурми, м.

Визначившись з основними конструктивними параметрами продувних блоків однарусних та багатоярусних фурм, надамо їх характеристику. Кількість сопел у наконечнику фурми n_d разом з їх критичним діаметром $d_{кр}$ є одними з основних факторів, що обмежують витрату кисню через наконечник фурми. Зазвичай n_d визначається з урахуванням витрати основного кисню $q_{осн}^{O_2}$ від загальної $q_{заг}^{O_2}$ у випадку багатоярусної фурми або загальної для однарусної, геометричних розмірів конвертеру та його садки [7, 8]. Відомо, що збільшення кількості сопел Лаваля у головці фурми сприяє покращенню гідрогазодинамічних процесів, перемішуванню у ванні та шлакоутворенню, видаленню фосфору, але також може спостерігатися переокислення металу та шлаку, надмірне спінення шлакометалевої емульсії з розвитком переливів розплаву у ході продувки [1-9]. Також надмірна кількість сопел призводить до суттєвого ускладнення конструкції фурми та її обслуговування, сприяє зменшенню стійкості наконечнику фурми (головного продувного блоку).

У випадку малої кількості сопел Лаваля зростає жорсткість дугтя, спостерігається зниження окисленості металу та шлаку, однак можуть зрости час та погіршитися умови шлакоутворення, що призведе до зниження ефективності видалення фосфору, розвитку викидів металевого розплаву та виносу крапель металу з зони взаємодії кисневих струменів з поверхнею ванни, інтенсифікації заметалювання фурми та зниження у результаті цього виходу придатного металевого напівпродукту, погіршення його якості [1-9]. Тому важливим під час проектування фурми є визначення раціональної кількості сопел у наконечнику фурми.

Кількість циліндричних сопел $n_{\text{ц}}^n$ у n -му додатковому продувному блоці багатоярусної фурми визначається з урахуванням витрати додаткового кисню $q_{\text{доо}}^{O_2}$ від загальної $q_{\text{заг}}^{O_2}$ на фурму. Збільшення кількості циліндричних сопел у додатковому продувному блоці дозволяє організувати щільну завісу, (за якої допускається контакт зовнішніх меж сусідніх звукових кисневих струменів), над зоною взаємодії надзвукових кисневих струменів з поверхнею ванни, що може повністю перекривати навколофурменний простір на відстані поширення звукових струменів. Створення такої щільної завіси за умови витікання в вільний простір конвертеру струменів дозволяє переважно перекрити потенційні місця виходу конвертерних газів, забезпечити підвищення ефективності допалювання CO до CO₂, сприяти осаджуванню нано- та мікродрібних частинок у вигляді пилу [4-6].

У випадку поширення завіси звукових струменів у межах шлакометалевої емульсії спостерігається утворення додаткових зон взаємодії, забезпечується інтенсифікація шлакоутворення, гідрогазодинамічних та тепломасообмінних процесів в поверхневих шарах розплаву, з'являється можливість для керування рівнем шлакометалевої емульсії. Мала кількість циліндричних сопел $n_{\text{ц}}^n$ переважно призводить до роздільного поширення окремих звукових кисневих струменів над зоною взаємодії надзвукових кисневих струменів з поверхнею ванни, погіршує умови перекриття навколофурменної зони та відповідно потенційних місць виходу конвертерних газів, виносу пилу.

Нераціональна кількість циліндричних сопел $n_{\text{ц}}^n$ та витрати додаткового кисню $q_{\text{доо}}^{O_2}$ може призводити до неправильного розподілення дуття між різними зонами робочого простору конвертера під час продувки розплаву, сприяти формуванню переокисленого шлаку, розвитку переливів та викидів шлакометалевої емульсії у ході продувки, зниженню виходу придатного металевго напівпродукту, стійкості футерівки, заметалюванню киснево-конвертерного обладнання, фурми [4-6].

Кути нахилу сопел до вертикальної осі фурми α , $\alpha_{\text{ц}}^n$ також є важливими критеріями. За малого показника α кута нахилу сопел Лавалю до вертикальної осі фурми відбувається злиття окремих струменів та формування єдиної зони взаємодії, спостерігається глибоке проникнення струменів у розплав, це сприяє більшому засвоєнню кисню металом, але може призводити до погіршення умов шлакоутворення, розвитку сплесків та викидів металу, явища пробійного режиму продувки, коли глибина проникнення струменів досягає футерівки днища конвертера, що призведе до високотемпературного впливу на неї та подальшого руйнування.

Якщо кут нахилу сопел Лавалю α занадто великий то спостерігається зменшення глибини проникнення струменів із погіршенням засвоєння кисню металом, але це дозволяє забезпечити незалежне формування зон взаємодії та інтенсифікувати процеси шлакоутворення у ванні. Однак може призвести до розвитку переокисленості шлакового та металевго розплаву, а зони взаємодії будуть формуватися досить близько до стінок футерівки конвертеру, що сприятиме високотемпературному впливу на них та суттєво прискорить руйнування [7, 8]. Також у [7] відзначається, що зі збільшенням кількості сопел кут їх нахилу до вертикальної осі фурми α повинен бути збільшений. У разі малого значення $\alpha_{\text{ц}}^n$ кута нахилу циліндричних сопел до вертикальної осі фурми, може спостерігатися високотемпературний вплив на поверхню стовбура фурми під час формування факелів

допалювання, за великого значення на стінки футерівки конвертеру на рівні поширення цих факелів, що у результаті призведе до прогару та передчасного виходу з експлуатації цього обладнання.

Важливо охарактеризувати також кут між осями сусідніх циліндричних сопел у n -му додатковому продувному блоці $\varphi_{\text{ц}}^n$ та кут у плані між осями сусідніх сопел Лаваля φ у наконечнику одноярусної, чи головному продувному блоці багатоярусної фурми. Треба відзначити, що $\varphi_{\text{ц}}^n$ є у певній мірі своєрідним аналогом φ . Однак у випадку наконечника або головного продувного блоку значення φ встановлюється для того, щоб забезпечити роздільне витікання струменів та розгалуження первинних реакційних зон взаємодії надзвукових кисневих струменів у просторі, з виключенням перекриття сусідніми струменями один одного на відстані не меншій початкової довжини струменя $l_{\text{поч}}$ [7, 8].

У свою чергу додаткові продувні блоки перш за все відповідають за допоміжні операції під час продувки, для більшості з яких навпаки необхідно створення щільної завіси звукових кисневих струменів над зоною взаємодії, що формується соплами Лаваля головного продувного блоку. За якої допускається контакт зовнішніх меж сусідніх струменів, що витікають з циліндричних сопел додаткового продувного блоку, але взаємне перекриття струменів один одного в умовах їх витікання з продувного блоку є небажаним явищем, тому значення $\varphi_{\text{ц}}^n$ лімітує максимально допустиму кількість сопел $n_{\text{ц}}^n$ у одній площині додатково продувного блоку, за умови, що кут $\varphi_{\text{ц}}^n$ повинен бути більший або дорівнювати значенню кута розкриття звукових кисневих струменів θ_{36} .

Визначення раціональних геометричних параметрів сопел Лаваля $d_{\text{ex}}, d_{\text{вих}}, d_{\text{кр}}, l_3, l_0$ та циліндричних $d_{\text{ц}}^n, l_{\text{ц}}^n$ у головному та додаткових продувних блоках дозволяють організувати ефективний режим продувки конвертерної ванни з досягненням необхідних показників стійкості фурми, киснево-конвертерного обладнання та бажаних техніко-економічних показників процесу конвертування розплаву.

Раціональні геометричні параметри сопел Лаваля та циліндричних можуть визначатися, в залежності від обраної методики для розрахунку на підставі наступних характеристик: тиску газового потоку у магістралі або перед соплами у фурмі; щільності кисню у перерізах сопел; масової витрати кисню у одиницю часу; швидкості газового потоку у трубі фурми; імпульсу струменю; ступеню уширення сопла; швидкості газового потоку у перерізах сопла; довжини ядра початкової швидкості; коефіцієнту турбулентної структури струменя; кутів розкриття закритичної та докритичної частини сопла; передбаченої витрати кисню на продувку з ціллю отримання металевого напівпродукту певного сортаменту у відповідності до вимог якості.

З співвідношенням розмірів, а саме діаметрів сопла $d_{\text{ex}}, d_{\text{вих}}, d_{\text{кр}}, d_{\text{ц}}^n$ та довжин $l_3, l_0, l_{\text{ц}}^n$ також тісно пов'язані такі характеристики як коефіцієнт швидкості струменю $\lambda(1)$ та параметр нерозрахунковості n (2) [7]

$$\lambda = \frac{W_{\text{вих}}}{W_{\text{вих}}^{\text{кр}}}; \quad (1)$$

Металургія

$$n = \frac{P_{вих}}{P_{оточ}}; \quad (2)$$

де λ – коефіцієнту швидкості струменю; $w_{вих}$ – швидкість струменю на виході з сопла, м/с; $w_{вих}^{кр}$ – критична швидкість струменю на виході з сопла, м/с; n – параметр нерозрохунковості; $P_{вих}$ – тиск газу на виході з сопла, МПа; $P_{оточ}$ – тиск оточуючого середовища, МПа.

У випадку $d_{вих} = d_{кр}$ або $d_{ц}^n$ коефіцієнт швидкості струменю $\lambda = 1$, а струмінь стає звуковим, коли $d_{вих} > d_{кр}$ коефіцієнт швидкості струменю $\lambda > 1$ та струмінь стає надзвуковим [7]. На (рис. 1) представлено схему структури надзвукового (рис. 1, а) та звукового струменю (рис. 1, б). У роботі [7] встановлено, що по мірі збільшення співвідношення $d_{вих} \div d_{кр}$ величина λ , що дорівнює (1) та швидкість струменю збільшується, а тиск й щільність газу зменшується [7].

Відповідно параметр нерозрахунковості надзвукового струменю n , що дорівнює (2) за мірою збільшення відношення $d_{вих} > d_{кр}$ та зменшення вихідного тиску $P_{вих}$ буде зменшуватись та коли параметр нерозрахунковості $n = 1$ струмінь буде називатиметься розрахунковим [7]. Коли $n < 1$ – струмінь буде перерозширеним, $n > 1$ недорозширеним [7].

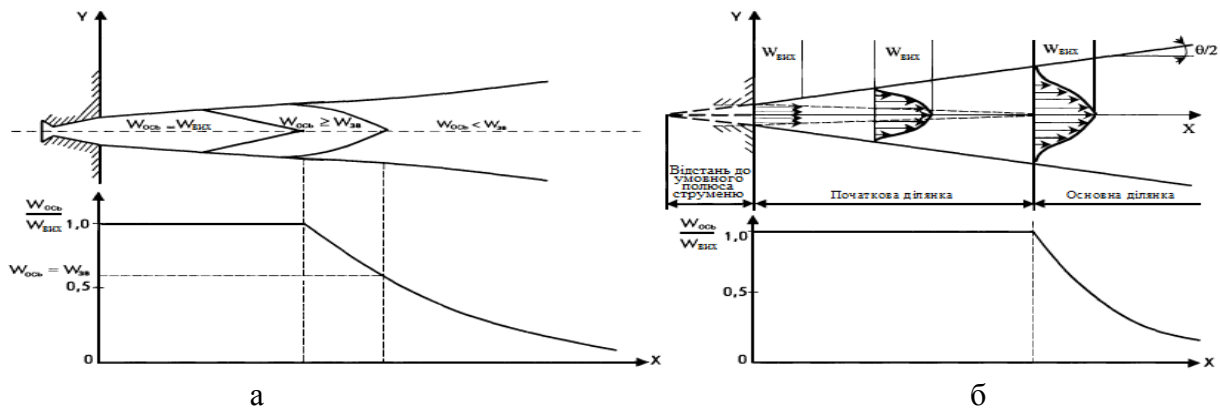


Рисунок 1 – Схематичне зображення структури надзвукового (а) та звукового (б) струменю [7]

Так в залежності від параметру нерозрахунковості n може спостерігатися, що тиск у струмені на виході з сопла стає настільки малим $n < 0,5$, що під дією тиску навколишнього середовища $P_{оточ}$ газовий потік повністю відірветься від стінок закритичної частини сопла Лаваля довжиною l_3 та буде витікати з критичного діаметру сопла $d_{кр}$ у результаті струмінь стане звуковим, це призведе до явища рекомпресії [7, 8]. Окрім цього рекомпресія можлива у випадку відриву струменю не за всією довжиною закритичної частини сопла Лаваля l_3 , а на певній відстані від вихідного перерізу сопла з діаметром $d_{вих}$ у результаті чого гарячий газ навколишнього середовища у порожнині конвертеру затікає у сопло на цю довжину та

викликає додатковий температурний вплив на частину стінки сопла [7]. Це зазвичай спостерігається коли довжина закритичної частини сопла Лаваля l_3 (дифузора) занадто велика або має великий кут розкриття $\beta/2$ [7, 8]. Слід відзначити, що довжина закритичної частини сопла Лаваля l_3 (дифузора) та докритичної частини сопла Лаваля l_0 (конфузора) тісно пов'язані з розмірами діаметрів $d_{вих}$, $d_{кр}$, що виступають як визначні параметри у більшості формул для їх розрахунку.

Відносно рекомпресії, треба зазначити, що відбувається механічна деформація сопла зі зміною конфігурації вихідних ділянок та перерізу сопла Лаваля, що призводить до зносу сопла з розгаром його вихідної частини, цей процес може розвиватися аж до повного прогару наконечнику фурми у цьому місці [7, 8]. Під час використання наконечників фурм з деформованими соплами спостерігається пом'якшення дуття, зменшення коефіцієнту швидкості витікання струменю, його динамічного напору та здатності достатньо глибокого проникнення у конвертерну ванну, що спричинює зниження інтенсивності окислення домішок металу, зневуглицювання та збільшення інтенсивності окислення заліза, це веде до: переокислення шлаку та розвитку його викидів у ході продувки; зниження стійкості футерівки конвертеру; зменшення виходу придатного металевого напівпродукту; підвищення тривалості продувки [7, 8].

Явище рекомпресії, ще відомо як зворотне горіння сопла, причиною є те, що геометричні параметри сопла розраховуються на певну витрату газу q та його тиску P для роботи сопла у розрахунковому режимі, коли $n = 1$ [7, 8]. Однак через коливання тиску від P_{min} до P_{max} газу в магістралі, необхідних змін за технологією витрати газу у ході продувки розплаву від q_{min} до q_{max} та нестабільності тиску у порожнині конвертеру значну частину часу сопла фактично працюють в режимі перерозширення $n < 1$, тобто має місце відрив дуттьового потоку від стінок сопла [7, 8].

Забезпечити ефективний режим продувки конвертерної ванни та уникнути розгару наконечника фурми та явища рекомпресії у результаті зносу вихідних ділянок сопел можливо шляхом проектування укорочених сопел Лаваля [9], геометричні розміри яких розраховуються не на точно задану величину тиску P та витрату q газу, а на деякий інтервал тиску від P_{min} до P_{max} та витрату газу від q_{min} до q_{max} на вході у докритичну частину сопла Лаваля (з урахуванням зміни тиску у порожнині конвертеру) [7-9]. У випадку максимального зниження тиску P_{min} та витрати газу q_{min} на вході у докритичній частині сопла Лаваля такі сопла будуть працювати у розрахунковому режимі $n = 1$, з можливим невеликим відхиленням від його нормальних показників. За нормальних показників тиску P та витрати газу q через сопла Лаваля основним режимом їх роботи стане режим недорозширення $n > 1$, у якому струмінь розширюється за межами сопла Лаваля, а його швидкість становиться надзвуковою. Докритична форма сопла повинна забезпечувати плавний вхід газу, що зменшує, а по можливості виключає вірогідність відриву струменю від стінок сопла у розрахунковому режимі $n = 1$ [7-9].

Використання укорочених сопел Лаваля також сприяє стабільному витіканню газових струменів та спокійному ходу продувки. Не дивлячись на це слід пам'ятати про раціональне співвідношення між основними геометричними показниками сопла d_{ex} , $d_{вих}$, $d_{кр}$, l_3 ,

l_0 , d_y^n , l_y^n та необхідністю забезпечення ефективної пропускної здатності для проходження охолоджуючої води у наконечнику одноярусної фурми або головному та додаткових продувних блоках багатоярусної фурми, що у значній мірі залежить від розмірів сопел та їх кількості.

Висота розташування кожного додаткового продувного блоку $H_{n\delta}$ на стовбурі багатоярусної фурми повинна обиратися у відповідності до геометричних параметрів звукових та надзвукових струменів та розмірів реакційної зони взаємодії, геометричних параметрів конвертеру. Також можна виділити мінімальну $H_{n\delta}^{\min}$ та максимальну $H_{n\delta}^{\max}$ висоту розташування додаткових продувних блоків відносно торця головки багатоярусної фурми. Виходячи з цього визначимо, що $H_{n\delta}^{\min}$ становить висоту розташування нижнього (першого) додаткового продувного блоку багатоярусної фурми, а $H_{n\delta}^{\max}$ відповідно верхнього (останнього) продувного блоку, разом вони визначають базову кількість додаткових продувних блоків багатоярусної фурми. У разі якщо кількість додаткових продувних блоків перевищує базову, їх розташовують у межах розміщення від $H_{n\delta}^{\min}$ до $H_{n\delta}^{\max}$. Обирати $H_{n\delta}^{\min}$ необхідно таким чином, щоб додаткові звукові струмені створювали вплив на поверхню розплаву, у межах реакційної зони взаємодії надзвукових кисневих струменів з поверхнею ванни та інтенсифікували процеси, що покращують тепловий баланс і шлакоутворення у ході продувки.

Висота розташовування верхнього продувного блоку $H_{n\delta}^{\max}$ повинна бути такою, щоб забезпечувати дії керуючого впливу на рівень шлакометалевої емульсії у разі її надмірного спінення, а також сприяти розвитку процесу допалювання вихідних макрооб'ємів CO до CO₂, що переважно виділяються з меж вторинної реакційної зони взаємодії та у залежності від рівня спіненої шлакометалевої емульсії можуть виходити за рахунок «свищового» потоку, чи ланцюжком макропузирів CO, що утворюються з певною періодичністю.

Треба відзначити, що одним з факторів, що лімітує максимально допустиму кількість додаткових продувних блоків $N_{n\delta}^{\max}$ у багатоярусній фурмі є відстань між $H_{n\delta}^{\min}$ та $H_{n\delta}^{\max}$. Для виключення перекриття струменів, що витікають з сусідніх блоків один одного та злиття завіс звукових струменів у вертикальній площині, мінімальна відстань між додатковими продувними блоками визначається з урахуванням довжини вертикального розповсюдження факелів допалювання звукових струменів, що витікають з циліндричних сопел, над поверхнею ванни $l_{\phi}^{n\delta}$.

Кількість додаткових продувних блоків у багатоярусній фурмі $N_{n\delta}$, можна визначити за відношенням максимально допустимого сумарного використання дуття, на n -ну кількість додаткових продувних блоків до мінімально доцільної витрати дуття на один додатковий продувний блок. У випадку використання багатоярусної фурми з одним потоком для подання дуття, розподілення його витрати між $N_{n\delta}$ буде відбуватися в залежності від пропускної здатності кожного продувного блоку, та за необхідності може досягатися як рівнозначне розподілення так і зміна співвідношення між кожним з блоків.

Від вдалого визначення основних конструктивних параметрів верхньої фурми на підставі проведення розрахунків за вірно підібраними методиками та рівняннями для конкретних технічних та технологічних умов роботи кисневого конвертеру, наявної

сировинної бази, залежить ряд технологічних та техніко-економічні показників. У випадку довільного встановлення основних конструктивних характеристик як для одноярусної, так і багатоярусної фурми спостерігається порушення розподілення дугтя між газовою шлаковою та металевою фазами у зонах робочого простору конвертеру з організацією низькоефективної та нестабільної продувки конвертерної ванни, підвищенням викидів та переливів розплаву, низькими показниками допалювання відхідних газів і виходу придатного металевого напівпродукту, утворенням переокисленого шлаку, що супроводжується загальним падіння ряду технологічних показників процесу продувки, зниженням експлуатаційного строку фурми й кисневого-конвертерного обладнання, погіршенням якості вихідного металевого напівпродукту.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано перелік та характеристику основних конструктивних параметрів продувних блоків для одноярусних та вперше для багатоярусних фурм. У випадку проектування одноярусної фурми перш за все необхідно визначити: $n_d; \alpha; \varphi; d_{ax}; d_{вих}; d_{кр}; l_0;$ l_3 . Для багатоярусних фурм додатково треба встановити: $n_u^n; \alpha_u^n; \varphi_u^n; d_u^n; l_u^n; N_{нб}; H_{нб}$.

2. Надано характеристику та необхідні свідчення, щодо впливу наведених параметрів на перебіг продувки, експлуатаційні показники фурми і кисневого-конвертерного обладнання.

3. Визначено, що забезпечення ефективного режиму продувки конвертерної ванни з уникнення розгару наконечника фурми та явища рекомпресії у результаті зносу вихідних ділянок сопел можливо шляхом проектування укорочених сопел Лавалю, геометричні розміри яких розраховуються не на точно задану величину тиску P та витрату q газу, а на деякий інтервал тиску від P_{min} до P_{max} та витрату газу від q_{min} до q_{max} на вході у докритичну частину сопла Лавалю.

4. Від вдалого компонування основних конструктивних параметрів продувних блоків одноярусної або багатоярусної фурми на підставі проведення розрахунків за вірно підібраними методиками та рівняннями залежить ефективність процесу конвертування розплаву у цілому, експлуатаційний строк фурми й кисневого-конвертерного обладнання, якість та вихід придатного металевого напівпродукту.

Перелік використаних джерел:

1. Состояние и дальнейшее совершенствование конструкций кислородных фурм в конвертерных цехах Украины / А. Д. Зражевский, А. Г. Чернятевич, А. В. Сущенко, А. С. Грищенко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – № 6. – С. 20–30.

2. Рациональные конструкции многосопловых наконечников для кислородно-конвертерных фурм / А. Г. Величко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – № 7. – С. 49–52.

3. Чернятевич, А. Г. Современное состояние и направления совершенствования конструкций дутьевых устройств / А. Г. Чернятевич // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2002. – № 7. – С. 20–23.

4. Разработка конструкции двухъярусной фурмы и режима продувки ванны 160-т конвертеров ПАО «АрселорМиталл Кривой Рог» с ее использованием / *А. Г. Чернятевич [и др.]* // Теория и практика металлургии. – 2012. – № 5-6. – С. 76–85.
5. *Чернятевич, И. В.* Современное состояние и направления совершенствования конструкций кислородных фурм для продувки конвертерной ванны / *И. В. Чернятевич* // Черная металлургия бюл. НТИ. –2008. – № 12. – С. 23–27.
6. *Чернятевич, А. Г.* Разработка и совершенствование конструкции двухъярусной фурмы для 160-т конвертеров ПАО «ЕМЗ» / *А. Г. Чернятевич, А. Г. Коваленко, А. В. Суценко* // Теория и практика металлургии. – 2014. – № 3-6. – С. 20–28.
7. *Бойченко, Б. М.* Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, рециркуляція матеріалів і екологія / *Б. М. Бойченко, В. Б. Охотский, П. С. Харлашин.* – Дніпропетровськ: Дніпро-ВАЛ, 2006. – 456 с.
8. *Пантейков, С. П.* Современная конструкция фурменной головки и рациональные технологические режимы ее использования / *С. П. Пантейков* // Черная металлургия бюл. НТИ. –2001. – № 10. – С. 30–33.
9. Проектирование дутьевых сопел кислородных фурм / *А. С. Горбик, В. С. Борошко, Л. М. Гревцев, Е. М. Стретинер* // Сборник научных трудов института «ВНИПИЧерметэнергоочистка». – М.: Металлургия, 1971. – С. 246–252.

Юшкевич П. О.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУВОЧНЫХ БЛОКОВ ДЛЯ ОДНОЯРУСНЫХ И МНОГОЯРУСНЫХ ФУРМ

Верхние фурмы являются одними из основных устройств для организации эффективной продувки расплава и получения качественного металлического полу-продукта в кислородном конвертере. На сегодняшний день отсутствуют опубликованные работы, позволяющие полностью охарактеризовать основные конструктивные параметры продувочных блоков одноярусных и многоярусных фурм, что затрудняет подход к их разработке и проектированию, а также может приводить к принятию ошибочных решений. Поэтому целью стало создание представлений, относительно основных конструктивных параметров продувочных блоков одноярусных и многоярусных фурм с предоставлением характеристики их влияния на ход и эффективность продувки расплава.

Установлено, что для проектирования (классических) одноярусных верхних фурм в первую очередь необходимо определить конструктивные параметры наконечника. В случае разработки рациональных конструкций многоярусных фурм кроме наконечника, который является главным дутьевым блоком необходимо также установить параметры дополнительных продувочных блоков их количество и позиции расположения на стволе фурмы.

Соответственно для одноярусной фурмы: $n_l; a; \varphi; d_{ax}; d_{вих}; d_{кр}; l_o; l_z$. Для многоярусной фурмы необходимо учесть следующие основные конструктивные параметры для дополнительных продувочных блоков: $n_u^n; \alpha_u^n; \varphi_u^n; d_u^n; l_u^n; N_{n\sigma}; H_{n\sigma}^n$.

Определено, что обеспечение эффективного режима продувки конвертерной ванны для предотвращения разгара наконечника фурмы и явления рекомпрессии в результате

износа выходных участков сопел, возможно, путем проектирования укороченных сопел Лаваля, геометрические размеры которых рассчитываются не на точно заданную величину давления P и расход q газа, а на некоторый интервал давления от P_{min} до P_{max} и расход газа от q_{min} до q_{max} на входе в докритическую часть сопла Лаваля.

Ключевые слова: конвертер, многоярусная фурма, одноярусная фурма, продувочные блоки, основные конструктивные параметры.

Yushkevich P. O., Yushkevich O. P.

CHARACTERISTICS OF THE MAIN CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF SUPPLY BLOCKS FOR SINGLE-TIER AND MULTI-TIER TUYERE

The upper tuyere are one of the main devices for the organization of efficient purging of the melt and obtaining a high-quality metal semi-finished product in the oxygen converter. To day, there are no published works that allow us to fully characterize the main constructive parameters of purge units of single-tier and multi-tier tuyere, which complicates the approach to their development and design, and can lead to erroneous decisions. Therefore, the purpose was to create representations regarding the main constructive parameters of purge units of single-tier and multi-tier tuyere with the provision of characteristics of their influence on the course and efficiency of melt purge.

It has been established that for the design of (classical) single-tier upper tuyeres, it is first of all necessary to determine the design parameters of the tip. In the case of the development of rational designs of multi-tiered tuyere, in addition to the tip, which is the main blowing unit, it is also necessary to set the parameters of additional purge units their quantity and position on the tuyere trunk.

Accordingly for a single-tier tuyere: n_n ; α ; φ ; d_{ex} ; d_{eux} ; $d_{кр}$; l_α ; l_β . For a multi-tier tuyere, the following basic design parameters for additional purge units must be considered: n_u^n ; α_u^n ; φ_u^n ; d_u^n ; l_u^n ; $N_{n\beta}$; $H_{n\beta}^n$.

It is determined that the effective purge mode of the converter bath to prevent ignition of the tuyere tip and the phenomenon of recompression as a result of wear of the nozzle outlets, possibly by designing shortened Laval nozzles, the geometric dimensions of which are calculated not on the specified pressure value P and gas flow q , for some pressure range from P_{min} to P_{max} and gas flow from q_{min} to q_{max} at the inlet to the subcritical part of the Laval nozzle.

The efficiency of the melt conversion process as a whole, the service life cycle of the tuyere and oxygen-converter equipment, the quality and yield of a suitable metal semi-product depend on the successful arrangement of the main constructive parameters of the purge units of the upper tuyere on the basis of calculations according to correctly selected methods and equations.

Keywords: converter, single-tier tuyere, multi-tier tuyere, purge units, main constructive parameters.

*Рекомендовано до публікації: д-р техн. наук, проф. Тогобицька Д. М.
Стаття надійшла 17.11.2020 р.*

УДК 004.42

Аліпа М. Н., Куріленко А. Р., Волощук С. О.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ IPTV, ЩО ВРАХУЮТЬ НЕЯВНІ УПОДОБАННЯ КОРИСТУВАЧІВ

У роботі розглянуто оцінки ефективності рекомендаційних систем відеоконтенту, описані адаптації методу визначення подібності інформаційних одиниць за допомогою аналізу даних про уподобання користувачів. Метод визначення подібності реалізує підхід Item-Item колаборативної фільтрації, який є одним з найбільш популярних підходів до побудови сучасних рекомендаційних систем. Вихідними даними для колаборативної фільтрації при побудові рекомендаційних систем IPTV є дані про користувача активності при перегляді одиниць відеоконтенту. Для формування об'єктивних критеріїв оцінки ефективності рекомендаційних систем відеоконтенту враховується, що дані збираються як явним (оцінки, опитування, рейтинги), так і неявним чином (протоколювання дій користувачів). Метод визначення подібності дозволяє вирішити проблему холодного старту, тобто видачі рекомендацій в період відсутності докладної інформації про користувача, але при наявності неявних даних про маршрути інших відвідувачів системи IPTV. Серед об'єктивних показників роботи рекомендаційної системи для оцінки обрані точність рекомендацій і їх повнота, а також узагальнююча їх оцінка. Для оцінки економічного ефекту експлуатації рекомендаційної системи задана класифікація клієнтів по інтенсивності використання рекомендацій. Задана цільова функція економічного ефекту експлуатації рекомендаційної системи. З'ясовано економічний ефект і ефективність використання рекомендаційної системи. Обговорено критерії прийняття рішення про доцільність використання рекомендаційної системи: експлуатаційна вартість і економічний ефект за розрахунковий період. Обговорено критерії прийняття рішення про доцільність оптимізації рекомендаційної системи, що використовується, або впровадження нової із завданням серед них пріоритетів відповідно до цілей стратегічного планування з урахуванням ризиків адаптації і підгонки.

Ключові слова: рекомендаційна система, фільм, хостінг, оцінка ефективності, колаборативна фільтрація.

Постановка проблеми. Розробка і оцінка ефективності рекомендаційних систем (РС), мають ряд серйозних проблем, які мають великий вплив на якість використовуваних моделей і їх адаптацію, незважаючи на всю їх гнучкість і велику кількість різних методів. Основні з цих проблем: відсутність інформації про користувача, висока розрідженість в даних, холодний старт, «білі ворони», масштабованість, підроблені оцінки [1]. Оптимізацію існуючих РС необхідно вести в напрямку вирішення цих проблем з огляду на одночасно можливі проблеми адаптації впровадженень, що реалізуються. Для цього необхідно виділення об'єктивних критеріїв оцінки ефективності такої оптимізації, що дозволяють говорити про її доцільність і потенціал в майбутньому.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основне завдання рекомендаційної системи інтернет телебачення - формування контенту, що максимально відповідає очікуванням, в тому числі неявним, конкретного користувача. Для вирішення цього завдання

в більшості сучасних рекомендаційних систем використовується один з двох базових підходів: колаборативна фільтрація (collaborative filtering, CF) і тематична фільтрація (content-based filtering, CbF) [2, 3]. Метод контентної фільтрації фокусується на виявленні об'єктів зі схожими характеристиками по відношенню до тих об'єктів, які вже зацікавили користувача. При цьому враховується модель поведінки користувача і характеристики (контент) об'єктів, що зацікавили його. При виробленні рекомендацій виявляються об'єкти зі схожими характеристиками. Для ефективної роботи методу контентної фільтрації, як правило, необхідний докладний опис характеристик об'єктів, а також відомості про конкретного користувача (наприклад, відповіді на конкретні питання в анкеті). В основі методу колаборативної фільтрації лежить припущення про консервативність користувацьких переваг (користувачі, однаково оцінюють певні об'єкти, швидше за все аналогічним чином будуть оцінювати і нові об'єкти з подібними характеристиками) [3]. По суті, рекомендації базуються на автоматичній співпраці безлічі користувачів і на виділення (методом фільтрації) тих користувачів, які демонструють схожі переваги або шаблони поведінки. Таким чином, метод колаборативної фільтрації виробляє рекомендації, засновані на моделі попередньої поведінки користувача і з урахуванням поведінки користувачів зі схожими характеристиками. Найбільшого поширення в сфері електронної комерції отримали рекомендаційні системи, що використовують такі варіанти реалізації методу колаборативної фільтрації, а також їх гібриди: колаборативна фільтрація за допомогою аналізу переваг груп користувачів зі схожими інтересами (User-User CF); колаборативна фільтрація за допомогою аналізу взаємозв'язків між об'єктами (Item-Item CF). Основними проблемами, пов'язаними з реалізацією та практичним використанням алгоритмів колаборативної фільтрації, є розрідженість даних, проблема холодного старту і масштабованість. Додатково до перерахованих проблем можна відзначити проблему обмеження різноманітності пропозицій. Рекомендаційні системи, що використовують колаборативну фільтрацію, схильні пропонувати товари, що вже користуються популярністю, що створює проблеми для просування нових товарів і послуг [4, 5].

У методі User-User CF визначається схожість між користувачами і в якості рекомендацій користувачеві видається n товарів, що саме часто купуються, k найбільш схожими на нього покупцями. Для оцінки ступеня схожості користувачів в плані їх переваг можуть використовуватися різні функції подібності (метрики). Найбільш популярними серед них є: евклідова відстань, косинусна міра, відстань Хеммінга, коефіцієнт кореляції Пірсона, коефіцієнт Танімото і деякі інші [4, 6]. Визначення рекомендацій методом User-User CF передбачає побудову матриці активності користувачів, кожен рядок якої описує дії конкретного користувача стосовно до конкретного об'єкта (категорія, фільм, послуга) на сайті. Дії користувачів можуть позначатися самими різними способами. Наприклад, це може бути бінарна інформація про відвідування або не відвідування заданого ресурсу даним користувачем, частота (або число) користувань ресурсу r користувачем u , вартість або рейтинг, проставлений користувачем u для ресурсу r і т.д. Таким чином, кожен рядок матриці активності являє собою вектор оцінок, які відповідають різним категоріям одиниць відеоконтенту (тематичний профіль користувача). Профіль користувача характеризує ступінь його інтересу до кожної групи фільмів. Для кожної пари «користувач-об'єкт (фільм, послуга, дія)» в матриці активності обчислюється міра близькості з використанням обраної метрики [7]. Для пошуку рекомендацій конкретного користувача на підставі його поведінкового профілю використовуються три основні підходи: заснований на сусідстві

(memory based), заснований на моделі (model based) і гібридний підхід (hybrid). У сучасних комерційних рекомендаційних системах найбільшого поширення набули гібридний підхід і підхід, заснований на використанні моделей (алгоритми кластеризації, байєсовські мережі довіри, латентні семантичні моделі) [3, 7]. Для виявлення груп користувачів зі схожими характеристиками часто використовуються різні алгоритми кластеризації. Метод Item-Item CF історично з'явився як альтернатива методу User-User CF, покликана підвищити продуктивність рекомендаційних систем для тих магазинів, де число покупців істотно перевищує кількість найменувань товарів в каталозі [6]. Проблеми User-User CF: «холодний старт» істотно знижує якість роботи РС внаслідок відсутності даних про переваги нових (або мало активних) користувачів; проблема частого поновлення даних про користувача активності (в разі компанії, що пропонує послуги IPTV мова йде про десятки тисяч активних клієнтів) різко знижує продуктивність рекомендаційної системи в цілому.

Базові об'єктивні показники оцінки ефективності РС: Precision, Recall і узагальнюючий їх - F_1 . Precision (точність) - це частка об'єктів X : $X = Y \cap Z$, які цікаві користувачеві, серед всіх рекомендованих об'єктів - Y при всіх об'єктах, цікавих користувачеві Z :

$$\text{Precision} = |X| / |Y| \tag{1}$$

Recall (повнота) - це частка об'єктів, які були рекомендовані системою - X , серед всіх об'єктів, цікаві користувачеві [3], схематично наведені на рисунку 1.

$$\text{recall} = |X| / |Z| \tag{2}$$

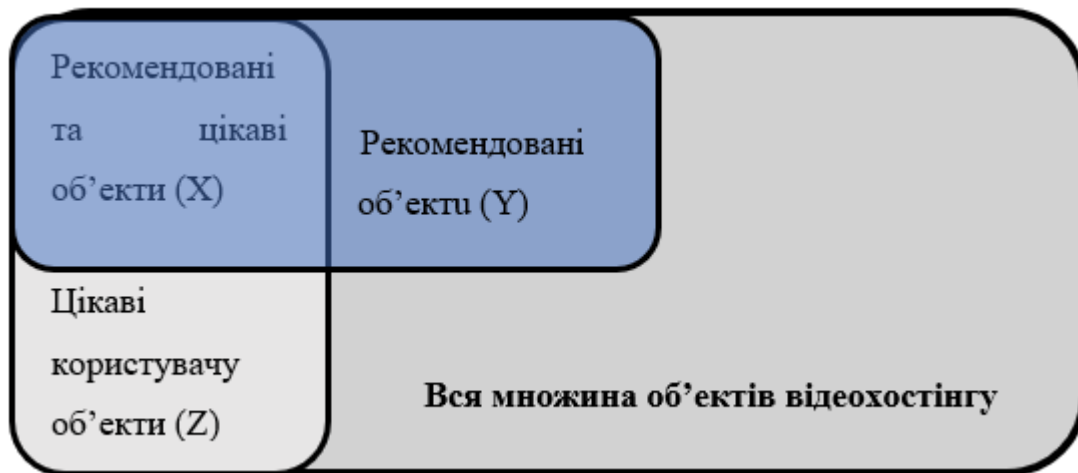


Рисунок 1 – Розрахунок метрик Recall та Precision

F_1 міра використовується для обліку відразу обох характеристик, так як можливі випадки, коли одна з метрик Precision чи Recall показує хорошу якість моделі, однак значення другої сильно просідає.

$$F_1 = 2 \frac{\text{precision} \cdot \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \tag{3}$$

Мета дослідження. Дослідження оцінки ефективності рекомендаційних систем, її адаптація і перевірка адекватності, розробка комбінованого підходу до побудови рекомендаційних систем, що забезпечує найбільш повне використання всіх даних про відеохостингу, пропонувані компанією пропонує послуги IPTV, і користувачів з метою вироблення рекомендацій, найбільш адекватно відображають їх очікування (пертіненість пропозиції). Науково практична новизна роботи полягає в ідеї комбінованого використання методів Item-Item CF і User-User CF, що дозволяє мінімізувати недоліки кожного з них та, ймовірно, домогтися більш високої якості роботи рекомендаційної системи в цілому. Такий підхід дозволяє виробляти прийнятні за якістю рекомендації в умовах, коли відомості про користувача перевагах відсутні, мінімальні або слабо інформативні. Для виявлення груп подібних товарів використовуються методи кластеризації, що дозволяє домогтися гарних показників якості та швидкодії в роботі алгоритму. З'ясовано економічний ефект і ефективність використання РС, та обговорено критерії прийняття рішення про доцільність використання РС відповідно до цілей стратегічного планування з урахуванням ризиків адаптації і підгонки РС.

Викладення основного матеріалу. Основна ідея методу Item-Item CF полягає в угрупованні інформаційних одиниць відеоконтенту, що мають подібні рейтинги користувачів. Рекомендації виробляються за наступним принципом: користувачеві оцінити об'єкт X високо буде запропонований об'єкт Y, який високо оцінили інші користувачі, також високо оцінили і об'єкт X. Використання методу Item-Item CF дозволяє підвищити якість рекомендацій для нових користувачів (немає критичної залежності від даних про уподобання користувача), а також значно підвищує продуктивність РС в разі, коли кількість користувачів істотно перевищує кількість об'єктів (характеристики об'єктів змінюються рідше). При цьому якість рекомендацій в середньому вище, ніж в разі використання підходу, заснованого на аналізі профілів. Для обчислення попарній близькості одиниць відеоконтенту можуть використовуватися ті ж метрики, що і у випадку з парами «користувач-об'єкт». Для пошуку рекомендацій на підставі матриці об'єктів часто використовуються вагові функції та методи регресійного аналізу [7].

Визначення подібності (кластерів) інформаційних одиниць по неявним уподобанням користувача реалізується при вирішенні завдання формування рекомендації з доречною інформацією в умовах недостатності знань про пристрасті користувачів, де пропонується використовувати метод, в основі якого лежить розрахунок близькості пар і подальше формування інформаційних кластерів на основі даних користувачів, послідовно переглядають декілька фільмів. При відсутності даних використовуються звичайні класифікатори з урахуванням ціни і параметрів об'єктів, список «Новинки», а також матрицю «З цим фільмом дивляться». При цьому підході явна участь користувачів у формуванні рейтингу фільмів не потрібна. Першим кроком алгоритму є побудова матриці подібності інформаційних одиниць, де і по вертикалі, і по горизонталі присутні всі одиниці відеохостингу. Заповнення матриці відбувається за таким правилом: якщо користувач послідовно переглянув два фільми, то вага подоби в матриці для цих двох товарів збільшується на 1. Матриць оброблена з метою виявлення груп інформаційних одиниць, які є близькими за своїми оцінками подібності методом кластеризації, випробуваному на тестовому масиві даних. Каталог відеохостингу містить більше 20 000 фільмів, які розбиті на 17 класів (12 кореневих класів, 5 підкласів). Щодня IPTV відвідують в середньому близько 10

000 відвідувачів і проводять на ньому близько 50 хвилин кожен. Вихідні дані охоплюють період в один квартал (IV квартал 2018 роки), в якому каталог фільмів був незмінний.

На їх основі побудована матриця подібності по всьому тимчасовому періоду. Матриця сильно розріджена, так як для багатьох пар фільмів оцінка подібності відсутня (тобто протягом аналізованого періоду часу користувачі не цікавилися деякими фільмами з каталогу). В результаті обробки матриці подібності побудована гістограма відстаней. Виділено кластери, серед яких є великі. Якість роботи алгоритму можна оцінити по референсній інформаційній одиниці, де в кластер подібності потрапили фільми одного жанру або побічно асоціюються з деякими акторами. Аналогічні результати показує і дослідження інших отриманих кластерів. Таким чином, метод визначення подібності інформаційних одиниць виконує покладені на нього завдання: формується рекомендація з фільмів, потенційно цікавих для невідомого відвідувача в даний конкретний момент часу.

Для розрахунку економічного ефекту розрахунковим періодом обраний 1 рік, для якого задається вартість C амортизації (після придбання) або оренди РС. Клієнти класифікуються за інтенсивністю використання РС, коли цей параметр монетизує потенціал задоволеності РС, як частку від LTV (Customer Lifetime Value, довічна цінність клієнта). Для простої поінформованості про наявність РС частка α (зі значенням 0.1 % причому в інтерфейсі відеохостингу передбачена можливість відключення стрічки з рекомендаціями за бажанням клієнта), в разі використання РС параметр β (на інтервалі $-2\% \div 5\%$) обчислюється відповідно з алгоритмом на стандартних оцінках задоволеності користувачів РС наведених в табл.1, добре корелюють з рейтингами, що виставляються клієнтами.

Таблиця 1 – Стандарні оцінки задоволеності клієнтів

	значення <i>Precision, Recall, F₁</i>			
	$\geq 0,75$	$\geq 0,5$	$\geq 0,25$	$\leq 0,25$
Оцінка	відмінно	добре	задовільно	погано

Для визначення успішності рекомендації задається коефіцієнт огляду за розрахунковий період d з наступною диференціацією: перегляд більше 50 % фільму - 1, більше 25 % - 0.5; більше 10 % - 0.25; менше 10 % - 0. Далі при множині обраних фільмів Z (де переглянутим вважається контент з $d \geq 0.5$) і рекомендованих - Y за розрахунковий період обчислюються оцінки точності і повноти представлених рекомендацій. $\forall z_i \in Z$ перевіряється чи $z_i \in Y$, для якого рекомендація вважається успішною і формується множина X , z_i при $d = 0.25$ в розрахунку β не беруть участь, z_i при $d = 0$ вважаються поганими рекомендаціями і по ним нараховуються пенальті у вигляді штрафної функції, що зміщує оцінку за шкалою β в сторону незадоволеності. Згідно виразів (1) та (2) обчислюються повнота та точність рекомендацій - $Pr(\text{precision})$ та $Rc(\text{recall})$, відповідно, та за виразом (3) розраховується метрика F_1 яка узагальнює показники Pr і Rc і шкалюється по області значень β . Перевірка адекватності об'єктивних оцінок може виконуватися після виключення «білих ворон» з оціночних множин у вигляді порівняння з суб'єктивними оцінками, отриманими у вигляді рейтингів фільмів проставляють користувачами. Після чого обчислюються цільові функції економічного ефекту РС - F_α та F_β по класах інтенсивності використання клієнтами РС у вигляді:

Інформаційні технології

$$F_{\alpha} = \sum LTV_i \cdot \alpha \quad (4)$$

$$F_{\beta} = \sum LTV_i \cdot \beta \quad (5)$$

Загальна цільова функція економічного ефекту від використання РС – F_0 , розраховується як сума цільових функцій F_{α} та F_{β} по класах інтенсивності використання клієнтами РС згідно виразів (5) та (6).

У таблиці 2 наведено фрагмент даних про 10 клієнтів з БД клієнтів із базовими характеристиками ID, LTV, абонплатою, даними про рекомендації та просмотр фільмів (Z , Y , X ; X_d – кількість досмотрених фільмів), доповнені розрахунковими даними: penalty (в %), штрафи для РС за недогляд рекомендованого фільму – $p = (1 - X_d) / X$; Re , Rc , F_1 – метрики (оцінки) якості роботи РС, розраховані згідно виразів (1)÷(3), природа оцінок представлена на рис.1; F_{1d} – скоригована метрика F_1 якості роботи РС з з урахуванням даних про догляд фільмів, F_0 – цільова функція монетизації «задоволеності» клієнта від користування РС.

Таблиця 2 – Наведені статистичні дані по користувачам РС, клієнтам провайдера

F_0 , usd	ID	абон- плата, uah	LTV, usd	Z	Y	X_d	X	d	P, %	Re	Rc	F_1	F_{1d}
0,71	10	180,00	88,16	144	96	48	55	7	12,73	0,38	0,57	0,46	0,40
-0,54	1	70,00	34,29	293	202	15	109	94	86,24	0,37	0,54	0,44	0,06
0,52	2	180,00	88,16	155	111	49	57	7	12,92	0,36	0,51	0,43	0,37
0,51	3	180,00	88,16	120	87	38	47	8	17,85	0,39	0,53	0,45	0,37
0,39	4	130,00	63,67	160	107	50	63	13	20,00	0,39	0,58	0,47	0,37
0,25	5	130,00	63,67	272	193	80	100	20	20,00	0,37	0,52	0,43	0,34
0,19	6	70,00	34,29	282	196	87	105	18	17,14	0,37	0,54	0,44	0,36
0,29	7	130,00	63,67	284	203	85	107	21	20,00	0,37	0,52	0,44	0,35
0,53	8	180,00	88,16	177	127	57	65	8	12,25	0,36	0,51	0,42	0,37
0,54	9	180,00	88,16	370	265	118	142	23	16,47	0,38	0,53	0,45	0,37

На рис. 2 наведено залежність економічних характеристик використання РС від чисельності клієнтів відеохостингу, N . F_0 – функція монетизації «задоволеності» клієнтів для однієї з найдешевших РС, пропонованих на ринку. Річна абонплата за використання РС буде близько 200 USD з можливістю більш частого оновлення БД фільмів. Точка беззбитковості досягається при кількості клієнтів, що користуються послугами відеохостингу, $N \geq 1300$. F_0' – функція монетизації «задоволеності» клієнтів для РС, яка буде обходитися компанії-провайдеру 1000 USD за рік. В цьому випадку беззбитковість досягається при кількості клієнтів $N \geq 2900$. На малюнку приведені порівняльні річні експлуатаційні вартості РС в 200, 1000 і 3000 USD у вигляді ліній C_1 , C_2 і C_3 , відповідно. Крива F_{notD} показує функцію монетизації «задоволеності» клієнтів РС з річною експлуатаційною вартістю C_2 без урахування догляду відеоконтенту клієнтами. На якісному рівні зрозуміло, що підвищення частоти недогляду відеоконтенту клієнтом збільшує рівень його «незадоволеності» РС в цілому, що повинно відобразитися в збільшенні негативного ефекту монетизації цільової функції. На рис. 2 видно, що кількісно економічний ефект відрізняється разуче. Модельні

відповідності обрані у вигляді адекватних емпіричних залежностей для наявних натурних даних і можуть вимагати доопрацювання за критерієм адекватності для інших вибірок клієнтської БД або при екстраполяційному прогнозуванні економічних показників в разі збільшення кількості клієнтів.

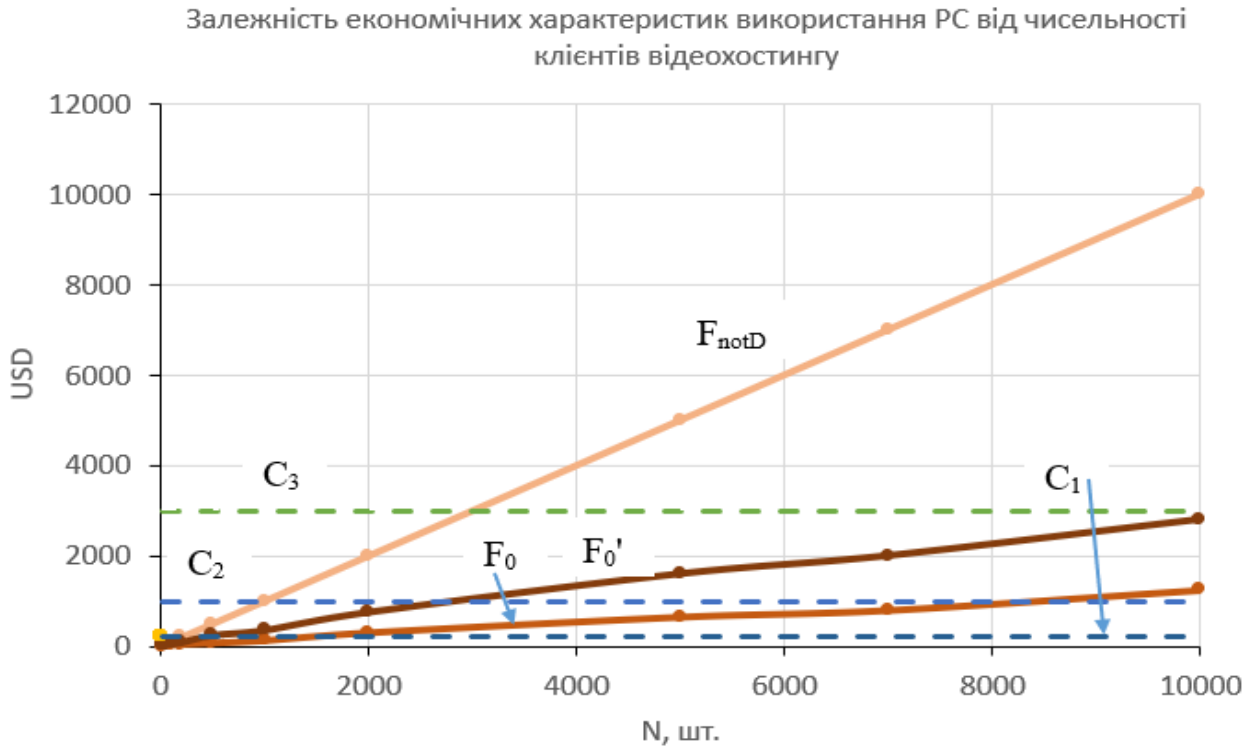


Рисунок 2 – Залежність економічних характеристик використання РС від чисельності клієнтів відеохостингу N:

F_0, F_0' – функція монетизації «задоволеності» клієнтів РС із річною експлуатаційною вартістю C_1, C_2 , відповідно; F_{notD} функція монетизації «задоволеності» клієнтів РС з річною експлуатаційною вартістю C_2 без урахування догляду відеоконтенту клієнтами. Приведено річні експлуатаційні вартості РС в 200, 1000 і 3000 USD у вигляді ліній C_1, C_2 і C_3 , відповідно

На рис. 3 наведено залежність показників економічної ефективності експлуатації РС - F_0, Δ_0, Φ_0 (показник фондovіддачі - $\Phi_0 = F_0 / C_0$) від чисельності клієнтів відеохостингу N при річній експлуатаційній вартості РС - C_1 . Чистий економічний ефект і фондovіддача (Δ_0, Φ_0 відповідно) виходять в «+» зі значень чисельності клієнтів від 1300 осіб. Рішення про доцільність використання РС приймається після порівняння за початковий (0-й) розрахунковий період експлуатаційної вартості РС – C_0 і цільової функції економічного ефекту РС – F_0 , де успіх буде при $\Delta_0 > 0$ при $\Delta_0 = F_0 - C_0$ з економічною ефективністю Φ_0 . Рішення про доцільність оптимізації РС, що використовується, або впровадженні нової РС приймається після порівняння проектних показників F', Δ', Φ' з відповідними існуючими F_0, Δ_0, Φ_0 із завданням серед них пріоритетів відповідно до критеріїв стратегічного планування, причому збільшення показників виражених в абсолютних величинах повинно бути мінімум в

3÷4 рази з урахуванням ризиків адаптації і підгонки РС. На рис.3 ця величина помічена червоним хрестиком. Чистий економічний ефект і фондovіддача F_0' , Δ_0' , Φ_0' при експлуатації РС при річній експлуатаційній вартості C_2 виходять в «+» зі значень чисельності клієнтів від 2900 осіб, а досягають відповідності критеріям оптимізації РС аналогічно наведеним вище для рис.3 при об'ємі клієнтури відеохостингу 30÷40 тис. осіб.

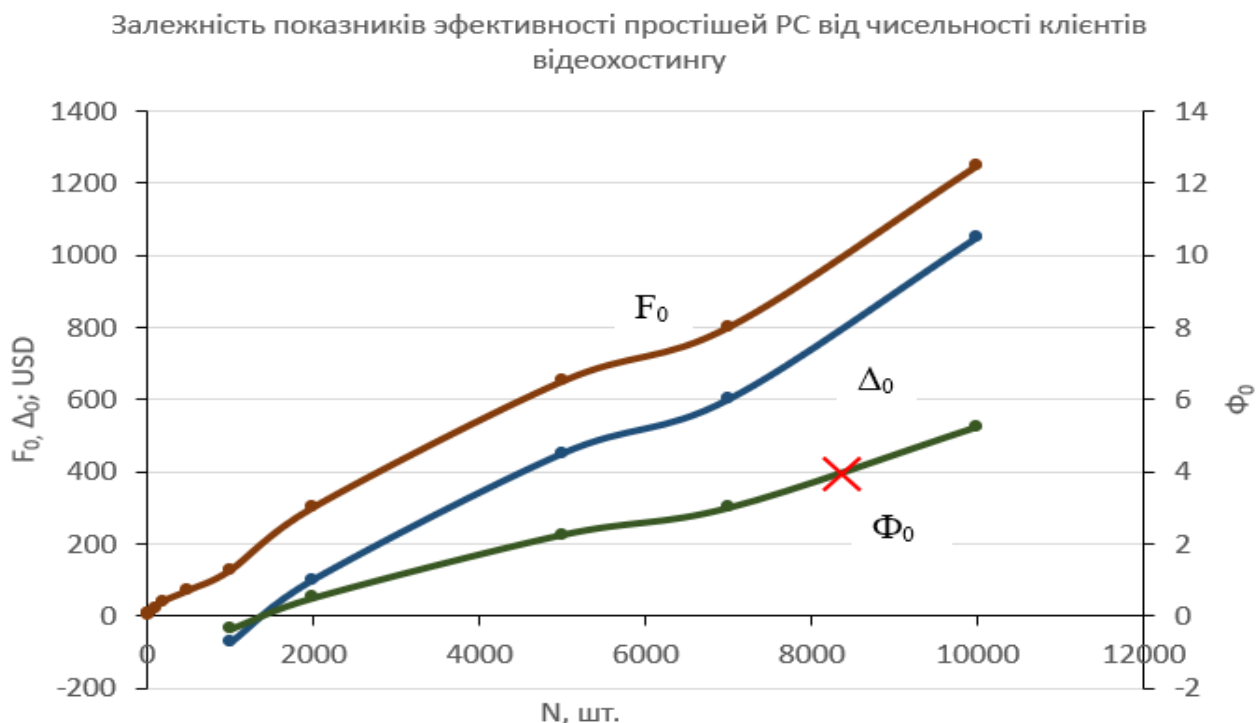


Рисунок 3 – Залежність показників ефективності рекомендаційної системи з річною експлуатаційною вартістю C_1 від чисельності клієнтів відеохостингу N :

F_0 - функція монетизації «задоволеності» клієнтів РС (тотожна кривій F_0 на малюнку 2), Δ_0 - економічний ефект від використання РС, Φ_0 - показник фондovіддачі ($\Phi_0 = F_0 / C_0$), відповідно. Червоним хрестиком помічена точка, де економічний ефект від використання РС Δ_0 мінімум в 3÷4 рази перевищує вартість експлуатації

ВИСНОВКИ

Персоналізація контенту на сьогодні є одним з напрямків, що активно розвиваються, для розміщення відеофайлів в ІТ-індустрії. Найважливішими результатами її застосування є збільшення залучення відвідувачів, поліпшення користувацького досвіду і підвищення конверсії. Персоналізація контенту реалізується за допомогою рекомендаційних систем. Сучасні рекомендаційні системи забезпечують обробку величезних масивів даних про активність користувача з метою формування прогнозів для конкретних користувачів в момент запиту. У роботі викладено метод визначення подібності одиниць відеоконтенту по неявним уподобанням користувача в рекомендаційних системах, який можна застосовувати для нових (або малоактивних) користувачів. При цьому в міру накопичення даних про переваги користувачів рекомендуються надавати більшу перевагу методам класу User-User

CF, які дають тим точніші прогнози чим більш докладні дані про користувача активності. Виконано оцінку ефективності рекомендаційних систем, її адаптація і перевірка адекватності. З'ясовано кількість клієнтів компанії, що представляє послуги відеохостінгу для досягнення відповідності критеріїв оптимізації РС.

Перелік використаних джерел:

1. Probabilistic memory-based collaborative filtering / K. Yu [et al.] // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2004. – Vol. 16, N 1. – P. 56–69.
2. Подходы к повышению пертинентности информационного предложения в медиасервисах на основе обработки больших объемов данных / С. А. Филиппов, В. Н. Захаров, С. А. Ступников, Д. Ю. Ковалев // Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: XVII международная конференция DAMDID/RCDL'2015 (Обнинск, 13–16 октября 2015 г.). – Обнинск, 2015. – С. 224–228.
3. Aggarwal, C. C. Recommender Systems / C. C. Aggarwal. – [S. l.] : Springer, 2016. – 493 p.
4. Xiaoyuan, Su A Survey of Collaborative Filtering Techniques[Electronic resource] / Xiaoyuan Su, Taghi M. Khoshgoftaar // Advances in Artificial Intelligence. – 2009. – Vol. 2009. – Article ID 421425. – P. 1–19. – Mode of access: <https://downloads.hindawi.com/archive/2009/421425.pdf>
5. Fleder, D. Blockbuster Culture's Next Rise or Fall: The Impact of Recommender Systems on Sales Diversity / D. Fleder, K. Hosanagar // Management Science. – 2009. – Vol. 55, N 5, May. – P. 697–712.
6. Брейкин, Е. А. Рекомендательная система на основе коллаборативной фильтрации / Е. А. Брейкин // Молодой ученый. – 2015. – № 13. – С. 31–33.
7. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Курпьянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.

Алипа М. Н., Куриленко А. Р., Волощук С. А.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ IPTV, УЧИТЫВАЮЩИХ НЕЯВНЫЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ ПРЕДПОЧТЕНИЯ

В процессе работы рассмотрены оценки эффективности рекомендательных систем видеоконтента, описанные адаптации метода определения сходства информационных единиц с помощью анализа данных о предпочтениях пользователей. Метод определения сходства реализует подход Item-Item коллаборативной фильтрации, который является одним из самых популярных подходов к построению современных рекомендательных систем. Исходными данными для коллаборативной фильтрации при построении рекомендательных систем IPTV данные о пользовательской активности при просмотре единиц видеоконтента. Для формирования объективных критериев оценки эффективности рекомендательных систем видеоконтента учитывается, что данные собираются как явным (оценки, опросы, рейтинги), так и неявным образом (протоколирование действий пользователей). Метод определения сходства позволяет решить проблему холодного старта, то есть выдачи рекомендаций в период отсутствия подробной информации о пользователе, но при наличии

явных данных о маршрутах других посетителей системы IPTV. Среди объективных показателей работы рекомендательной системы для оценки выбраны точность рекомендаций и их полнота, а также обобщающая их оценка. Для оценки экономического эффекта эксплуатации рекомендательной системы задана классификация клиентов по интенсивности использования рекомендаций. Заданная целевая функция экономического эффекта эксплуатации рекомендательной системы. Выяснен экономический эффект и эффективность использования рекомендательной системы. Обсуждены критерии принятия решения о целесообразности использования рекомендательной системы: эксплуатационная стоимость и экономический эффект за расчетный период. Обсуждены критерии принятия решения о целесообразности оптимизации рекомендательной системы, используемой или внедрение новой с задачей среди них приоритетов в соответствии с целями стратегического планирования с учетом рисков адаптации и подгонки.

Ключевые слова: рекомендательная система, фильм, хостинг, оценка эффективности, коллаборативная фильтрация.

Alipa M. N., Kurilenko A. R., Voloschuk S. A.

ESTIMATING THE EFFICIENCY OF IPTV RECOMMENDATION SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE IMPLICIT CUSTOM PREFERENCES

The paper reviews the effectiveness evaluations of recommender video content systems, describes the adaptations of the method for determining the similarity of information units by analyzing user preference data. The similarity determination method implements the Item-Item approach of collaborative filtering, which is one of the most popular approaches to building modern recommendation systems. The initial data for collaborative filtering when constructing IPTV recommendation systems are data on user activity when viewing units of video content (information clusters). To form objective criteria for evaluating the effectiveness of recommender systems of video content, it is taken into account that data is collected both explicitly (ratings, surveys, ratings) and implicitly (logging user actions). The method of determining similarity allows to solve the problem of cold start, i.e. issuing recommendations in the absence of detailed information about the user, but if there are implicit data on the routes of other visitors to the system. Among the objective indicators of the recommendation system for evaluation, the accuracy of the recommendations and their completeness, as well as a generalizing assessment, were selected. To assess the economic effect of the operation of the recommendation system, a classification of customers according to the intensity of the use of recommendations is given. The objective function of the economic effect of the exploitation recommendatory is given. The economic effect and the effectiveness of using the recommendation system are clarified. Criteria for deciding on the advisability of using a recommender system are discussed: operational cost and economic effect for the settlement period. The criteria for deciding on the advisability of optimizing the recommender system used or introducing a new one with setting priorities among them in accordance with the goals of strategic planning taking into account the risks of adaptation and adjustment are discussed.

Keywords: recommendation system, film, hosting, performance evaluation, collaborative filtering.

Рекомендовано до публікації: доц., к.т.н., Сімкін А.І.

Стаття надійшла 28.08.2020 р.

УДК 622.83

Добровольська Л. О., Лісов Є. В.

АСУТП ПРОЦЕСОМ ПРОКАТКИ ЗАГОТОВОК В ЧОРНОВІЙ КЛІТІ ТЛС

У статті розглядаються питання розробки АСУТП процесом прокатки заготовок в чорновій клітці ТЛС. В результаті запропонованої автоматизації чорнової клітці пропонується установка системи цифрової перебудови і індикації положення механізмів чорнової групи. Система повинна бути інтегрована до складу комплексу систем автоматизації стану. Система забезпечить дистанційне керування механізмами з робочого місця оператора чорнової групи і робочих місць вальцювальника у клітці групи.

Візуалізація процесу виконана на базі промислового персонального комп'ютера з ліцензійними програмами WinCC фірми SIEMENS, яка значно спростить контроль за ходом технологічного процесу і дозволить контролювати і управляти основними регульованими параметрами з мінімальним втручанням в хід технологічного процесу людини.

Ключові слова: автоматичне регулювання, чорнова клітця, перестройки і індикації положення механізмів чорнової групи, математична модель, структурна схема, функціональна схема, комплекс технічних засобів, програмами WinCC фірми SIEMENS

Постановка проблеми. Вітчизняний і зарубіжний досвід показують, що створення сучасних АСУТП на прокатних станах є комплексним завданням. В процесі розробки і впровадження АСУТП необхідно вирішувати наступні питання: дослідження станів як об'єктів автоматизації; розробка математичних моделей і алгоритмів управління; визначення раціональних, економічно обґрунтованих обсягів автоматизації; вибір структури АСУТП; розробку технічного забезпечення АСУТП.

Метою автоматизації, як правило, є: підвищення якості прокату за рахунок більш жорсткого дотримання розмірних і металургійних допусків; економія металу і енергоресурсів; підвищення продуктивності станів; полегшення праці персоналу; поліпшення організації та вдосконалення управління виробництвом [1].

Для досягнення цих цілей крім систем автоматизації потрібно ще й устаткування стану рядом спеціальних виконавчих органів для ефективного впливу на профіль, форму та інші параметри прокатуваного металу, тому і розробка АСУТП чорнової клітці досить актуальна, тому що вона в першу чергу значно підвищить якість виробленої продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Великий внесок у розробку теорії прокатних станів як об'єктів управління та створення систем автоматизації прокатних станів внесли М. М. Дружинін, І. М. Меєрович, Ю. Д. Железнов, Г. Г. Григорян, А. Б. Челюсткін, А. С. Філатов, В. І. Попельнух, В. К. Хотулев, Б. Н. Дралюк, В. Л. Стефанович, Б. Б. Тимофєєв, В. І. Архангельський, А. Н. Чернишов і багато інших.

Так, науково-виробничим об'єднанням «Київський інститут автоматики» (НВО КІА) за участю ряду спеціалізованих інститутів і металургійних підприємств розроблені і впроваджені в виробництвах в різних обсягах АСУТП товстолистових станів 3600 і 3000 (м.Маріуполь), ширококутових станів гарячої прокатки ШСГП 2500 і ШСГП 2000 Новолипецького і ШСГП Магнітогорського меткомбінатів (Росії), ШСГП 680 меткомбінату

«Запоріжсталь», тонколистового стану холодно прокатки 700 меткомбінатів ім. Ілліча (Маріуполь), Пакстіл (Пакистан), стан 800 холодно прокатки г.Корба (Індія) і ін.

Для виконання зазначених розробок проводяться наукові та експериментальні дослідження, вивчається і використовується передовий зарубіжний досвід досліджень, проектування і впровадження АСУТП європейськими фірмами: «Siemens» (Німеччина), «ASEA» (Швеція), «АСЕС» (Бельгія), «Dvy McKee» (Англія), «Mitsubishi Electric Corp», «Hitachi» (Японія) та ін.

Мета статті - на основі існуючих теоретичних і практичних матеріалів розробити АСУТП процесом прокатки заготовок в чорновій кліті ТЛС.

Виклад основного матеріалу. *Широкосмуговий стан гарячої прокатки як об'єкт автоматичного управління* До складу широкосмугового стану гарячої прокатки (ШСГП) входять: нагрівальні печі для нагріву катаних або литих слябів; чорнова група клітей; чистова група клітей з одночасною прокаткою у всіх клітях; транспортні рольганги перед і між клітями чорнової групи, проміжний рольганг між чорнової і чистової групами, відвідний рольганг після чистової групи; пристрій для охолодження смуги, пристрій для збивання і видалення окалини; ножиці для обрізки кінців смуги перед чистовою групою, перевалочні і ряд інших допоміжних механізмів.

Прокатка листів на ШСГП характеризується нестабільністю основних параметрів прокатки, а також неповною інформацією про ці параметри. У цих умовах необхідна якість прокату може бути отримано тільки на основі застосування адаптивних систем управління, що, втім, відноситься і до інших типів прокатних станів. Системам регулювання властивий ряд загальних особливостей:

- прокатний стан є суттєво нестаціонарним об'єктом регулювання, параметри якого змінюються в широких межах, і їх не можна точно визначити заздалегідь; тиристорні перетворювачі систем збудження синхронних двигунів головних приводів клітей;

- датчики систем регулювання встановлюються зазвичай до або після місця докладання керуючих впливів.

У першому випадку виникають структури управління з обуренням, (наприклад, регулювання товщини смуги по відхиленню температури і товщини підкату на вході в чистову групу), у другому - системи з великим транспортним запізненням (наприклад, регулювання товщини за показаннями товщиноміру, встановленого на виході стану), а також різні варіанти комбінованих структур.

В АСУТП широкосмугових станів гарячої прокатки основні керуючі впливи спрямовані на перебудову і зміну режимів роботи механізмів. Зміні підлягають лінійні або кутові координати позиційних механізмів (до 80 % всіх механізмів стану), лінійні швидкості смуги, кутові швидкості робочих валків, завдання натягу, зусиль прокатки та ін.

АСУТП прокатних станів повинні забезпечувати: отримання заданих технологічних характеристик і параметрів якості готової продукції; збір, зберігання і обробку всієї необхідної інформації; сумісність технічних засобів АСУТП; можливість нарощування комплексу технічних засобів; роботу АСУТП в реальному масштабі часу; пряме цифрове управління; безперервний режим роботи і т.д. [2].

Побудова АСУТП для чорнової кліті.

У чорновій групі сляби послідовно прокочуються в усіх клітях до товщини 30-60мм. Для забезпечення можливості прокатки всього сортаменту стана в складі чорнової групи

передбачена ще одна реверсивна кліть, в якій плющення проводиться в 3 ... 7 проходів. Передбачена можливість регулювання слябів по ширині в коморах.

Підкат з чорнової групи в чистову транспортується по проміжному рольгангу. У лінії проміжного рольганга передбачена установка прискореного охолодження підкату до заданої температури. Ця установка складається з двох частин. Перша розташована за чорновий групою на початку проміжного рольганга і призначена для зниження загального рівня температури металу. Друга розташована перед ножицями і здійснює управління температурою по довжині підкату.

Перед завданням підкату в чистову групу його передній і задній кінці відрізаються на летючих ножицях. Остаточна прокатка до заданої товщини відбувається в чистовий групі. Структуру АСУТП чорнової групи клітей можна представити у вигляді двох базових рівнів. функції першого рівня: комунікації оперативного персоналу з АСУТП на постах управління; управління швидкісними режимами і транспортними механізмами; управління позиційними механізмами; управління допоміжними механізмами; управління гідрозбиву; стеження і координації роботи систем базового рівня; управління ГНУ; управління перевалкою валиків; регулювання натягу в безперервно підгрупі. функції другого рівня: інформаційний супровід; налаштування ділянки; автоматичне регулювання ширини; управління профілюванням слябів; управління температурно-швидкісними режимами в безперервно підгрупі; управління лижеутворення; регулювання серповидно; регулювання товщини.

Пропонується запровадити в якості АСУТП систему цифрової перебудови і індикації положення механізмів чорнової групи. Дана система буде інтегрована до складу комплексу систем автоматизації стану. Система забезпечить дистанційне керування механізмами з робочого місця оператора чорнової групи і робочих місць вальцювальника у клітей групи.

Побудова системи. Об'єднання локальних підсистем керування кожної кліткою в систему. Локальна підсистема кліти включає: датчики абсолютного значення позиціонування механізмів, елементів віддаленого вводу-виводу з відповідною керуючою і відображає апаратурою, контролери. Зв'язок елементів підсистеми організована з використанням ProfiBus. Побудова підсистем реалізовано з використанням опціональних ресурсів тиристорних перетворювачів SIEMENS.

Передбачається трирівнева побудова системи автоматизації:

- рівень 0 – рівень датчиків, приводів, виконавчих механізмів;
- рівень 1 – рівень засобів базової автоматизації, включаючи програмовані логічні контролери, локальні операторські панелі;
- рівень 2 – рівень автоматичного управління процесом перебудови.

В якості програмно-апаратної основи реалізації системи базової автоматизації використовується обладнання компанії Siemens, серії Simatic S7-400. Дана апаратна платформа забезпечує наявність в системі стандартних мережевих інтерфейсів ProfiBus DP, Industrial Ethernet [3].

Функціональний склад системи: контролер майстер - системи MRM управління чорнової групи; контролер управління системами вертикального і горизонтального окалиноломателів StC_SB; контролер управління системами клітей; сервер візуалізації WinCC - HMI_RM; сервер діагностики PDA; сервер зберігання і управління даними прокатки RM_ADH; станції операторів, АРМи технічних служб, інженерна станція розробника. Для забезпечення високої якості регулювання використовуються нові сучасні цифрові датчики

положення, інкрементальні датчики швидкості. Якість управління забезпечується також використанням

- мережі PROFIBUS для зв'язку з приводами натискних пристроїв на базі Simoreg DC.
- датчики вимірювачів положення механізмів, розташовуються безпосередньо на кожному механізмі
- шафа контролера, розташований в приміщенні ВЦ на посту управління чорною групою стану;

Система забезпечує наступні функції:

- прийом і індикацію програми прокатки від датчику печей;
- індикацію і перебудову положення механізмів чорної групи стану (відображення напрямних, рольгангів, горизонтальних і вертикальних натискних пристроїв клітей) від пульта управління системою на ПУ і РМ чорнових клітей;
- управління режимами синхронних двигунів чорної групи головних приводів клітей. Порушення обмоток ротора;
- запис і зберігання стандартних програм прокатки різних профілів розмірів прокочуємих смуг;
- блокування керуючих впливів при перевищенні заданих параметрів і видачу сигналів про це технологічному персоналу;
- збереження оперативних даних про виробництво і історичних трендів сигналів.

Згідно з розробленою функціональною схемою система АСУТП чорної групи, включає в себе сервер математичного забезпечення і баз даних, сервер візуалізації, сервер діагностики, контролер майстер (системи та контролери управління механізмами клітей). Елементи АСУТП об'єднані між собою стандартними мережевими інтерфейсами на базі мереж Industrial Ethernet і PROFIBUS DP. Режими роботи АСУТП передбачає наступне:

- автоматичний режим перебудови на підставі завдання одержуваного з сервера математичного забезпечення і баз даних. Порядок завдання програм прокатки визначає і контролює оператор за допомогою терміналу управління процесом рівня 2 на посту;
- повністю ручний режим завдання настроювальних параметрів для чорної групи;
- в автоматичному режимі для оператора зберігається можливість ручного втручання в настройки окремих механізмів з метою проведення необхідних корекцій;
- всі дані про реальний процес, актуальні данні вимірювань при прокатці збираються і зберігаються на сервері математичного забезпечення і баз даних з прив'язкою по конкретному слябів.

Технічні параметри системи:

- візуалізація процесу виконана на базі промислового персонального комп'ютера з ліцензійними програмами WinCC фірми SIEMENS;
- технічна структура системи включає в себе такі рівні: датчики (виконавчі механізми) - контролери, панелі операторів РМ, операторські станції ПУ, сервер технологічної бази даних - сервер виробництва;
- для контролю роботи обладнання (датчики, контролери, мережі тощо.) Встановлена інженерна станція;
- на рівні контролерів реалізуються функції збору і первинної обробки сигналів, аналізу ситуації на об'єкті, видачі блокувань, захистів і сигналів управління;

Інформаційні технології

- на рівні операторської станції реалізуються функції відображення стану технологічного процесу, попереджувальна і аварійна сигналізація, протоколювання ходу процесу, накопичення даних, формування і висновки звітів;
- на рівні інженерної станції реалізуються функції координування роботи підсистем, а також функції контролю працездатності системи;
- вхідні дискретні сигнали мають нульовий рівень не більше 3.0 В, а одиничний - не менше 10.2 В;
- система передбачає зв'язок з сервером запису технологічних параметрів прокатки, розташованим в машзалі ВЦ, по мережі ETHERNET з використанням оптоволоконної лінії зв'язку. Загальна структура системи представлена на рис. 1.

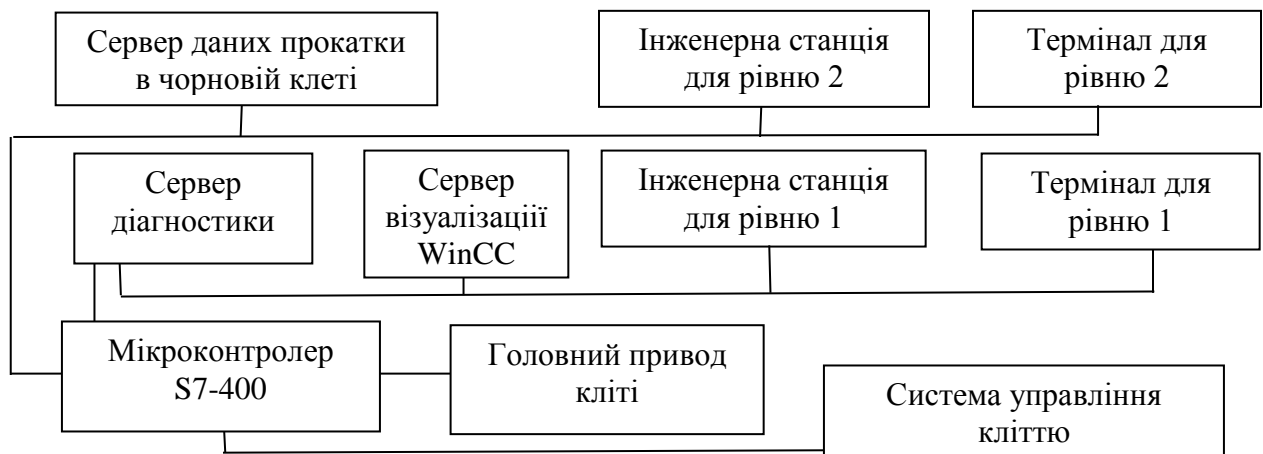


Рисунок 1 – Загальна структура системи

Пропонується використовувати промислові програмовані контролери Simatic S7 серії 300 і 400. Побудова системи АСУТП ґрунтується на застосування програмованих логічних контролерів Siemens AG сімейства SIMATIC S7-300, S7-400, станцій розподіленого вводу-виводу ET-200, що підключаються по мережі PROFIBUS DP [4].

ВИСНОВКИ

В результаті запропонованої автоматизації чорнової клітї пропонується установка системи цифрової перебудови і індикації положення механізмів чорнової групи. Система забезпечить дистанційне керування механізмами з робочого місця оператора чорнової групи і робочих місць вальцювальника у клітей групи.

Візуалізація процесу виконана на базі промислового персонального комп'ютера з ліцензійними програмами WinCC фірми SIEMENS, яка значно спростить контроль за ходом технологічного процесу і дозволить контролювати і управляти основними регульованими параметрами з мінімальним втручанням в хід технологічного процесу людини.

Перелік використаних джерел:

1. *Архангельский, В. И.* АСУ листопрокатных станов / *В. И. Архангельский, И. Н. Богаенко; под ред. В. И. Архангельского.* – М. : Металлургия, 1994. – 334 с.
2. *Медведев, Р. Б.* АСУ ТП в металлургии / *Р. Б. Медведев, Ю. Д. Бондарь, В. Д. Романенко.* – М. : Металлургия, 1987. – 256 с.
3. *Архангельский, В. И.* Интегрированная АСУ толстолистого прокатного цеха / *В. И. Архангельский, Г. Г. Грабовский, Н. А. Рюмишин* // Автоматизация производных процесів. – 1997. – № 1. – С. 53–62.
4. *Архангельский, В. И.* Алгоритмы и техническая реализация систем прямого цифрового управления / *В. И. Архангельский.* – М. : ЦНИИТЭИ приборостроения, 1978. – 55 с.

Добровольская Л. А., Лисов Е. В.

АСУТП ПРОЦЕСОМ ПРОКАТКИ ЗАГОТОВОК В ЧЕРНОВОЙ КЛЕТИ ТЛС

В статье рассматриваются вопросы разработки АСУТП процессом прокатки заготовок в черновой клетке ТЛС, что обеспечит повышение качества проката за счёт более жесткого соблюдения размерных и металлургических допусков; экономию металла и энергоресурсов; повышение производительности стана; облегчение труда персонала; улучшение организации и совершенствование управления производством. Структуру АСУТП черновой группы клеток можно представить в виде двух базовых уровней. функции первого уровня: коммуникации оперативного персонала с АСУТП на постах управления; управление скоростными режимами и транспортными механизмами; управление позиционными механизмами; управление вспомогательными механизмами; управление гидросбивом; слежение и координации работы систем базового уровня; управление ГНУ; управление перевалкой валиков; регулирование натяжения в непрерывно подгруппе. функции второго уровня: информационное сопровождение; настройка участка; автоматическое регулирование ширины; управление профилированием слябов; управление температурно-скоростными режимами в непрерывно подгруппе; управление лыжеобразованием; регулирование серповидности; регулирование толщины.

В результате предлагаемой автоматизации черновой клетки предлагается установка системы цифровой перестройки и индикации положения механизмов черновой группы. Система должна быть интегрирована в состав комплекса систем автоматизации стана. Система обеспечит дистанционное управление механизмами с рабочего места оператора черновой группы и рабочих мест вальцовщика у клеток группы. Визуализация процесса выполнена на базе промышленного персонального компьютера с лицензионными программами WinCC фирмы SIEMENS, которая значительно упростит контроль за ходом технологического процесса и позволит контролировать и управлять основными регулируемые параметрами с минимальным вмешательством в ход технологического процесса человека.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, черновая клетка, перестройки и индикации положения механизмов черновой группы, математическая модель, структурная схема, функциональна схема, комплекс технических средств, программы WinCC фирмы SIEMENS.

Dobrovolskaya L. A., Lisov E. V.

AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM BY THE PROCESS OF ROLLING BILLETS IN THE ROUGHING STAND OF TLS

The article discusses the issues of developing an automatic process control system by rolling blanks in a roughing stand of a TLS, which will provide improved quality of rolled products due to tighter compliance with dimensional and metallurgical tolerances; saving of metal and energy resources; increasing mill productivity; facilitation of staff work; improving organization and improving production management. The structure of the control system of a draft group of cleletes can be represented in the form of two basic levels. first level functions: communication of operational personnel with process control systems at control posts; management of speed modes and transport mechanisms; management of positional mechanisms; management of auxiliary mechanisms; hydraulic breakdown control; tracking and coordination of the operation of basic level systems; GNU management; management of transshipment of rollers; tension control in a continuous subgroup. second level features: information support; site setup; automatic width adjustment; slab profiling management; temperature and speed control in a continuous subgroup; skiing management; sickle regulation; thickness regulation.

As a result of the proposed roughing stand automation, it is proposed to install a digital tuning system and indicate the position of the draft group mechanisms. The system should be integrated into the complex of mill automation systems. The system will provide remote control of mechanisms from the workplace of the operator of the draft group and the workplaces of the rolling mill at the stands of the group. The process was visualized on the basis of an industrial personal computer with SIEMENS licensed WinCC programs, which will greatly simplify the control of the process and allow you to control and manage the main adjustable parameters with minimal interference in the human process.

Keywords: *automatic regulation, roughing stand, adjustment and indication of the position of the mechanisms of the draft group, mathematical model, structural diagram, functional scheme, complex of technical means, WinCC programs of SIEMENS*

*Рекомендовано до публікації: доц, канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ» Кравченко В. П.
Стаття надійшла 19.05.2020 р.*

УДК 621.771.24: 658.011.56

Добровольська Л. О., Серeda С. Є.

МОДЕРНІЗАЦІЯ АСУТП ПРОКАТКИ ЛИСТА В ЧИСТОВІЙ КЛІТІ ТЛЦ

У статті розглядаються питання модернізації АСУТП прокатки листа в чистовій клітці ТЛЦ. Модернізація АСУ противигибом робочих валків клітей забезпечить необхідну якість гарячої прокатки смуг, поліпшить техніко-економічні показники роботи стану в цілому, підвищить рівень охорони праці персоналу, запровадить візуалізацію технологічного процесу і управління противигибом за допомогою ЕОМ, а також забезпечить реєстрацію та

облік усіх необхідних технологічних параметрів в кліті. У процесі модернізації пропонується установка потужного, продуктивного і заводський контролера фірми Omron серії CS1H. Розроблені нові структурна і функціональні схеми автоматизації, що дозволить усі технологічні параметри і технологічний процес відобразити на АРМ оператора з можливістю оперативного втручання і зміни значень основних регульованих параметрів. Для візуалізації технологічного процесу пропонується установка SCADA- системи, яка значно спростить контроль за ходом технологічного процесу і дозволить контролювати і управляти основними регульованими параметрами з мінімальним втручанням в хід технологічного процесу людини.

Ключові слова: автоматичне регулювання, чистова кліть, противигиб робочих валків, SCADA-система, математична модель, структурна схема, функціональна схема, комплекс технічних засобів.

Постановка проблеми. Стан металургійної галузі за основними техніко-економічними показниками (сортамент, якість продукції та ін.) характеризується як досягнений рівня насичення. Повсюдна практика впровадження агрегатів і обладнання зарубіжних фірм не може забезпечити корінних змін в галузі. Необхідна повноцінна модернізація діючих агрегатів в напрямку створення сучасних автоматизованих систем, без яких неможливо забезпечити задоволення постійно зростаючих вимог споживачів.

Вся листова сталь в процесі виробництва проходить стадію гарячої прокатки на технологічних лініях з широкосмуговими станами. Необхідність постановки і вирішення комплексу задач, спрямованих на підвищення ефективності листопркатного виробництва, викликана загальносвітовими тенденціями переходу на гнучке, менш енергоємне виробництво плоского прокату з розмірами, близькими до розмірів кінцевої продукції. Відсутність світового досвіду цілеспрямованої модернізації агрегатів в масштабах галузі визначило широкий спектр складних науково-технічних, організаційних і економічних завдань.

Тому модернізація АСУ противигибом робочих валків клітей, яка дозволить забезпечити необхідну якість гарячої прокатки смуг, поліпшити техніко-економічні показники роботи стану в цілому, підвищити рівень охорони праці персоналу, впровадити візуалізацію технологічного процесу і управління противигибом за допомогою ЕОМ, а також забезпечить реєстрацію та облік всіх необхідних технологічних параметрів в кліті вельми актуальна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковою основою для створення систем автоматизації прокатних станів стала теорія прокатних станів як об'єктів управління, що базується на положеннях теорії прокатки. Сучасна теорія прокатки і конструкції прокатних станів отримали розвиток в значній мірі завдяки роботам вітчизняних вчених А. І. Целікова, А. П. Чекмарьова, Г. Л. Химича, В. С. Смирнова, І. М. Павлова, І. Я. Тарновського, В. Л. Колмогорова, П. І. Полухина. Значний внесок у розробку теорії прокатних станів як об'єктів управління та створення систем автоматизації прокатних станів внесли М. М. Дружинін, І. М. Меєрович, Ю. Д. Железнов, Г. Г. Григорян, А. Б. Щелепикін, А. С. Філатов, В. І. Попельнух, В. К. Хотулев, Б. Н. Дралюк, В. Л. Стефанович, Б. Б. Тимофєєв, В. І. Архангельський, А. Н. Чернишов і багато інших.

Наприклад, в 1994 році на заводі фірми Yieh United Steel Corp. в Каохсіунге, (о. Тайвань) ввели в експлуатацію новий стан Стеккеля сумарним подаванням 600 тис. тонн в

рік. І чорнова і чистова кліті розраховані на дуже великі навантаження, і наводяться від синхронних двигунів змінного струму; а еджер, ножиці, моталки і гідронажимні механізми - від двигунів постійного струму. Стан оснащений системами осьового переміщення і противигибу робочих валків SVC, а також гідравлічною системою установки валків. Ці системи використовуються як для попередньої установки валків, так і в якості механізмів регулювання товщини, профілю і площинності смуг. Забезпечується повний контроль за формою виробів для кожної смуги по всій довжині. Також система противигибу як частина комплексної структури системи автоматизації передбачена на стані 5000 ВАТ "ММК" (Росія). Стан обладнаний вісьмома гідроциліндрами - по чотири на кожен робочий валок. Для вимірювання тиску в поршневій і штоковій порожнинах використовуються датчики тиску. Для регулювання тиску в режимі вигину і в режимі перевалки використовуються різні групи клапанів. Як, приклад, на рис. 1 проілюстрована робота системи противигибу.



Рисунок 1 – Ілюстрація роботи системи противигином робочих валків

Система противигину використовується при відхиленні зусилля прокатки і працює наступним чином: з очікуваного зусилля прокатки віднімається актуальне значення, потім отримана різниця множиться на коефіцієнт посилення, який, в свою чергу, визначається моделлю прокатки. Отримане значення використовується в якості додаткового завдання на регулятори зусилля. У разі відхилення величини зусилля від заданої коригується сигнал на виході системи регулювання [1].

Мета статті - на основі існуючих теоретичних і практичних матеріалів модернізувати АСУТП прокатки листа в чистовій кліті ТЛЦ.

Виклад основного матеріалу. При реверсивній прокатці в чорновій чотирьохвалкової кліті отримують гуркіт товщиною від 20 до 75 мм, який по рольгангу подається до чистової чотирьохвалкової кліті. Тут смуга розкочується до товщини 5-50 мм за кілька реверсивних проходів. Особливістю клітей є індивідуальний електродвигун для кожного валка. У чорновій і чистовій групах стану зусилля прокатки складає 46 мН.

Гідравлічна система противигибу валків чотирьохвалкових клітей листових прокатних станів включає гідроциліндри противигибу 1 і 2, встановлені в подушках нижніх робочих

валків з боку приводу і перевалки, масляний бак, теплообмінник для охолодження масла, насосні установки і блок управління гідросистеми.

При цьому штоки гідроциліндрів нижніх валків взаємодіють з подушками верхніх робочих валків. Технічним результатом є підвищення точності прокатки і якості прокатуваних смуг, надійності гідросистеми противигибу валків і обладнання валкової системи, скорочення витрат прокатних валків і підшипників валків, аварійних простоїв прокатного стану і підвищення його продуктивності.

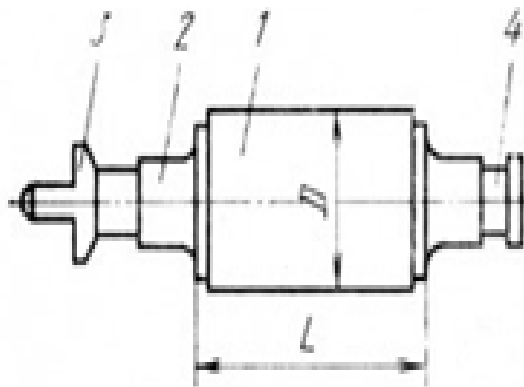


Рисунок 2 – Схема робочого валка

Валки є основним робочим інструментом, який виконує безпосередньо деформацію металу (рис. 2).

Вони складаються з бочки 1, що контактує з металом, двох шийок 2, які розташовуються в підшипниках, приводного 3 і перевалочного 4-решт, що забезпечують зв'язок з механізмами, які передають обертання від електродвигуна, і перевалочним пристроєм.

Матеріал робочих валків - чавун, сталь, тверді сплави. При виготовленні валків застосовуються високовуглеродні середньолеговані марки сталі які містять хром, вольфрам, ванадій, які в результаті відповідної термообробки стану або станів одного типу, не існують. Розрахунок і підбір профілювання здійснюється в приватному порядку для кожного стану, і з урахуванням його сортаменту. В даний час значні успіхи в створенні необхідного робочого профілювання досягаються застосуванням систем противигибу робочих валків. Примусовий вигин здійснюється за допомогою гідромеханічних пристроїв у площині, перпендикулярній площині прокатки [2].

На рис. 3 представлена загальна схема противигибу («гідровигибу») робочих валків. P - зусилля прокатки; b - ширина смуги; q - погонне зусилля прокатки (на одиницю ширини смуги); Q - зусилля гідровигибу. Електрогідравлічна система противигибу призначена для підтримки заданого зусилля (тиску) противигибу робочих валків чистових клітей стану. Регулятором тиску є однокаскадний електрогідравлічний підсилювач потужності (сервоклапан) струминного типу. Завдання зусилля (тиску) проводиться дистанційно з комп'ютерного пульта управління противигибом або з резервного ручного пульта. Оператор задає від 15 до 100 т як з боку приводу, так і перевалки.

Інформаційні технології

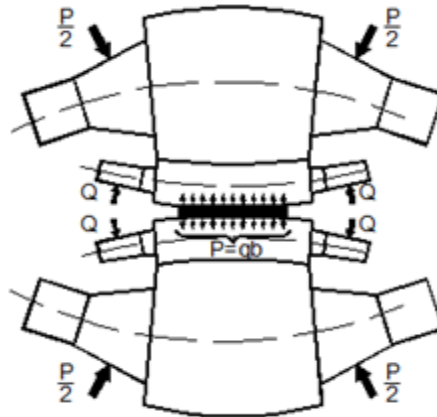


Рисунок 3 – Схема гідравлічного зусилля по кожній з клітей незалежно в діапазоні вигину робочих валків

Система після модернізації повинна виконувати забезпечення стабільності вигину робочих валків, що впливають на різнотолщинність смуги яка прокочується; загальний контроль, облік і візуалізацію параметрів технологічного процесу. Пропонується побудова АСУ противигибом робочих валків по тривірневному принципу. Нижній рівень - датчики (ДТ, ДР, Дтем.), виконавчі механізми, різні сигналізатори. Середній рівень включає програмований логічний контролер (ПЛК), фірми Omron серії C200HX, об'єднаний в загальну локальну мережу. Даний контролер планується змінити на більш нову версію того ж виробника. Верхній рівень включає автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора, виконане на базі ІВМ-сумісного персонального комп'ютера.

Розроблено програму в середовищі InTouch, що реалізує візуалізацію технологічного процесу, збір і зберігання даних, сигналізацію про виникнення нештатних ситуацій, при необхідності, дистанційну зміну режимів роботи виконавчих пристроїв на контрольованому пункті.

Розроблена функціональна схема. Робота якої полягає в наступному. Перевіряється рівень масла (робочої рідини) і її температура, які повинні бути в робочих діапазонах. Перевіряється, щоб рукава були приєднані до плунжерних блоків, відкриті кульові вентиля на кожній клітці. Щоб запустити насосну станцію відкривається загальний всмоктуючий ventиль. Запускаються з пульта управління електродвигуни насосів. Після набору електродвигуна робочих оборотів спрацьовують електромагніти запобіжно-розвантажувальних клапанів і насоси встають під навантаження, тиск в гідросистемі зростає до робочого (20..21 мПа). Відповідно до вибору оператора для кожного робочого каналу один з сервоклапанів за допомогою гідророзподільника перемикає режим роботи підключається до насосної станції і плунжера противигибу. Електромагніти гідророзподільників розвантаження знеструмлюються. З автоматизованої робочої станції оператор задає по кожному з працюючих каналів необхідне зусилля противигибу. Система управління за завданням і показаннями датчиків тиску (ДТ) формує керуючий сигнал на обмотки електромеханічного перетворювача струминного сервоклапану. У відповідність з цим струмовим сигналом струменева трубка займає таке положення, при якому в порожнинах плунжерів підтримується необхідний тиск (зусилля) противигибу робочих валків.

Усі технологічні параметри і технологічний процес відображаються на АРМ оператора з можливістю оперативного втручання і зміни значень основних регульованих параметрів. Функціональна схема представлена в структурному вигляді (рис. 4).

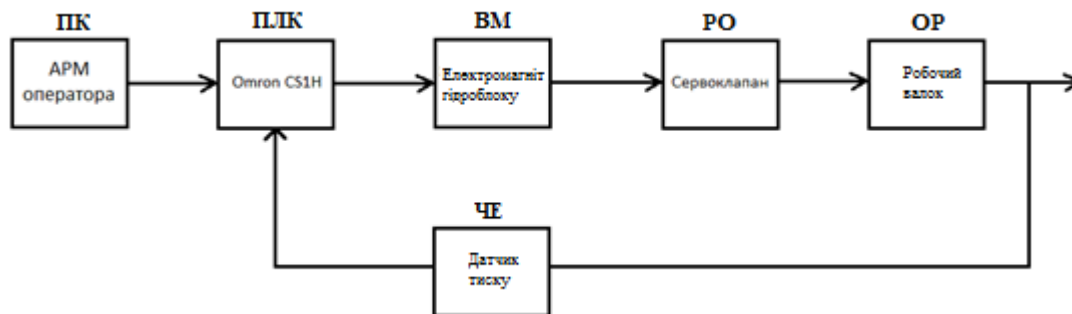


Рисунок 4 – Структурна схема АСУ противигином

У представленій АСУ противигином як пульт управління використовуватимемо ПК зі встановленою на ньому системою візуалізації InTouch, яка буде стежити за технологічним процесом і керувати роботою системи противигибу.

Виконавчим механізмом (ВМ) системи є електромагніти гідроблоків EM1-EM5, які з високою точністю обробляють сигнал, що надходить від контролера. Дані електромагніти здатні працювати в важких промислових умовах.

Регулюючим органом (РО) є електрогідравлічні струменеві підсилювачі потужності (сервоклапани). На блок встановлюється два струменевих сервоклапани - основний і резервний. Сервоклапан підключається в роботу гідророзподілювачем при спрацьовуванні електромагніту з боку отвору. Розподільник розвантаження з'єднує вихідну лінію блоку зі зливом з часом перевалки. Вбудований фільтр грубої очистки захищає гідроапаратуру від забруднень. У вихідній лінії блоку встановлений датчик тиску. Об'єктом регулювання є робочі валки клітей. Чутливим елементом системи є датчики тиску, встановлені на вихідних лініях блоків на клітях.

Вибір датчика тиску надлишкового МЗС-ДІ-13П в такій системі закономірний, тому що його використання вигідно як з економічної точки зору, так і з технічної. ДТ довговічний, надійний, простий при монтажі та експлуатації. За рахунок нього забезпечується більша точність вимірювання. Короткий час спрацьовування гарантує оптимальне управління процесом. Так само в системі встановлено датчик рівня Gems Sensors і датчик температури TCM-50. Сигнали з датчиків надходять до контролеру CS1H. Заміна контролера Omron C200HX на CS1H обумовлюється високою швидкістю останнього, великою кількістю входів / виходів, більш простий пусконаладженням, є можливість подальшого розширення, він апаратно сумісний з вибраними чутливим елементами системи і ВМ, просте підключення і пусконаладження до промислових мереж, довговічність (в умовах правильного використання протягом всього терміну експлуатації, заявленого виробником), надійність роботи. Схема функціонує наступним чином: сигнал з датчика тиску надходить на контролер, в якому відбувається порівняння поточного значення з заданим, і, в разі неузгодженості, контролер виробляє керуючий сигнал, на виконавчий механізм, який в свою чергу впливає на

регулюючий орган, тим самим регулюється тиск в системі, і вона приходить до необхідного стану [3].

Зроблено вибір комплексу технічних засобів і моделювання об'єкта автоматизації. Для візуалізації технологічного процесу пропонується використовувати SCADA-систему InTouch, що дозволить вирішити такі завдання:

- збір сигналів з датчиків тиску, температури, рівня робочої рідини в насосній станції, а також з датчиків тиску на клітях, що визначають поточний стан технологічного процесу;
- графічне відображення зібраних з контролера даних на екрані комп'ютера;
- контроль за станом основних технологічних параметрів та генерація сигналів тривоги і видачі повідомлень оператору в графічній і текстовій формі в разі виходу їх за межі заданого діапазону;
- автоматичне ведення архіву трендів і подій, в якому реєструється зміна виробничих параметрів [4].

ВИСНОВКИ

В результаті пропонованої модернізації пропонується установка потужного, продуктивного і завадостійкого контролера фірми Omron серії CS1H. Розроблено нову функціональну схему системи, яка дозволить усі технологічні параметри і технологічний процес відобразити на АРМ оператора з можливістю оперативного втручання і зміни значень основних регульованих параметрів.

Пропонується установка SCADA-системи, яка значно спростить контроль за ходом технологічного процесу і дозволить контролювати і управляти основними регульованими параметрами з мінімальним втручанням в хід технологічного процесу людини.

Перелік використаних джерел:

1. *Покровский, А. М.* Расчет усилий противоизгиба прокатного стана кварто с учетом остаточных термонапряжений в валках / *А. М. Покровский, Е. Б. Бочектуева* // Производство проката. – 2009. – № 2. – С. 14–18.
2. *Бахтинов, В. Б.* Технология прокатного производства. / *В. Б. Бахтинов.* – Москва : Металлургия, 1998. – 488 с.
3. *Бунин, В. К.* SCADA-системы : проблема выбора. Современные технологии автоматизации / *В. К. Бунин, В. А. Аноприенко.* – М. : Металлургия, 1999. – 150 с.
4. Omron EMEA [Electronic resource]. – Mode of access: <http://industrial.omron.ru>.

Добровольская Л. А., Серда С. Е.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ПРОКАТКИ ЛИСТА В ЧИСТОВОЙ КЛЕТИ ТЛЦ

В статье рассматривается гидравлическая система противоизгиба валков четырехвалковых клетей листовых прокатных станков. Электрогидравлическая система противоизгиба предназначена для поддержания заданного усилия (давления) противоизгиба рабочих валков чистовых клетей стана. Валки являются основным рабочим инструментом, производящим непосредственно деформацию металла. Поэтому модернизация АСУ

противоизгибом рабочих валков клетей, которая позволит обеспечить требуемое качество горячей прокатки полос, улучшить технико-экономические показатели работы стана в целом, повысить уровень охраны труда персонала, внедрить визуализацию технологического процесса и управление противоизгибом с помощью ЭВМ, а также обеспечить регистрацию и учёт всех необходимых технологических параметров в клети весьма актуальна.

После проведенной модернизации система должна обеспечить стабильность изгиба рабочих валков, влияющих на разнотолщинность прокатываемой полосы; общий контроль, учет и визуализацию параметров технологического процесса. Предлагается построение АСУ противоизгибом рабочих валков по трехуровневому принципу. Разработана новая функциональная схема системы, которая позволит все технологические параметры и технологический процесс отобразить на АРМ оператора с возможностью оперативного вмешательства и изменения значений основных регулируемых параметров. Предлагается установка мощного, производительного и отказоустойчивого контроллера фирмы Omron серии CS1H. Произведен выбор комплекса технических средств и моделирование объекта автоматизации. Для визуализации технологического процесса предлагается установка SCADA-системы, которая значительно упростит контроль за ходом технологического процесса и позволит контролировать и управлять основными регулируемыми параметрами с минимальным вмешательством в ход технологического процесса человека.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, чистовая клеть, противоизгиб рабочих валков, SCADA-система, математическая модель, структурна схема, функциональна схема, комплекс технических средств.

Dobrovolskaya L. O., Sereda S. E.

MODERNIZATION OF AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS FOR SHEET ROLLING IN THE FINISHING STAND OF THE TSS

The article discusses the hydraulic system of anti-bending rolls of four-roll stands of sheet rolling mills. The electro-hydraulic anti-bending system is designed to maintain a given anti-bending force (pressure) of the work rolls of the mill finishing stands. Rolls are the main working tool that directly produces metal deformation. Therefore, the modernization of the automated control system by the anti-bending of the work rolls of the stands, which will ensure the required quality of hot rolling of strips, improve the technical and economic performance of the mill as a whole, increase the level of labor protection of personnel, introduce visualization of the technological process and control of anti-bending using a computer, and also ensure registration and accounting all the necessary technological parameters in the stand is very relevant.

After the modernization, the system should ensure the stability of the bending of the work rolls, affecting the thickness of the rolled strip; general control, accounting and visualization of process parameters. It is proposed to construct ACS by anti-bending of work rolls according to a three-level principle. A new functional diagram of the system has been developed, which will allow all technological parameters and the technological process to be displayed on the operator's workstation with the possibility of surgical intervention and changing the values of the main adjustable parameters. The installation of a powerful, productive, and fault-tolerant Omron controller from the CS1H series is proposed. A selection of a set of technical means and modeling of an automation object were made. To visualize the technological process, it is proposed to install a

SCADA system, which will greatly simplify the control of the technological process and will allow controlling and controlling the main adjustable parameters with minimal interference in the human technological process.

Keywords: automatic regulation, finishing stand, work roll anti-bending, SCADA-system, mathematical model, structural scheme, functional scheme, a set of technical means.

Рекомендовано до публікації: доц., канд. техн. наук Кравченко В. П. д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Сомотугін С.С.

Стаття надійшла 19.10.2020 р.

Рекомендована к публікації:

Стаття надійшла 2019 р.

УДК 004.85

Кравченко А. О., Воротнікова З. Є.

ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА АНАЛІЗУ ВІДГУКІВ ТА ДУМОК

У даній статті розглянуто основні проблеми обробки природної мови, основні підходи до необхідності структуривання та систематизації даних, аналізу емоційного забарвлення тексту та можливості подальшого використання, отриманих результатів. Проведено аналіз ефективності методів класифікації. Спроектовано систему аналізу відгуків, побудована модель класифікації тональності. Завдання обробки тексту зводяться до задач машинного навчання, де потрібно сформувавши вектор ознак і створити навчальну вибірку. Потім класифікатор навчається за вибіркою і перевіряється якість класифікації на колекції текстів певної предметної області. В якості базових класифікаційних ознак для методів машинного навчання розглядаються всі слова документа за винятком службових частин мови, числівників і дат, а також прості іменні групи. Для збільшення кількості ознак пропонують лінгвістичний підхід, розширюючи список атрибутів за рахунок синонімів і гіпонімів з використанням словників оціночної лексики. Програмно реалізовано ключовий модуль до запропонованого підходу за допомогою мови програмування Python. В процесі тестування використовувалася бібліотека scikit-learn, що реалізує множину алгоритмів машинного навчання в тому числі SVM і k-найближчих сусідів. Також була використана бібліотека для обробки текстів на природних мовах NLTK, в якій реалізований найвигідніший байєсовий класифікатор. Для тестування алгоритмів було використано метод перехресної перевірки. Основним результатом роботи є те, що під час її написання було запропоновано спосіб кодування послідовностей ключів для побудови стислої змісти відгуку. Наукова новизна роботи визначається ґрунтовним дослідженням можливостей використання різних видів кодування шаблонів для семантичних кортежів. Практична значущість роботи полягає у детальній розробці алгоритму аналізу тональності універсальних текстів.

Ключові слова: аналіз електронних документів, тональність тексту, автоматичний аналіз текстів, емоційне забарвлення, форма Бекуса–Наура.

Постановка проблеми. Сучасне суспільство, підприємства та організації дослухаються та завжди бажають дізнатися думки своїх споживачів або користувачів щодо

процесу надання чи отримання послуг, відгуки на якість продуктів та комфорт від використання. Самі споживачі також хочуть мати відгуки вже існуючих користувачів продукту, на етапі що попередує процесу покупки чи отриманню певної послуги перед її оплатою, думки інших людей щодо політичних кандидатів до прийняття рішення за кого голосувати на політичних виборах тощо. Отримання і накопичення думок споживачів і громадян вже давно стали серйозним і великим бізнесом.

Зараз спостерігається стрімке зростання соціальних медіа (наприклад, огляди, форуми обговорення, блоги, мікро-блоги, telegram-канали, Twitter, коментарі та повідомлення в соціальних мережах) в Інтернеті, приватні особи та організації все частіше використовують результати обробки даних у цих середовищах для прийняття рішень. Сьогоднішній покупець, який бажає купити певний продукт, уже не обмежується лише опитуванням своїх друзів і родини, він має змогу самостійно сформувати свою думку, спираючись на результати пошукових запитів і відгуків користувачів, та обговорення на різних форумах в Інтернеті про обраний продукт. Одночасно з цим для організації вже не потрібно проводити опитування, залучати додаткові кошти та професійні ресурси на проведення анкетування, і фокусні групові співбесіди, щоб отримати релевантні відгуки від своїх користувачів, тому що є велика кількість такої інформації у відкритому доступі. Тим не менш, постійний пошук і моніторинг сайтів в Інтернеті, відбір необхідної інформації, залишаються доволі складним завданням через надвелику кількість інформаційних потоків такої інформації. Кожен ресурс, як правило, містить величезний обсяг неструктурованого і нечищеного тексту, який містить необхідну інформацію щодо певного продукту чи певної послуги, але цю інформацію не завжди легко виявити серед так званого інформаційного шуму. Середньо статичний користувач завжди стикається з труднощами із визначенням відповідних ресурсів, видобуванням та інтерпретацією потрібної інформації.

З цієї причини широкого поширення набула область комп'ютерної лінгвістики, спрямована на автоматичну обробку текстів на природній мові. Завдання обробки текстів можна розбити на дві умовні категорії. До першої відносяться завдання, з якими щодня стикається будь-який користувач: перевірка орфографії, фільтрація спаму. З точки зору дослідників в галузі автоматичної обробки текстів, всі ці завдання майже вирішені, і сьогодні більш актуальні завдання з другої категорії, які потребують обробки великих текстових масивів: аналіз думок і відгуків, знаходження релевантних відповідей на питання (завдання «питання-відповідь»), конструювання рекомендаційних систем, що працюють з великими масивами неструктурованих даних. Відмітна особливість таких завдань - їх складність і відсутність формалізації, що призводять до того, що для них поки що немає повноцінного набору рішень, а застосовуються допоміжні методи класифікації текстів і виділення ключових слів і словосполучень [1].

Таким чином, розробка системи аналізу думок споживачів в соціальних мережах є актуальним завданням на сьогоднішній день.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методам та моделям пошуку, обробки та аналізу текстової інформації в комп'ютерних системах та мережах присвячені праці таких вітчизняних вчених як П. І. Браславський, М. С. Агеев, Г. Г. Белоногов, Б. В. Добров, І. Є. Кураленок, Д. В. Ланде, Ю. М. Ліфшиц, І. С. Некрест'янов, О. В. Пескова. Також уваги заслуговують праці зарубіжних науковців I. Dagan, S. Dumais, M. Halkidi, T. Joachims, T. Kohonen, D. Lewis, X. Liu, J. Platt, R. Schapire, H. Schutze, F. Sebastiani, Y. Yang, J. Hajic, E. Hajicova, P. Pecina і ряду інших. Перерахованими авторами розроблені основне теоретичні

аспекти аналізу текстів природною мовою. Завдання аналізу думок як завдання аналізу тональності текстів досить добре вивчена. Роботи [2-4] дають розгорнутий огляд багатьох існуючих автоматичних методів класифікації текстів, вилучення складових компонент продуктів з наступною категоризацією слів по тематиках. Однак, в даний час завдання автоматичного вилучення висловлювань, виконується, як правило, лиш за допомогою лінгвістичних правил на основі ключових слів, базових тематичних моделей і методів машинного навчання на невеликому наборі ознак. Таким чином, задачі аналізу відгуків користувачів є актуальною і необхідною прикладною задачею.

Мета дослідження. Проаналізувати методи обробки та аналізу текстів на природних мовах, розробити систему, що робить аналіз тональності відгуків, порівняти ефективність методів класифікації.

Основний матеріал дослідження. Тексти на природній мові являють собою слабо структуровану інформацію, тому їх обробка є надскладним завданням, яке виходить за рамки традиційної алгоритмічної обробки звичайних структурованих даних. Для того щоб отримати з текстів корисну інформацію, необхідно їх структурувати, класифікувати, видалити інформаційний шум, упорядкувати, систематизувати, забезпечити пошук текстів за запитом користувача. Для аналізу тональності і емоціонального забарвлення тексту необхідно визначити, чи є даний текст (припустимо огляд фільму або коментарі) позитивним, негативним або нейтральним за своїм впливом на репутацію конкретного об'єкта. Труднощі аналізу тональності полягає в присутності емоційного збагачення мови - сленгу, багатозначність, невизначеність, сарказму чи використання спец символів, які показують емоційну складову тексту.

Завдання обробки тексту зводяться до задач машинного навчання, де потрібно сформуванати вектор ознак і створити навчальну вибірку. Потім класифікатор навчається за вибіркою і перевіряється якість класифікації на колекції текстів певної предметної області.

В якості базових класифікаційних ознак для методів машинного навчання розглядаються всі слова документа за винятком службових частин мови, числівників і дат, а також прості іменні групи. Для збільшення кількості ознак пропонують лінгвістичний підхід, розширюючи список атрибутів за рахунок синонімів і гіпонімів з використанням словників оціночної лексики.

Для створення навчальної вибірки ми використовували відкритий набір даних з сайту www.kaggle.com, а саме, набір, який включає в себе дані з 50000 оглядів фільмів з сайту IMDb, спеціально відібраних для аналізу тональності. IMDb - база даних фільмів в Інтернеті (англ. Internet Movie Database, IMDb) — найбільша база даних та вебсайт про кінематограф. У базі зараз зібрана інформація про більш ніж 4,7 мільйони фільмів і телесеріалів, є інформація майже про 6,9 мільйонів акторів, режисерів та інших професіоналів кіно зі всього світу.

Кожен запис цього набору даних складається з наступних полів:

- ID - унікальний ідентифікатор кожного огляду;
- Sentiment – коефіцієнт тональності огляду; 1 або 0;
- Review - Текст огляду.

Коефіцієнт визначається за наступною формулою:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x)}}$$

де, $\bar{\beta}$ - це коефіцієнти отримані на основі навчання на тестових даних. Дана формула в кінцевому рахунку повертає значення від 0 до 1, тобто чим ближче до 0, тим більше вірогідності, що текст несе негативну інформацію.

Алгоритм реалізовано на мові Python, та за використанням необхідних бібліотек. Наведені фрагменти тексту потребують первинної обробки. На цій стадії з тексту видаляються всі html теги, пунктуації, символи. Дана операція здійснюється за допомогою бібліотеки Python - «Beautiful Soup». Також всі числа і посилання в тексті замінюються на теги. Далі в тексті присутні слова, які в основному не несуть ніякого смислового навантаження (наприклад, в англійській мові це такі слова як «the, at, about ...»), вони видаляються за допомогою пакета Python «Natural Language Toolkit (NLTK)».

Наприклад: «Moonlight is a detective series with elements of comedy and melodrama, I enjoyed watching it on television last year».

Після попередньої обробки вихідного тексту ми отримуємо набір слів:

[detective, series, elements, comedy, melodrama, enjoyed, watching, television]

При автоматизованій обробці інформації дані необхідно представити у кодованому вигляді. Тому представимо будь-який текст у вигляді вектору з чисел. Для цього можна скласти словник з усіма словами, тобто об'єднати всі слова, які зустрічаються в текстах в один великий словник, або ж використовувати готові словники. Далі треба замінити слова у базис-векторі індексом 1, якщо воно є у тексті. Тобто припустимо ми маємо всього три огляди з наступними векторами слів:

- [detective, series, television]
- [elements, comedy, melodrama]
- [enjoyed, watching]

Об'єднуючи все слова зі списку в один, ми отримуємо наступний відсортований словник - базис вектор: [comedy, detective, elements, enjoyed, melodrama, series, television, watching]

Замінюючи попередні вектори на індекс слова в словнику отримуємо наступне:

- [0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0]
- [1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0]
- [0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0]

Таким чином отримуємо вектор для кожного тестового відкликання.

Даний підхід називається «мішок слів» або ж "Bag-Of-Words". У цій моделі текст (наприклад, речення або документ) представляється у вигляді так званої «торби» (мультимножини) його слів, не беручи до уваги граматику і навіть порядок слів, але зберігаючи множинність. При порівнянь двох векторів використовується точний збіг слів, при цьому є можливість втрати важливої інформації. Одна з таких «втрат» інформації є семантика слова. Наприклад, ми з легкістю можемо замінити слово «чорний» на слово «темний», так як їх зміст дуже схожий. Такі слова можна назвати - семантично схожі групи слів.

Буде краще, якщо замінити кожне слово в списку номером його семантичної групи. У підсумку отримуємо щось на кшталт «Мішка слів», але з більш глибоким змістом. Для цього використовується технологія Word2Vec від Google. Його можна знайти в пакеті бібліотеки gensim, з вбудованими моделями Word2Vec. Суть моделі Word2Vec полягає в наступному - на вхід дається великий обсяг тексту (в нашому випадку приблизно 10000 відгуків), тоді на

виході ми отримуємо зважений вектор для кожного слова, фіксований довжини (довжина вектору задається вручну), яка зустрічається в датасету. Наприклад для слова «men», порівнюючи з усіма словами і сортуючи в порядку спадання був отриманий такий результат (за міру близькості було вибрано косинусна відстань).

Таблиця 1 – Word Cosine distance

Words	Measures
woman	0,6056
guy	0,4935
boy	0,4893
men	0,4632
person	0,4574
lady	0,4487
himself	0,4288
girl	0,4166
his	0,3853
he	0,3829

Далі, щоб визначити близькі за змістом слова використовуються методи кластеризації. Щоб укласти правила для визначення емоційних елементів користуються способом запису правил контекстно-вільної граматики, що називаються Нотації Бекуса-Наура (англ. Backus-Naur form, BNF). Ці нотації використовують для запису правил мов програмування та протоколів комунікації.

Нотація БНФ є набором «продукцій», кожна з яких відповідає зразку: <символ> ::= <вираз, що містить символи>, де вираз, що містить символи – це послідовність символів або послідовності символів, розділених вертикальною рисою |, що повністю перелічують можливий вибір символу з лівої частини формули.

Наведені символи є символами мета-мови, вони не визначені у мові, котру описують:

- < – лівий обмежувач виразу;
- – правий обмежувач виразу;
- ::= – визначене як;
- | – або.

Решта описаних символів належать до «абетки» описуваної мови. Розширена форма Бекуса-Наура (розширена Бекус-Наурова форма (РБНФ)) (англ. Extended Backus–Naur Form (EBNF)) – формальна система визначення синтаксису, за якою одні синтаксичні категорії послідовно визначаються через інші. Використовується для опису контекстно вільних формальних граматики. Є розширеною переробкою форм Бекуса-Наура, відрізняється від БНФ «ємними» конструкціями, що дають змогу за тієї самої виразної здатності спростити і скоротити в обсязі опис [3].

Для розв'язання задачі класифікації було обрано три алгоритми: найвний байєсовий класифікатор, метод опорних векторів та метод k-ближчих сусідів.

Метод Байєса має високу швидкість роботи, простотою математичної моделі і показує хороші результати в застосування до реальних завдань [5]. Цей метод часто використовується в якості базового методу при порівнянні різних методів машинного навчання.

Метод опорних векторів показує досить хороші результат при знаходженні

вирішальною функцій, недоліком є те, що він чутливий до шумів і стандартизації даних, також не існує загального підходу до автоматичного вибору ядра в разі лінійної нероздільності класів [6].

Метод k-найближчих сусідів показує досить високу ефективність, але вимагає великих обчислювальних витрат, також пошук найближчого сусіда передбачає порівняння об'єкта, що аналізується з усіма об'єктами вибірки, що вимагає лінійного по довжині вибірки числа операцій [7].

В процесі тестування використовувалася бібліотека scikit-learn, що реалізує множину алгоритмів машинного навчання в тому числі SVM (метод опорних векторів) і k-найближчих сусідів. Також була використана бібліотека для обробки текстів на природних мовах NLTK, в якій реалізований наївний байесовий класифікатор.

Для тестування алгоритмів було використано метод перехресної перевірки. Перехресна перевірка виконується наступним чином:

- фіксується безліч розбиття навчальної вибірки на навчальну і тестову;
- для кожного розбиття відбувається навчання алгоритму на навчальній множині, потім тестування на тестовому;
- результатом перехресної перевірки алгоритму є середні значення оцінок ефективності для тестових підвбірок.

Таблиця 2 – Результати тестування алгоритмів

Алгоритм	Точність	Повнота	F-міра
Метод Байеса	0,88	0,77	0,82
Метод опорних векторів	0,85	0,74	0,79
Метод k-найближчих сусідів	0,70	0,75	0,72

Точність (precision) і повнота (recall) є класичними метриками, які використовуються для оцінки якості класифікаторів. Точність - це частка відгуків, що дійсно належать даному класу, щодо всіх відгуків, зарахованих класифікатором до цього класу. Повнота - відношення числа знайдених класифікатором відгуків, що належать класу, до числа всіх відгуків цього класу в тестовій колекції. Очевидно, що чим вище точність і повнота, тим краще. Однак найчастіше доводиться шукати баланс між цими величинами. Тому зручно ввести величину, яка б поєднувала в собі інформацію як про точність класифікатора, так і про його повноту. Метрика F-міра являє собою гармонійне середнє між точністю і повнотою.

Підсумкова модель класифікації даних використовує наївний байесовий класифікатор. Основною перевагою даної моделі є її висока точність для даної предметної області. З ростом кількості даних і появою нових об'єктів класифікація може погіршитися. Тому в міру зростання обсягів даних необхідно перенавчати класифікатор.

ВИСНОВКИ

Під час дослідження даної тематики було вивчено сучасні концепції автоматичної обробки текстів. Проаналізовано підходи до аналізу тональності відгуків. Спроектовано систему автоматичного аналізу відгуків. Порівняно ефективність методів класифікації.

Основним результатом роботи є те, що під час її написання було запропоновано спосіб кодування послідовностей ключів для побудови стислого змісти відгуку. Наукова новизна

роботи визначається ґрунтовним дослідженням можливостей використання різних видів кодування шаблонів для семантичних кортежем. Практична значущість роботи полягає у детальній розробці алгоритму аналізу тональностей універсальних текстів.

Список використаних джерел:

1. *Iacob, C.* Online Reviews as First Class Artifacts in Mobile App Development [Electronic resource] / *C. Iacob, R. Harrison, S. Faily* // Mobile Computing, Applications, and Services. MobiCASE 2013 : 5th International Conference (Paris, 7–8 November 2013 y.) : proceedings. – [S. l.], 2014. – P. 47–53. – (Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering book series (LNICST, vol. 130). – Mode of access: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05452-0_4
2. *Pang, B.* Opinion Mining and Sentiment Analysis [Electronic resource] / *B. Pang, L. Lee* // Foundations and trends in information retrieval. – 2008. – Vol. 2, N 1-2. – P. 1–135. – Mode of access: <https://doi.org/10.1561/1500000011>
3. *Moghaddam, S.* Beyond Sentiment Analysis : Mining Defects and Improvements from Customer Feedback [Electronic resource] / *S. Moghaddam* // Advances in Information Retrieval : 37th European Conference on IR Research, ECIR 2015 (Vienna, March 29 – April 2, 2015 y.) : Proceedings. – P. 400–410. – (Lecture Notes in Computer Science, vol. 9022). – Mode of access: https://doi.org/10.1007/978-3-319-16354-3_44
4. *Gupta, N. K.* Extracting descriptions of problems with product and services from twitter data / *N. K. Gupta* // Proceedings of the 3rd Workshop on Social Web Search and Mining (SWSM2011) (Beijing, 2011-07-28). – [S. l.], 2011.
5. *Domingos, P.* On the optimality of the simple *Bayesian* classifier under zero-one loss / *P. Domingos, M. Pazzani* // Machine Learning. – 1997. – N 29. – P. 103–137.
6. *Воронцов, К. В.* Лекции по методу опорных векторов : курс лекций / *К. В. Воронцов*. – М. : МГУ, 2007. – 18 с.
7. *Larose, D. T.* Discovering *knowledge* in data: an introduction to data mining / *D. T. Larose*. – New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2005. – 240 p.

Воротникова З. Е., Кравченко А. А.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И АНАЛИЗА ОТЗЫВОВ И МНЕНИЙ

В данной статье рассмотрены основные проблемы обработки естественного языка, основные подходы к необходимости структурирования и систематизации данных, анализа эмоциональной окраски текста и возможности дальнейшего использования, полученных результатов. Проведен анализ эффективности методов классификации, спроектирована система анализа отзывов, построена модель классификации тональности. Задача обработки текста сводятся к задачам машинного обучения, где нужно сформировать вектор признаков и создать обучающую выборку. Затем классификатор учится по выборке

и проверяется качество классификации на коллекции текстов определенной предметной области. В качестве базовых классификационных признаков для методов машинного обучения рассматриваются все слова документа за исключением служебных частей речи, числительных и дат, а также простые именные группы. Для увеличения количества признаков предлагают лингвистический подход, расширяя список атрибутов за счет синонимов и гипонимов с использованием словарей оценочной лексики. Программно реализовано ключевой модуль к предложенного подхода с помощью языка программирования Python. В процессе тестирования использовалась библиотека scikit-learn, которая реализует множество алгоритмов машинного обучения в том числе SVM и k-ближайших соседей. Также была использована библиотека для обработки текстов на естественных языках NLTK, в которой реализован наивный байесовый классификатор. Для тестирования алгоритмов был использован метод перекрестной проверки. Основным результатом работы является то, что во время ее написания был предложен способ кодирования последовательностей ключей для построения сжатого содержания отклика. Научная новизна работы определяется подробным исследованием возможностей использования различных видов кодирования шаблонов для семантических кортежей. Практическая значимость работы заключается в детальной разработке алгоритма анализа тональностей универсальных текстов.

Ключевые слова: анализ электронных документов, тональность текста, автоматический анализ текстов, эмоциональная окраска, форма Бекуса-Наура.

Vorotnikova Z. J., Kravchenko A. O.

DESIGNING AN AUTOMATIC SYSTEM FOR COLLECTING AND ANALYZING REVIEWS AND OPINIONS

This article considers the main problems of natural language processing, the main approaches to the need for structuring and systematization of data, analysis of the emotional color of the text and the possibility of further use, the results. The analysis of efficiency of classification methods is carried out. The system of analysis of responses is designed, the model of classification of tonality is constructed. The tasks of word processing are reduced to the tasks of machine learning, where you need to form a vector of features and create a training sample. Then the classifier is studied by sampling and the quality of classification on a collection of texts of a certain subject area is checked. As basic classification features for machine learning methods, all words of the document are considered, except for official parts of speech, numerals and dates, as well as simple noun groups. To increase the number of features, a linguistic approach is offered, expanding the list of attributes due to synonyms and hyponyms using dictionaries of evaluative vocabulary. The key module to the proposed approach is programmatically implemented using the Python programming language. The test used the scikit-learn library, which implements many machine learning algorithms, including SVM and k-nearest neighbors. The NLTK natural language text library, which implements a naive Bayesian classifier, was also used. The cross-checking method was used to test the algorithms. The main result of the work is that during its writing a method of encoding key sequences was proposed to build a concise content of the response. The scientific novelty of the work is determined by a thorough study of the possibilities of using different types of coding templates for semantic tuples. The practical significance of the work lies in the detailed development of the algorithm for analyzing the tonalities of universal texts.

Keywords: *analysis of electronic documents, tonality of the text, automatic analysis of texts, emotional coloring, Beckus-Naur form.*

Рецензент: канд. техн. наук ДВНЗ «ПДТУ» Десятський С. П.

Стаття надійшла 15.11.2019 р.

УДК 004.42

Міроненко Д. С., Сезін Б. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЗАМОВЛЕНЬ В ЦЕНТРАХ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Проведено аналіз методів багатокритеріальної оптимізації (принципу Парето, методу головного критерію, методу лінійної згортки, макс-мінної згортки) і обраний метод лінійної згортки, який підходить для вирішення завдання. Даний метод має багато переваг над іншими, а саме враховує не тільки фактори, але і їхню соціальну значимість для виконання замовлення, враховує нерівність значень факторів, може застосовуватись до факторів які не мають єдиного типу даних. В результаті використання даного методу ми отримуємо перелік замовлень з призначенням їм пріоритетом виконання для кожного майстра окремо.

В статті вирішена задача багатокритеріального вибору найбільш значущого замовлення шляхом застосування методу лінійної згортки. Відображено основні етапи реалізації даного методу для конкретних початкових умов та заданих критеріїв вибору. Розглянуто особливості реалізації методу лінійної згортки при збільшенні кількості критеріїв та змінних.

Наведені формули призначення пріоритету замовленню і впорядкування замовлень за пріоритетом на основі методу лінійної згортки за наступними критеріями: договір, укладений з клієнтом, тип обладнання, що потребує обслуговування, несправність, приблизний час, необхідний для ремонту несправності.

Програмна реалізація отриманої моделі може бути реалізована практично в будь-якій відкритій АІС в зв'язку зі своєю простотою реалізації і розуміння, а також адаптована для потреб будь-якого підприємства. Оптимізація порядку виконання замовлень дозволить підприємству знизити витрати часу, підвищить прибутковність підприємства, оптимізує час роботи співробітників. Вивільнений час працівники зможуть витратити на самовдосконалення та вивчення нових технологій, що знову ж таки позитивно вплине на подальший розвиток підприємства.

Ключові слова: *критерій, оптимізація, майстер, замовлення, метод лінійної згортки, багатокритеріальна задача.*

Вступ. В даний час одним з найбільш поширених в бізнесі взаємин є взаємовідношення виду «клієнт-виконавець». Мається на увазі, що на даний момент існує величезна кількість підприємств, що надають різного виду послуги множині клієнтів (замовників, абонентів, покупців). Періодично будь-яке підприємство зіштовхується з дилемою: як зробити так, щоб і всі без винятку клієнти залишилися задоволені, і підприємство отримало максимальний прибуток. Як розпорядитися своїми ресурсами максимально ефективно, так, щоб з найменшими витратами отримати найбільший прибуток.

Зниження витрат часу і рівномірне завантаження людських ресурсів набуває для бізнесу життєво важливе значення. Сьогодні найдоступнішим засобом підвищення ефективності для підприємств є автоматизація рутинних дій і бізнес-процесів. Прикладом досягнення даної мети виступає автоматизація упорядкування переліку замовлень на той чи інший вид послуг згідно визначеному пріоритету.

Замовлення є вельми динамічним явищем, що володіє масою параметрів, значення яких змінюються впродовж певного часу, а виконання того чи іншого замовлення не приносить для підприємства завжди один і той самий прибуток. Саме тому розподіл замовлень по майстрам з урахуванням багатьох умов та обмежень є актуальною задачею, а її вирішення можливе лише методами багатокритеріальної оптимізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує багато різних методів багатокритеріальної оптимізації. Всі вони поділяються на дві категорії: на кінцевій і безперервній множині альтернатив. В даному дослідженні мається кінцева кількість майстрів центра сервісного обслуговування серед яких потрібно розподілити замовлення, тобто кінцева множина альтернатив.

Існують наступні методи прийняття рішень багатокритеріальної задачі в умовах визначеності [1]:

- принцип Парето;
- метод головного критерію;
- метод лінійної згортки;
- макс-мінної згортки.

Принцип Парето [2] – це субоптимальне рішення багатокритеріальної задачі, знайдене за якимось одним критерієм без урахування інших критеріїв. Принцип Парето дозволяє звужити множину можливих претендентів на остаточне рішення, обмежившись елементами множини Парето, і виключити з розгляду свідомо неконкурентноспроможні варіанти. А остаточний вибір здійснюється на основі додаткової інформації від особи, що приймає рішення. Недоліком принципу Парето є те, що він пропонує множину рішень, що не завжди є прийнятним, оскільки для того, щоб вибрати з неї єдине рішення потрібні додаткові відомості, припущення, домовленість про те, що ж вважати найкращим рішенням (тобто, деяка додаткова інформація).

Основою методу головного критерію є вибір певної цільової функції, яка найбільш повно з точки зору дослідника відображає мету прийняття рішень. Передбачається, що обирається дослідником критерій – головний, тобто він має значно вищий пріоритет, ніж інші; однак значення другорядних критеріїв рішення, в свою чергу, не повинні бути низькими [1].

При застосуванні даного методу до предметної області, можна сказати, що головним критерієм вибору є клієнт, вірніше, рівень договору, який укладений з клієнтом. Як правило, клієнт, у якого з підприємством укладений договір найвищого рівня, буде обслужений першим, незалежно від інших факторів. Таким чином введемо критерій «рівень клієнту». Однак використання одного головного критерію неможливо, тому що таким чином не будуть враховані потреби майстрів виконавців замовлень, наприклад, їх завантаженість і прибуток від виконання замовлення.

Прямолінійний метод згортки – це найбільш часто вживаний метод згортки завдання, що дозволяє замінити векторний критерій оптимальності на скалярний. Він заснований на лінійному об'єднанні всіх приватних цільових функціоналів в один [2 - 4].

В рамках предметної області, функціоналами даного методу виступають критерії замовлення, такі як клієнт, тривалість перебування замовлення в роботі, місцезнаходження обладнання, його тип, тривалість виконання ремонтних робіт, прибуток, одержуваний підприємством за фактом виконання замовлення.

Максимінна згортка заснована на принципі рівності і веде до збільшення рівня мінімального критерію. Принцип рівності полягає в наступному: якщо у суб'єктів існують оцінки корисності, той цей принцип максимізує корисність найбільш слабкого суб'єкта. У разі, якщо немає обмежень, принцип призводить до рівності оцінок корисності [1].

Функціоналами даного методу виступають критерії замовлення, перераховані в попередньому методі. При застосуванні даного методу до предметної області, будуть отримані найменш ефективні рішення поставленого завдання, тобто, замовлення, з найменшим пріоритетом.

Сенс лексикографічної оптимізації в рамках предметної області виражається в тому, що спочатку проводиться максимінна згортка, результатами якої є перелік найменш пріоритетних замовлень, після чого з них вибираються найбільш значимі [3, 4].

Порівняння всіх перерахованих методів і знаходження найбільш оптимального надані в таблиці 1.

У зв'язку з проведеним аналізом, встановлено, що найбільше підходить метод лінійної згортки. Даний метод є оптимальним у зв'язку з тим, що враховує не тільки всі фактори, але і їхню соціальну значимість для виконання замовлення. Результатом застосування даного методу буде визначено не тільки найбільш пріоритетне замовлення, але і складено перелік замовлень які залишилися з призначеним їм пріоритетом, що, по суті, є упорядкуванням замовлень.

Метою даної статті є дослідження методів та алгоритмів, їх математичних принципів рішення багатокритеріальних задач вибору та розгляд найбільш поширених і ефективних з них для оптимізації розподілу замовлень по майстрам центра сервісного обслуговування клієнтів.

Виклад основного матеріалу. Вирішується задача оптимального розподілу замовлень серед майстрів центру сервісного обслуговування. Які критерії оптимальності розподілу обрано: f_1 – договір, f_2 – тип обладнання, f_3 – несправність, f_4 – час виконання.

Під згорткою критеріїв прийнято розуміти будь-яку числову функцію критеріїв [2].

Метод лінійної згортки – це найбільш часто вживаний метод згортки завдання, що дозволяє замінити векторний критерій оптимальності $f = (f_1, \dots, f_m)$ на скалярний $J : D \rightarrow R$. Його засновано на лінійному з'єднанні усіх часткових цільових функціоналів f_1, \dots, f_m до одного [4]:

Використання методу передбачає знаходження двох згорток:

- перша згортка відкидає недоміновані альтернативи за всіма критеріями;
- друга згортка – враховує вагові коефіцієнти важливості кожного з критеріїв та відкидає інші недоміновані альтернативи.

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i f_i(x) \rightarrow \max_{x \in D} \alpha_i, \quad (1)$$

При застосуванні методу лінійної згортки вводяться відносні вагові коефіцієнти важливості кожного критерію α_i , які у процентному відношенні відображають важливість кожного параметру для особи, що приймає рішення та задовольняють обмеженням

$$\begin{aligned} \alpha_i &> 0, \\ \sum_{i=1}^m \alpha_i &= 1. \end{aligned} \quad (2)$$

Вагові коефіцієнти α_i можуть при цьому розглядатися як показники відносної значущості окремих критеріальних функціоналів f_i . Чим більше значення надано критерієм f_i , тим більший внесок в суму (1) він повинен давати і, отже, тим більше значення α_i повинно бути обрано. При наявності істотно різнохарактерних часткових критеріїв зазвичай буває досить складно вказати остаточний набір коефіцієнтів α_i виходячи з неформальних міркувань, пов'язаних, як правило, з результатами експертного аналізу [2, 4].

В рамках предметної області, функціоналами даного методу f_i виступають критерії замовлення, такі як клієнт, тривалість перебування замовлення необробленим, місцезнаходження обладнання, його тип, тривалість виконання ремонтних робіт, прибуток, одержуваний підприємством за фактом виконання замовлення.

Ваговими коефіцієнтами α_i виступають «значущості» даних критеріїв для складання пріоритету виконання замовлення. Наприклад, дуже значущим критерієм є клієнт, і його ваговий коефіцієнт можна уявити як $\alpha_1 = 0,4$; в той час як час виконання ремонту хоч і є критерієм пріоритету, проте порівняно невеликим, і його ваговий коефіцієнт можна уявити як $\alpha_2 = 0,1$.

Таблиця 1 – Значення критеріїв $f_i(x)$

Вид критерію	Оцінка	Сума	Значення
Договір	4	10	0,4
Тип обладнання	3		0,3
Несправність	2		0,2
Час виконання	1		0,1

Лінійна згортка за критеріями – це один з методів для розв'язання багатокритеріальних задач, що визначає корисність особи, яка приймає рішення. Даний метод не тільки порівнює критерії, але також і їх пріоритети, які називаються «вагами критеріїв» [2].

Нехай є k критеріїв для i альтернатив. Якщо один з критеріїв є найкращим, то йому присвоюється найбільше значення (найчастіше одиниця), якщо ж варіант є гіршим - присвоюється 0, для інших альтернатив оцінки критеріїв вибираються десь в районі між гіршим і кращим варіантами. Потім кожному критерію присуджується пріоритет. Бажано не ставити пріоритет в значенні 0, тому що нуль означатиме, що критерій не має ніякого значення. Для визначення ваги до критерію використовується наступні методи: просте ранжування і пропорційний метод. При пропорційному методі порівнюються кілька критеріїв. Наприклад, якщо перший критерій (k_1) вважається в два раз важливіше другого критерію (k_2), то k_2 присвоюється значення рівне p , а k_1 дорівнюватиме $2p$.

Метод простого ранжування полягає в тому, що найважливішому критерію присвоюється оцінка n , а наступному за важливістю критерію присвоюється оцінка $n-1$ і так далі. Отримані оцінки складаються в суму, до одиниці. Після цього кожна оцінка критерію

ділиться на суму всіх оцінок і виходить вага критерію. Наприклад, перший критерій (k_1) має оцінку 1, другий критерій (k_2) – оцінку 3, а третій критерій (k_3) – оцінку 2, в сумі отримуємо 6. Отже, $k_1 = 1/6$, $k_2 = 3/6$, а $k_3 = 2/6$, відповідно їм критерії приблизно рівні 0,17; 0,5; 0,33. В кінцевому підсумку вийдуть суперкритерії шляхом множення оцінки критерію на його вагу [2].

Для поставленої задачі обрано пропорційний метод, так як даний метод дозволяє динамічно призначати вагу критеріям в замовленні.

При застосуванні пропорційного методу до призначення важливості критеріям, встановлено, що умови (1) виконуються: всі важливості більше нуля і в сумі дорівнюють одиниці ($0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,4 = 1$).

Також відомі такі характеристики замовлення і їх ваги (таблиця 2).

Таблиця 2 – Значення ваг критеріїв α_i

Вид критерію	Оцінка	Кількість оцінок по критерію	Сума	Значення
Договір	1	4	10	0,1
Тип обладнання	4	4	10	0,4
Несправність	2	3	6	0,3
Час виконання	5	5	15	0,3

Виходячи з вихідних даних про замовлення, його пріоритет за формулою (1) дорівнює:
 $J(x) = 0,4 \cdot 0,1 + 0,3 \cdot 0,4 + 0,2 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 0,3 = 0,25$.

Припущено також, що існує і ще одне замовлення, з відомими характеристиками і їх вагами (таблиця 3).

Таблиця 3 – Значення ваг критеріїв другого замовлення α_2

Вид критерію	Оцінка	Кількість оцінок по критерію	Сума	Значення
Договір	4	4	10	0,4
Тип обладнання	2	4	10	0,2
Несправність	2	3	6	0,3
Час виконання	5	5	15	0,3

Виходячи з вихідних даних про замовлення, його пріоритет за формулою (1) дорівнює:

$$J(x) = 0,4 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 0,3 = 0,34.$$

Отже, друге замовлення більш пріоритетне, ніж перше, і в списку буде відображено попереду першого.

Як результат, метод лінійний згортки цілком може бути застосований до вирішення завдання упорядкування замовлень.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз існуючих методів вирішення багатокритеріальної вибору (розподілу) завдання в умовах визначеності, які можуть бути використані для призначення пріоритету

замовленням, а в наслідок - упорядкування їх в порядку зменшення пріоритету. Було розглянуто питання про можливість застосування кожного з досліджених методів до предметної області.

Найбільш підходящим методом прийняття багатокритеріального рішення в предметній області обрано метод лінійної згортки, який дозволяє максимально виключити людський фактор з урахуванням всіх обраних критеріїв. Даний метод показує високу швидкодію, що дозволяє використовувати його в режимі реального часу, і легко змінюється при зміні кількості джерел та критеріїв вибору.

Список використаних джерел:

1. Сангинова, О. В. Многокритериальная оптимизация в задачах формирования кожевенных и меховых материалов / О. В. Сангинова, А. Г. Данилкович, С. В. Брановицкая // ScienceRise. – 2014. – № 2 (2). – С. 43–50.
2. Зайченко, Ю. П. Дослідження операцій : підручник / Ю. П. Зайченко. – 7-е вид., перероб. та доп. – К. : Слово, 2006. – 816 с.
3. Машнин, А. В. Метод линейной свёртки / А. В. Машнин, А. В. Тимофеев, В. Ю. Шаврин // Инновационная наука. – 2016. – № 1-3. – С. 39–40.
4. Микони, С. В. Теоретическое обоснование систематизации методов многокритериального выбора на конечном множестве альтернатив / С. В. Микони // Региональная информатика и информационная безопасность : сб. тр. – СПб., 2015. – Вып. 1. – С. 49–52.
5. Черноруцкий, И. Г. Методы принятия решений : учеб. пособие / И. Г. Черноруцкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 417 с.
6. Черноморов, Г. А. Теория принятия решений : учебное пособие / Г. А. Черноморов / Новочеркасск. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск, 2002. – С. 262–269
7. Лотов, А. В. Многокритериальные задачи принятия решений : учеб. пособие / А. В. Лотов, И. И. Поспелова. – М. : МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

Мироненко Д. С., Сезин Б. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКАЗОВ В ЦЕНТРЕ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Проведен анализ методов многокритериальной оптимизации (принципа Парето, метода главного критерия, метода линейной свертки, макс-минной свертки) и выбран метод линейной свертки, который подходит для решения задачи. Данный метод имеет много преимуществ перед другими, а именно учитывает не только факторы, но и их значимость для выполнения заказа, учитывает неравенство значений факторов, может применяться к факторам, которые не имеют единого типа данных. В результате использования данного метода мы получаем перечень заказов с назначенным им приоритетом выполнения для каждого мастера отдельно.

В статье решена задача многокритериального выбора наиболее значимого заказа путем применения метода линейной свертки. Отражены основные этапы реализации данного метода для конкретных начальных условий и заданных критериев выбора.

Рассмотрены особенности реализации метода линейной свертки при увеличении количества критериев и переменных.

Приведены формулы назначения приоритета заказу и упорядочивания заказов по приоритету на основе метода линейной свертки по следующим критериям: договор, заключенный с клиентом; тип оборудования, которое требует обслуживания; неисправность; примерное время, необходимое для ремонта неисправности.

Программная реализация полученной модели может быть реализована практически в любой открытой АИС в связи со своей простотой реализации и понимания, а также адаптирована для нужд любого предприятия. Оптимизация порядка выполнения заказов позволит предприятию снизить затраты времени, повысит прибыльность предприятия, оптимизирует время работы сотрудников. Освободившееся время работники смогут потратить на самосовершенствование и изучение новых технологий, что опять же положительно повлияет на дальнейшее развитие предприятия.

Ключевые слова: критерий, оптимизация, мастер, заказ, метод линейной свертки, многокритериальная задача.

Mironenko D. S., Sezin B. V.

RESEARCH OF METHODS OF OPTIMAL ORDER DISTRIBUTION IN SERVICE CENTERS

The analysis of multicriteria optimization methods (Pareto principle, main criterion method, linear convolution method, max min convolution) is carried out and a linear convolution method is selected that is suitable for solving the problem. This method has many advantages over others, namely, it takes into account not only factors, but also their importance for order fulfillment, takes into account the inequality of factor values, and can be applied to factors that do not have a single data type. As a result of using this method, we get a list of orders with the execution priority assigned to them for each master separately.

The article solves the problem of multi-criteria selection of the most significant order by applying the linear convolution method. The main stages of the implementation of this method for specific initial conditions and given selection criteria are reflected. The features of the implementation of the linear convolution method with an increase in the number of criteria and variables are considered.

Formulas are given for assigning priority to an order and ordering orders by priority on the basis of the linear convolution method according to the following criteria: agreement concluded with a client; type of equipment that requires maintenance; malfunction Estimated time required to repair the malfunction.

The software implementation of the resulting model can be implemented in almost any open AIS due to its ease of implementation and understanding, as well as adapted to the needs of any enterprise. Optimization of the order execution process will allow the company to reduce time costs, increase the profitability of the enterprise, and optimize the working hours of employees. Employees will be able to spend the free time on self-improvement and the study of new technologies, which again will positively affect the further development of the enterprise.

Keywords: criterion, optimization, master, order, linear convolution method, multi-criteria problem.

Рецензент: Стаття надійшла

УДК 004.023

Міроненко Д. С., Резков Д. М.

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ КОНДИЦІОНУВАННЯМ ПОВІТРЯ В УЧБОВОМУ ЗАКЛАДІ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ

Автоматизація систем кондиціювання є економічно вигідною, адже вона суттєво знижує експлуатаційні витрати даної системи, поліпшує показники безпеки і спостерігається зниження коефіцієнта витрати енергоресурсів. Крім цього, помітно зменшується кількість кваліфікованих фахівців, що виконують системне обслуговування. Автоматизована система кондиціювання може здійснювати автоматичний збір даних про роботу кожного зі своїх компонентів. Використання спеціалізованих апаратних і програмних засобів, що ведуть збір і обробку інформації про стан вентиляції, дозволяє в режимі реального часу відслідковувати всі процеси кондиціювання повітря в учбовому закладі.

Проведено аналіз методів управління кондиціюванням повітря в учбовому закладі і запропоновано новий підхід до централізованого управління за допомогою автоматизованої системи до складу якої включено інтелектуальний блок прийняття рішень. Блок прийняття рішень функціонує з використанням алгоритму ройового інтелекту, а саме, алгоритму пошуку косяком риб (Fish School Search, FSS). Кожен агент (кондиціонер) виконує кілька видів рухів: по-перше, руху на підставі тільки свого власного досвіду, по-друге, на підставі досвіду всього косяка. Таким чином, кожен кондиціонер функціонує в умовах конкретного приміщення та з урахуванням загальних норм до учбового закладу, які виражені в цільових функціях. В статті наведена математична модель алгоритму.

Використання алгоритму ройового інтелекту забезпечує моделювання та управління колективною поведінкою децентралізованої системи, що само організовується. Запропонована модель алгоритму ройового інтелекту забезпечує стандартизацію, підвищення гнучкості і переносимості створюваного програмного забезпечення, підвищення швидкості розробки. Дозволяє збільшити якість управління процесом повітрообміну і збільшити сфери впливу автоматичного і автоматизованого контролю та управління. Крім цього, значно зменшує ймовірність виникнення аварійних ситуацій і їх наслідки.

Ключові слова: *ройовий алгоритм, автоматизація, ефективне управління, учбовий заклад, кондиціювання.*

Вступ. Практично все сучасне обладнання може працювати в автоматичному режимі. Автоматизація процесів є позитивним фактором для правильної роботи техніки, а також дуже зручною функцією для користувачів. Побутові кондиціонери працюють в автоматичному режимі завдяки мікропроцесору, до якого підключені всі датчики. Ці датчики реагують на температуру і вологість повітря, реагують на забруднення фільтру, напругу електромережі та інші зовнішні параметри. Управляти кондиціонером дозволяє пульт, за допомогою якого можна вибрати режим роботи і всі параметри. Кожен окремо взятий кондиціонер може виконувати певні завдання і є локальним устаткуванням. Якщо в приміщенні встановлено кілька кондиціонерів, то кожен з них працює незалежно і разом вони не утворюють систему.

Системою кондиціонування кліматична техніка називається тільки в тому випадку, коли управління її роботою забезпечується єдиним центром.

Кондиціонування повітря в учбовому закладі – це створення і автоматична підтримка (регулювання) в закритих приміщеннях всіх або окремих параметрів (температури, вологості, чистоти, швидкості руху повітря) на певному рівні з метою забезпечення оптимальних метеорологічних умов, найбільш сприятливих для самопочуття учнів та ведення учбового процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературних джерелах автоматизації управління кондиціонуванням повітря в промислових приміщеннях приділено достатньо багато уваги [1-5].

Автоматизована система кондиціонування є економічно вигідною, адже автоматизація значно знижує експлуатаційні витрати даної системи. Поліпшуються показники безпеки і спостерігається зниження коефіцієнта витрати енергоресурсів. Крім цього, помітно зменшується кількість кваліфікованих фахівців, що виконують системне обслуговування. Вдосконалений комплекс кондиціонування може здійснювати автоматичний збір даних про роботу кожного з компонентів пристрою [1].

Автоматизована система управління кондиціонуванням учбового закладу має трирівневу структуру: перший рівень оснащений взаємопов'язаними між собою виконавчими пристроями і датчиками, які здійснюють алгоритми автоматичного управління; прилади керування та шафи автоматики займають другий рівень; третій рівень відведено системі диспетчеризації, яка безперервно контролює систему кондиціонування і реагує на всі зміни і збої, що відбуваються в ній. Використання спеціалізованих апаратних і програмних засобів, що ведуть збір і обробку інформації про стан вентиляції, дозволяє в режимі реального часу відслідковувати всі процеси, що відбуваються [2,3].

З метою підвищення економічності і швидкодії процесу регулювання треба включити в систему управління інтелектуальну комп'ютерну систему, яка б виконувала управління кількома кондиціонерами [5].

Метою даної статті є огляд математичної моделі ройового алгоритму пошук косяком риб (Fish School Search, FSS), та його використання для управління автоматизованою системою кондиціонування повітря в учбовому закладі.

Виклад основного матеріалу. Ройовий інтелект (PI) англійською Swarm intelligence, описує колективну поведінку децентралізованої системи, що само організовується. Розглядається в теорії штучного інтелекту як метод оптимізації [6].

Системи ройового інтелекту, як правило, складаються з множини агентів локально взаємодіючих між собою і з навколишнім середовищем. Ідеї поведінки, як правило, виходять від природи, а особливо, від біологічних систем. Кожен боїд слідує дуже простим правилам і, незважаючи на те, що немає якоїсь централізованої системи управління поведінки, яка б вказувала кожному з них на те, що йому слід робити, локальні і, в деякій мірі, випадкові взаємодії призводять до виникнення інтелектуальної групової поведінки, неконтрольованої окремими боїдами. В цілому, ройовий інтелект повинен являти собою багатоагентну систему, яка б володіла поведінкою, що зорганізується самостійно, яке, сумарно, має проявляти деяку розумну поведінку.

Серед багатьох алгоритмів ройового інтелекту (PSO – Particle Swarm Optimization, ACO – Ant Colony Optimization, ABCO – Artificial Bee Colony Optimization, FSS – Fish School

Search) було обрано алгоритм пошуку косяком риб (Fish School Search, FSS) створений на підставі моделювання руху косяка риб і представлений Б. Філо і Л. Нето в 2008 р. [6].

У косяку риби рухаються в одному напрямку з близькими швидкостями, підтримуючи узгоджений рух і приблизно однакову відстань між сусідами. Такий спосіб колективного руху допомагає ефективніше переміщатися на великі відстані, знаходити їжу і захищатися від хижаків. Кожен агент виконує кілька видів рухів: по-перше, руху на підставі тільки свого власного досвіду, по-друге, на підставі досвіду всього косяка. Другий вид руху розділяється на дві фази, описані нижче. Косяк риб «пам'ятає» тільки результати попередньої ітерації, а не найкращі знайдені за весь процес.

В ролі агентів «риб» будуть виступати окремі кондиціонери, які мають свої персональні характеристики (потужність, енергоспоживання, рівень шуму і т.і.)

Для застосування алгоритму потрібно щоб цільова функція була позитивна на всьому просторі пошуку: $f(X) \geq 0, X \in D$.

Алгоритм пошуку косяком риб можливо представити у вигляді кортежу:

$$FSS = \{S, M, A, P, I, O\}, \quad (1)$$

де S – множина агентів, M – об'єкт обміну досвідом між агентами, A – правила роботи ройового алгоритму, P – параметри, які використовуються алгоритмом, I та O – порти (входи та виходи) системи, через які вона взаємодіє з навколишнім середовищем і керуючою системою.

Множина агентів («риб» – кондиціонерів) $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{|S|}\}$, $|S|$ – кількість агентів. На j -й ітерації i -й агент характеризується станом $s_{ij} = \{X_{ij}, V_{ij}, w_{ij}\}$, де $X_{ij} = \{x_{1ij}, x_{2ij}, \dots, x_{lij}\}$ – вектор варійованих параметрів (положення агента), $V_{ij} = \{v_{1ij}, v_{2ij}, \dots, v_{lij}\}$ – вектор швидкостей агента, w_{ij} – вага агента.

Засобом непрямого обміну M є вектор з двох елементів, перший з них є скаляром і визначає зважену суму індивідуальних переміщень риб, а другий є вектором довжиною l і являє зважений центр тяжіння всього косяка, $M = \{m_j^S, C_j\}$.

Алгоритм A описує механізми функціонування косяка риб. Існують різні варіації алгоритму, нижче дана схема відповідно до опису [6].

1. Генерація початкових положень ($j=1$):

$$w_{i1} = \frac{w_{max}}{2}, i = 1, \dots, |S|, \quad (2)$$

де w_{max} – один за параметрів алгоритму.

2. Переміщення агентів. Оскільки переміщення в рамках однієї ітерації включає в себе кілька стадій, в даний опис вводиться проміжна між ітераціями стан з індексом $j + 0.5$.

2.1 Індивідуальні переміщення агентів між ітераціями j і $j + 1$ виконуються незалежно для всіх агентів і складаються з трьох кроків. На першому кроці задається випадкове значення швидкості:

$$V_{ij+0.5} = rnd \cdot V_{max}, i = 1, \dots, |S|, \quad (3)$$

де rnd – випадкове число, яке рівномірно розподілене в інтервалі $[0,1]$, V_{max} – вектор максимальних швидкостей по кожному виміру області пошуку $V_{max} = \{v_{max}^1, v_{max}^2, \dots, v_{max}^l\}$. Вектор можливо замінити скалярною величиною V_{max} у разі рівності усіх його елементів.

На другому кроці виконується переміщення зі знайденою швидкістю в межах області допустимих значень:

$$X_{ij+0.5} = \begin{cases} X_{ij} + V_{ij+0.5}, G(X_{ij} + V_{ij+0.5}) = 1 \\ X_{ij}, G(X_{ij} + V_{ij+0.5}) = 0 \end{cases}, \quad i = 1, \dots, |S|, \quad (4)$$

де $G(X)$ використовується як предикат, який показує, чи належить X області допустимих значень D .

Останній третій крок повертає агента на попередню позицію, якщо значення цільової функції в новій позиції виявилось гірше.

$$X_{ij+0.5} = \begin{cases} X_{ij+0.5}, \varphi(X_{ij+0.5}) \geq \varphi(X_{ij}) \\ X_{ij}, \varphi(X_{ij+1}) < \varphi(X_{ij}) \end{cases}, \quad i = 1, \dots, |S|, \quad (5)$$

2.2 Інстинктивно-колективне плавання виконується всіма рибами в одному напрямку і з однаковою швидкістю. На цьому етапі використовується об'єкт непрямой взаємодії m_j^S :

$$m_j^S = \frac{\sum_i (V_{ij+0.5} (\varphi(X_{ij+0.5}) - \varphi(X_{ij})))}{\sum_i (\varphi(X_{ij+0.5}) - \varphi(X_{ij}))}. \quad (6)$$

Кожна риба після цього переміщується на величину:

$$X_{ij+0.5} = X_{ij+0.5} + m_j^S, \quad i = 1, \dots, |S|. \quad (7)$$

Якщо будь-який елемент виходить за межу області допустимих значень, то він замінюється на значення відповідної межі.

2.3 Останній етап переміщень називається колективно-вольовим плаванням. Попередньо необхідно обчислити ваги агентів, вага агента i на кроці j обчислюється за формулою:

$$W_{ij+0.5} = W_{ij} + \frac{\varphi(X_{ij+0.5}) - \varphi(X_{ij})}{\max(\varphi(X_{ij+0.5}), \varphi(X_{ij}))}, \quad i = 1, \dots, |S|, \quad (8)$$

з урахуванням обмеження

$$1 \leq W_{ij+0.5} \leq W_{max}. \quad (9)$$

Якщо в результаті індивідуального і інстинктивно-колективного плавання всього рою (косяка риб) в цілому стало краще, то область пошуку звужується для більш ретельного дослідження поточної зайнятої області, інакше розширюється для пошуку нових рішень і виходу з потенційного локального екстремуму. Використовується так званий центр ваги рою:

$$C_j = \frac{\sum_i (W_{ij+0.5} X_{ij+0.5})}{\sum_i (W_{ij+0.5})}, \quad i = 1, \dots, |S|. \quad (10)$$

Переміщення при колективно-вольовому плаванні виконується по наступному правилу:

Інформаційні технології

$$X_{ij+1} = \begin{cases} X_{ij+0.5} + vol \cdot (X_{ij+0.5} - C_j), & ws_{j+0.5} > ws_{j-0.5} \\ X_{ij+0.5} - vol \cdot (X_{ij+0.5} - C_j), & ws_{j+0.5} \leq ws_{j-0.5} \end{cases}, \quad i = 1, \dots, |S|. \quad (11)$$

де $ws_{j+0.5}$ – сума ваг усіх агентів на поточній стадії (знаменник у формулі (8)), $ws_{j-0.5}$ є аналогічною сумою на попередній ітерації, а vol визначає величину кроку переміщень і обчислюється як:

$$vol = rnd \cdot vol_{max}, \quad (12)$$

де vol_{max} – максимально можливий розмір кроку, rnd – випадкова величина, рівномірно розподілена в інтервалі $[0,1]$.

Щоб отримати остаточні позиції агентів на ітерації $j + 1$, потрібно врахувати межу області допустимих значень, так само як на етапі 2.2. Коефіцієнти (параметри) алгоритму, що використовуються в формулах (2), (3), (12) утворюють вектор $P = \{v_{max}, w_{max}, vol_{max}\}$. Ці коефіцієнти визначають поведінку рою, вибір їх значень є особливим завданням, які вирішуються за допомогою різних методів адаптації.

ВИСНОВКИ

Автоматизована система управління кондиціонуванням в учбовому закладі повинна: виконувати автоматичне включення / вимикання кондиціонерів, прийом, обробку, зберігання інформації про поточні режими і стан обладнання, сигналізувати про критичні ситуації і надавати оперативний спосіб їх ліквідації. Впровадження автоматизованої системи кондиціонування дозволить збільшити якість управління процесом повітрообміну і збільшити сфери впливу автоматичного і автоматизованого контролю та управління. Крім цього, значно буде зменшена ймовірність виникнення аварійних ситуацій і їх наслідки.

Використання алгоритмів ройового інтелекту забезпечить моделювання та управління колективною поведінкою децентралізованої системи, що само організовується. Серед багатьох алгоритмів ройового інтелекту в науковому дослідженні було обрано алгоритм пошуку косяком риб (Fish School Search, FSS) створений на підставі моделювання руху косяка риб. Кожен агент виконує кілька видів рухів: по-перше, руху на підставі тільки свого власного досвіду, по-друге, на підставі досвіду всього косяка. Таким чином, кожен кондиціонер функціонує в умовах конкретного приміщення та з урахуванням загальних норм до учбового закладу, які виражені в цільових функціях.

Запропонована модель алгоритму ройового інтелекту забезпечує стандартизацію, підвищення гнучкості і переносимості створюваного програмного забезпечення, підвищення швидкості розробки. Дозволяє збільшити якість управління процесом повітрообміну і збільшити сфери впливу автоматичного і автоматизованого контролю та управління. Крім цього, значно зменшує ймовірність виникнення аварійних ситуацій і їх наслідки.

Список використаних джерел:

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е. С. Бандарь [и др.]. – Киев: Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2015. – 560 с.

2. Лобанов, Д. В. Системы персональной вентиляции в помещениях умственного труда с применением ПЭВМ / Д. В. Лобанов, А. Ю. Глушков // Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 1 (22). – С. 42–48.

3. Лобанов, Д. В. Схема создания комфортных климатических параметров в офисах / Д. В. Лобанов, И. И. Полосин // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2015. – № 2 (158). – С. 58–61.

4. Морозов, А. А. Управление воздушными потоками в чистых помещениях электронной промышленности / А. А. Морозов // Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов ИИЭСМ за 2015-2016 учебный год / НИУ МГСУ. – М., 2016. – С. 23–29.

5. Кокорин, О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха / О. Я. Кокорин. – М. : Физматлит, 2003. – 131 с.

6. Карпенко, А. П. Популяционные алгоритмы глобальной оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов / А. П. Карпенко // Информационные технологии. Приложение к журналу. – 2012. – № 7. – С. 1–32.

Мироненко Д. С., Резков Д. М.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ ВОЗДУХА В УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА РОЕВОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Автоматизация систем кондиционирования является экономически выгодной, ведь она существенно снижает эксплуатационные расходы данной системы, улучшает показатели безопасности и наблюдается снижение коэффициента расхода энергоресурсов. Кроме этого, заметно уменьшается количество квалифицированных специалистов, выполняющих системное обслуживание. Автоматизированная система кондиционирования может осуществлять автоматический сбор данных о работе каждого из своих компонентов. Использование специализированных аппаратных и программных средств, ведущих сбор и обработку информации о состоянии вентиляции, позволяет в режиме реального времени отслеживать все процессы кондиционирования воздуха в учебном заведении.

Проведен анализ методов управления кондиционированием воздуха в учебном заведении и предложен новый подход к централизованному управлению при помощи автоматизированной системы, в состав которой включен интеллектуальный блок принятия решений. Блок принятия решений функционирует с использованием алгоритма роевого интеллекта, а именно, алгоритма поиска косяком рыб (Fish School Search, FSS). Каждый агент (кондиционер) выполняет несколько видов движений: во-первых, движения на основании только своего собственного опыта, во-вторых, на основании опыта всего косяка. Таким образом, каждый кондиционер работает в условиях конкретного помещения и с учетом общих норм принятых для данного учебного заведения, выраженных в целевых функциях. В статье приведена математическая модель алгоритма.

Использование алгоритма роевого интеллекта обеспечивает моделирование и управление коллективным поведением децентрализованной системы, которая самоорганизуется. Предложенная модель алгоритма роевого интеллекта обеспечивает

стандартизацію, підвищення гнучкості і переносимості створюваного програмного забезпечення, підвищення швидкості розробки. Позволяє збільшити якість управління процесом воздухообміну і збільшити вплив автоматичного і автоматизованого контролю і управління. Крім цього, значительно зменшує ймовірність виникнення аварійних ситуацій і їх наслідки.

Ключевые слова: роевой алгоритм, автоматизація, ефективне управління, навчальне заведення, кондиціонування.

Mironenko D. S., Rezkov D. M.

MODELING OF THE CENTRALIZED CONTROL SYSTEM OF AIR CONDITIONING IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS USING THE ROYAL INTELLIGENCE ALGORITHM

Automation of air-conditioning systems is economically advantageous, as it significantly reduces the operating costs of the system. Improves safety performance and decreases energy efficiency ratio. In addition, the number of qualified professionals performing system maintenance is noticeably decreasing. An automated air-conditioning system can automatically collect data on the performance of each of its components. The use of specialized hardware and software to collect and process information on the state of ventilation allows real-time tracking of all air conditioning processes in the school.

An analysis of the methods of air conditioning management in an educational institution is carried out and a new approach to centralized management is proposed with the help of an automated system which includes an intelligent decision-making block. The decision-making unit operates using the swarm intelligence algorithm, namely the Fish School Search (FSS) algorithm. Each agent (conditioner) performs several types of movements: first, movements based only on their own experience, and secondly, based on the experience of the whole cant. Thus, each air conditioner functions in the conditions of a specific room and in accordance with the general norms for the educational institution, which are expressed in the intended functions. The article presents the mathematical model of the algorithm.

The use of the swarm intelligence algorithm provides for the modeling and control of the self-organized collective behavior of a decentralized system. The proposed model of the algorithm of swarm intelligence provides standardization, increase of flexibility and portability of the created software, increase of speed of development. Allows you to increase the quality of control of the air exchange process and to increase the scope of the influence of automatic and automated control and control. In addition, it significantly reduces the likelihood of accidents and their consequences.

Keywords: air conditioning algorithm, automation, efficient management, educational institution, conditioning

Рецензент:
Стаття надійшла

УДК 004.77

Семусєв О. Р., Воротнікова З. Є.

БОТ-КОНСУЛЬТАНТ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ КОМПАНІЇ

У статті викладено основні сфери застосування чат-ботів в Україні. Проакцентовано доцільність використання автоматичних засобів для організації клієнтської підтримки у телекомунікаційних компаніях. Проаналізовані сучасні концепції автоматизації обслуговування клієнтів телекомунікаційної компанії, визначено основні напрями автоматизації. Наведені підходи до моніторингу обладнання у комунікаційній компанії. Запропоновано структуру чат-бота, що містить елементи штучного інтелекту та має функцію самонавчання, для автоматизації клієнтської підтримки. Доведено доцільність та ефективність використання чат-бота з елементами штучного інтелекту у роботі телекомунікаційної компанії за рахунок суттєвого підвищення швидкості та якості обслуговування клієнтів. Детально розроблено алгоритм обслуговування клієнтів чат-ботом. Запропоновано використання чат боту для збору первинної інформації та автоматичного заповнення CRM-системи задля подальшого використання. Також бот призначено для відправки повідомлень про відхилення від нормальної роботи обладнання в різні сервіси. Інформацію для спілкування з клієнтами чат-бот отримує з оперативної бази даних, яка формується за результатами запитів до обслуговуючих сервісів компанії та попередніх сеансів спілкування з клієнтом. Також, формується база даних про поточні пропозиції компанії для клієнтів і сформована логіка зміни тарифних планів. Персоналізація обслуговування дозволяє підвищити якість обслуговування, а також більш ефективно проводити цільову рекламу та сприяє підвищенню лояльності клієнтів.

Ключові слова: чат-бот, бот-консультант, телекомунікаційна компанія, клієнтська підтримка.

Постановка проблеми. Інтернет в сучасному світі стала невід'ємною часткою життя абсолютно будь-яку людину. З його появою, телекомунікаційні компанії вийшли на абсолютно новий рівень обслуговування. Сучасний формат телемовлення - IPTV (Internet Protocol Television) протягом останніх років дуже активно застосовується і в Україні. IPTV або Телебачення по протоколу Інтернету - технологія цифрового телебачення в мережах передачі даних по протоколу IP, нове покоління телебачення. На програмному рівні доступ до ресурсів IPTV може здійснюватися як за допомогою спеціальних додатків (програм), так і за допомогою звичайного інтернет-браузера, вбудованого в пристрій. Доставка контенту до клієнтського обладнання здійснюється або за керованої IP-мережі оператора зв'язку з використанням технології multicast або unicast (в залежності від топології мережі), або без прив'язки в мережах операторів зв'язку. Завдяки використанню цифрових технологій, кінцевий користувач отримує трансляції телеканалів в HD і Full HD-якості [1].

Сфера телекомунікації характеризується високою конкуренцією і, як наслідок, жорсткої боротьбою за клієнтів. Для компаній-провайдерів, надання якісних послуг для своїх абонентів є ключовим показником довіри і вибору відповідно. Але так як послуги Інтернет і телебачення є практично в кожному будинку, велике навантаження з обслуговування і роботи з клієнтами йде на відповідні відділи. Для взаємодії з великою кількістю потенційних і діючих абонентів йде величезна частина людських ресурсів. Мобільним операторам та

інтернет-провайдерам постійно потрібні нові можливості для скорочення собівартості обслуговування клієнтів, число яких вимірюється сотнями тисяч, а то й мільйонами. Ці проблеми дозволяє вирішити впровадження технології чат-ботів.

Використання чат-ботів значно знижує навантаження на операторів-консультантів, дозволяє розвантажити інші інформаційні канали. Чат-бот успішно справляється з такими сценаріями, як технічна підтримка, підбір і зміна тарифного плану, управління і поповнення рахунку, повідомлення новин, інформація про послуги, збір відгуків та думок тощо. У зв'язку з цим, розробка та навчання такого бота є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні чат-боти - це програми, які успішно імітують співрозмовника та здатні підтримувати бесіду з користувачами у рамках поставлених для нього цілей. Вони створюються на базі сайтів та месенджерів.

Месенджери зараз стали надзвичайно затребувані в зв'язку з ростом числа користувачів мобільних цифрових пристроїв, причому як в сфері соціального спілкування, так і в бізнесі. За їх допомогою можна передавати текст, фотографії, відео, голосові замітки, здійснювати дзвінки, організовувати групові відеоконференції та чати. Серед найпопулярніших у світі месенджерів наступні: WhatsApp, Viber, Telegram, Facebook Messenger, Snapchat, WeChat [2; 3]. Всі вони підтримують технологію чат-ботів, яка впевнено заходить у бізнес сектор.

У будь-якому випадку, в незалежності від платформи, чат-бот - це прикладна програма, яка, отримуючи інформацію від користувача, формує коректні, логічно обґрунтовані відповіді. Правові наслідки таких відповідей відрізняють прості боти з чатами для розваг від серйозних сервісів. Якщо чат-бот позиціонується як такий собі віртуальний представник компанії, то і чат з таким суб'єктом може створювати для компанії і для користувача певні зобов'язання. Різноманітність чат-ботів вражає. Деякі з них використовують відкриті дані, інші - різні дані за ліцензіями або дані, створені компанією. У будь-якому випадку власники чат-бота використовують інформацію, отриману на певних правових підставах, а алгоритм їх обробки зазвичай належить самій компанії.

Вітчизняні компанії вже давно використовують ботів для поліпшення обслуговування клієнтів. Наведемо найбільш популярні програми-співрозмовники в Україні.

1. Parabbot - бот найбільшого банку України - «ПриватБанку» - створений для здійснення грошових переказів в месенджері Telegram.

2. «Мої платежі» - програма-співрозмовник, яка дозволяє оплачувати комунальні послуги в Facebook через «ПриватБанк».

3. Зоряна - бот-консультант «Київстар», що розповідає клієнтам компанії про тарифи, послуги, акції і т.д. Працює і в Facebook, і на офіційному сайті. За даними «Київстар», бот бере на себе до 70 % запитів [4].

4. Dnopro.ua - віртуальний консультант з питань здачі крові. Доступний на всіх популярних платформах.

5. Whereisnobot - програма, яка відстежує розташування посилок «Нова Пошта». Чи не є офіційним ботом компанії і працює тільки в Telegram.

6. QTrackerBot - ще один бот, що відслідковує посилки. Він більш функціональний - стежить за доставкою сервісами «Укрпошта», «Нова Пошта», «Делівері» і «Міст-Експрес». Також доступний тільки в Telegram.

7. Paralegalbot - програма, яка веде реєстр компаній.

8. iGovBot - чат-бот в Telegram, який надає дані про компанії по їх назві, коду ЄДРПОУ або імені керівника. Оперативно повідомляє про зміни, які трапляються з компаніями. Працює з даними на ресурсі державних послуг iGov.

9. OpenDataBot - віртуальний асистент, що надає реєстраційні дані про компанії України у судовому реєстрі.

10. NovaPoshta_Bot - неофіційний бот "Нової пошти". За його допомогою можна відстежувати ціну, статус і вагу посилки за її номером.

11. Railwaybot - знаходить потяги по всій Україні через місце призначення і дату. Він може спілкуватися українською, російською та англійською мовами.

За даними Business Insider, 80 % бізнесу розраховують завести власних ботів найпізніше до 2020 року.

Існує тип завдань і проблем, з якими чат-боти справляються краще за все [5].

1. Оптимізація рішення стандартних багато разів повторювальних завдань, що формулюються у вигляді бізнес-логіки. Це можуть бути завдання як внутрішньої так і зовнішньої комунікації. По суті, будь-яка операція, яка проводиться по строго окресленого алгоритму і не вимагає від співробітників креативних рішень може бути передоручення чат-боту. Виграш для компанії в цих випадках - скорочення витрат і економія часу співробітників, а також підвищення мотивації персоналу. Звільнившись від Стандартні операції, люди зможуть зайнятися творчими завданнями.

2. Вирішальним фактором успішності будь-якого бізнесу є забезпечення постійного цілодобового зворотного зв'язку с користувачами. Такий сервіс у всіх його проявах - від технічної підтримки до супроводу замовлень є дуже затребуваний. Величезна кількість призначених для користувача питань повторюються і є стандартними, такими, що можуть легко виконуватися ботами. Вигода, знову ж таки - економія коштів і можливість проведення аналізу статистики розмов для знаходження зон, що найчастіше створюють проблеми для користувачів.

Більшість великих месенджерів вже випустили або ось-ось випустять рішення, що дозволяють, не виходячи з чату, виробляти безпечну оплату товарів і послуг. Месенджери стають новим каналом продажів і маркетингу, а чат-боти є ефективний інструмент для нього. Чат-бот може перебудовувати сценарій діалогу буквально в будь-який момент, бо підлаштовується під хід діалогу і спирається на дані про користувача, які отримав з зовнішніх систем. Саме за допомогою чат-ботів маркетинг перейде від «сегментації» до істинної і повної «персоналізації».

3. Уникати зайвого людського фактора з комунікації. Ця функція чат-ботів найбільш корисна в HR. Бот може бути анонімним і безособовим співрозмовником, щоб уникнути у розмові зайвих емоцій. Такі завдання, як збір зворотного зв'язку, примус співробітників до своєчасної здачі звітів, щорічна оцінка персоналу і так далі.

4. Інтеграція різних інформаційних систем всередині бізнесу. Чат-боти легко інтегруються з будь-якими інформаційними системами компанії (CRM, аналітикою, бухгалтерією, BPM). Співробітники можуть вільно користуватися цими системами через чат-ботів. Їм не потрібно навчатися використанню різних інтерфейсів і витратити час на введення або пошук даних в різних системах. Таким чином, якщо ваші бізнес-процеси побудовані на взаємодії з великою кількістю різних сервісів, чат-боти зможуть полегшити пов'язані з цим складнощі.

5. Гнучке застосування алгоритмів штучного інтелекту. Здатність машини швидко приймати рішення у рамках актуальних цілей, і при цьому самонавчатися, враховуючи результати попередніх сеансів дуже корисне вміння для бота. На даний момент технології AI ще не досягли піку свого розвитку, але в майбутньому саме вони забезпечать чат-ботів лідируючу роль у всіх бізнес-процесах. Уже зараз чат-боти працюють у галузях де швидкість обробки великої кількості розкиданих по різних сервісам даних має велике значення.

Більшість цих завдань присутні в діяльності телекомунікаційної компанії і розробка відповідних ботів, дозволить істотно знизити собівартість послуг і підвищити конкурентоздатність компанії. Розробка дружнього інтелектуального бота для клієнтів і співробітників телекомунікаційної компанії є актуальним завданням.

Мета статті. Обґрунтування ефективності використання та розробка чат-бота з елементами штучного інтелекту для автоматизації підтримки клієнтів комунікаційної компанії.

Викладання основного матеріалу. Завдання дослідження полягає в розробці такої структури чат-бота, яка дозволила б автоматично відповідати на типові питання клієнтів телекомунікаційної компанії, в тому числі про стан обслуговуючого обладнання, а також керувати вибором тарифів і збирати статистику звернень.

Після проведення аналізу діяльність місцевого інтернет-провайдер, були виділені наступні процеси, що підлягають автоматизації за допомогою чат-бота:

- консультація з питань підключення послуг;
- інформація за доступними для району або за адресою тарифних планів і їх вартість;
- інформація по телеконтенту, послуг;
- продаж обладнання, яке необхідно для користування послугами;
- зміна тарифного плану абонента;
- консультація з питань технічної підтримки;
- оповіщення про зміни в послугах чи нові можливості компанії;
- путівник по доступним для абонента додатків;
- оповіщення про поломки або ремонтних роботах, модернізації;
- персоналізований помічник;
- оплата послуг;
- карта зони покриття або безкоштовного доступу до Інтернет в місті.

Інформацію для спілкування з клієнтами чат-бот отримує з оперативної бази даних, яка формується за результатами запитів до обслуговуючих сервісів компанії.

CRM-система «GT-CLIENT» - система управління взаємовідносинами з клієнтами компанії (CRM, CRM-система, скорочення від англ. Customer Relationship Management) - зберігати інформацію про клієнтів і історію взаємин з ними.

Також, формується база даних про поточні пропозиції компанії для клієнтів і сформована логіка зміни тарифних планів.

Сучасна телекомунікаційна інфраструктура являє собою складну гетерогенну мережу, що включає телекомунікаційне, серверне та програмне забезпечення різних виробників, що працює в різних стандартах і під управлінням різного програмного забезпечення.

Інформаційні технології

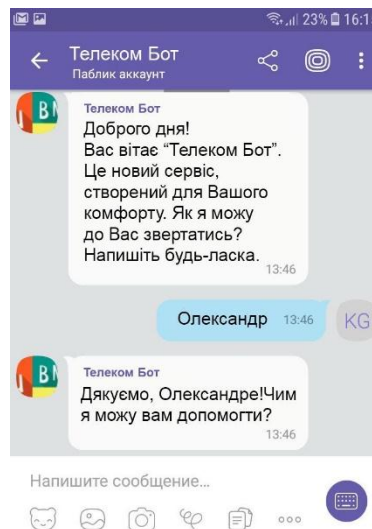


Рисунок 1 – Дизайн бота

Для моніторингу стану працездатності мережі Інтернет провайдера використовуються два сервісу:

- програма моніторингу Nagios для моніторингу стану працездатності обладнання за місцем;
- система моніторингу Zabbix, яка відповідає за контроль стану мережі та розподіл трафіку.

Nagios - сучасний і популярний інструмент для моніторингу комп'ютерних систем і мереж. Програма має відкритий вихідний код і працює з багатьма ОС. Принцип роботи програми: сповіщати адміністратора про припинення або відновлення роботи служб, контроль і спостереження за станом їх роботи.

Головні особливості Nagios:

- система моніторить мережеві служби SMTP, POP3, HTTP, NNTP, ICMP, SNMP;
- проводиться моніторинг хостів в більшості ОС;
- підтримується віддалений моніторинг за допомогою тунелів SSH і SSL;
- забезпечує паралельну підтримку служб;
- відправляються повідомлення при виникненні проблем і неполадок в роботі служби або хоста;
- відбувається автоматична ротація лог-файлів;
- утиліта nagiosstats робить звіт по хостам, за якими проводиться моніторинг;
- можна організувати роботу відразу декількох систем моніторингу для підвищення загальної безпеки.

Таким чином, даний сервіс здатний сповіщати користувача, якщо обладнання, розміщене за місцем вийшло з ладу або працює з помилками.

Система моніторингу Zabbix складається з

- власне сервера моніторингу, який виконує періодичне отримання даних, обробку, аналіз і запуск скриптів оповіщення;
- бази даних (MySQL, PostgreSQL, SQLite або Oracle);

- веб-інтерфейсу на PHP;
- агента - демона, який запускається на відслідковуються об'єктах і надає дані сервера.

Агент опціональний, моніторинг можна проводити не тільки за допомогою нього, але і по SNMP (версій 1, 2, 3), запуском зовнішніх скриптів, що видають дані, і кілька видів зумовлених вбудованих перевірок, таких як ping, запит по http, ssh, ftp і іншим протоколам, а так же завмер часу відповіді цих сервісів.

Від коректної роботи телекомунікаційної інфраструктури залежить діяльність всієї компанії. Вихід з ладу обладнання, недоступність бізнес-критичних сервісів, баз даних, обрив зв'язку з територіально-розподіленими філіями може паралізувати роботу організації, призвести до фінансових втрат і репутаційних ризиків. Своєчасне отримання інформації про стан телекомунікаційної інфраструктури вкрай важливо. Представлені системи можуть відправляти повідомлення про відхилення від нормальної роботи обладнання в різні сервіси. Сформувавши оперативну базу даних, ми маємо можливість надавати боту інформацію про технічний стан цікавлять його вузлів. Фрагмент структури даних оперативної БД представлений на рисунку 2.

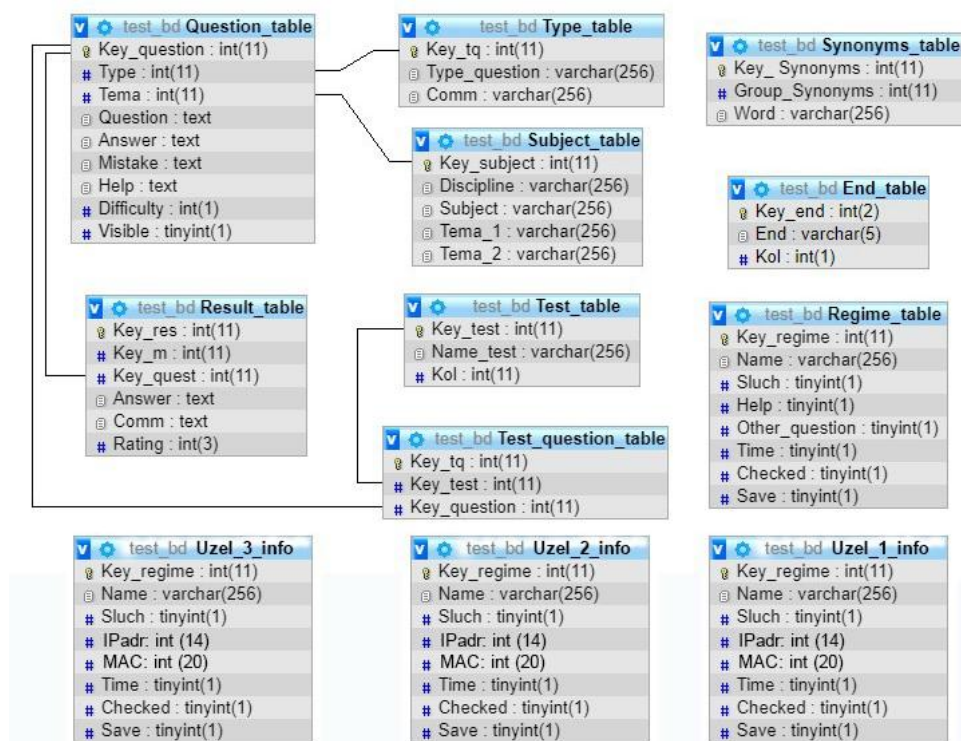


Рисунок 2 – Структура оперативної бази даних

Інструментом, який дозволить аналізувати надіслані користувачем повідомлення та виділяти із них ключову інформацію, обрано Microsoft Cognitive Services. У рамках цього продукту компанією Microsoft надається доступ до багатьох функцій штучного інтелекту, наприклад: комп'ютерний зір; розумний пошук; аналіз тексту; сприйняття голосових команд; побудова складних баз знань. Нас цікавить функціонал, пов'язаний із аналізом тексту. З його допомогою можна виділити ключові слова із певного уривку. В нашому випадку це

використовується для аналізу повідомлення користувача, і надання йому відповіді, що включатиме інформацію про ключові слова передані у повідомленні. При використанні Microsoft Cognitive Services можна позбутися команд і надсилати боту прості повідомлення. Це легка у використанні та доступна технологія яка надає можливість значно покращити досвід користувача при використанні бота.

ВИСНОВКИ

У статті викладено сучасні концепції автоматизації обслуговування клієнтів телекомунікаційної компанії, визначено основні напрями автоматизації, запропоновано структуру чат-бота, що містить елементи штучного інтелекту та може навчатися.

Детально розроблено алгоритм обслуговування клієнтів чат-ботом. Запропоновано використання чат боту для збору первинної інформації та автоматичного заповнення CRM-системи задля подальшого використання. Також бот призначено для відправки повідомлень про відхилення від нормальної роботи обладнання в різні сервіси. Інформацію для спілкування з клієнтами чат-бот отримує з оперативної бази даних, яка формується за результатами запитів до обслуговуючих сервісів компанії та попередніх сеансів спілкування з клієнтом. Також, формується база даних про поточні пропозиції компанії для клієнтів і сформована логіка зміни тарифних планів.

Наукова новизна роботи визначається дослідженням можливостей використання комунікаційних технологій з елементами штучного інтелекту в галузі телекомунікації.

Список використаних джерел:

1. Воробієнко, П. П. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: підручник [для вищих навчальних закладів] / П. П. Воробієнко, Л. А. Нікітюк, П. І. Резніченко. – К. : САММІТ-Книга, 2010. – 708 с.: іл.
2. Messaging apps are now bigger than social networks. Messaging apps are now bigger than social networks [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.businessinsider.com/the-messaging-app-report-2015-11>
3. Ушакова, І. О. Підходи до створення інтелектуальних чат-ботів / І. О. Ушакова // Системи обробки інформації. – 2019. – № 2. – С. 76–83.
4. Привет, я Зоряна! [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kyivstar.ua/ru/zoriana>
5. Зубкова, А. Задачи, которые решают чат-боты [Электронный ресурс] / А. Зубкова. – Режим доступа: <https://www.cossa.ru/trends/190984/>

Воротникова З. Е., Семусев О. Р.

БОТ-КОНСУЛЬТАНТ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ КОМПАНИИ

В статье изложены основные сферы применения чат-ботов в Украине. Сделан акцент на целесообразности использования автоматических средств для организации клиентской поддержки в телекоммуникационных компаниях. Проанализированы

современные концепции автоматизации обслуживания клиентов телекоммуникационной компании, определены основные направления автоматизации. Приведены подходы к мониторингу оборудования в коммуникационной компании. Предложена структура чат-бота, который содержит элементы искусственного интеллекта и имеет функцию самообучения, для автоматизации клиентской поддержки. Доказана целесообразность и эффективность использования чат-бота с элементами искусственного интеллекта в работе телекоммуникационной компании за счет существенного повышения скорости и качества обслуживания клиентов. Подробно разработан алгоритм обслуживания клиентов чат-ботом. Предложено использование чат бота для сбора первичной информации и автоматического заполнения CRM-системы для дальнейшего использования. Также бот предназначено для отправки сообщений об отклонении от нормальной работы оборудования в различные сервисы. Информацию для общения с клиентами чат-бот получает из оперативной базы данных, которая формируется по результатам запросов к обслуживающим сервисам компании и предыдущих сеансов общения с клиентом. Также, формируется база данных о текущих предложениях компании для клиентов и логика изменения тарифных планов. Персонализация обслуживания позволяет повысить качество обслуживания, а также более эффективно проводить целевую рекламу и способствует повышению лояльности клиентов.

Ключевые слова: чат-бот, бот-консультант телекоммуникационная компания, клиентская поддержка.

Vorotnikova Z. J., Semusev A. R.

BOT CONSULTANT IN TELECOMMUNICATION COMPANIE

The article outlines the main areas of application of chat bots in Ukraine. Emphasis is placed on the feasibility of using automatic tools to organize customer support in telecommunication companies. The modern concepts of automation of customer service of a telecommunications company are analyzed, the main areas of automation are identified. Approaches to monitoring equipment in a communications company are presented. The structure of a chat bot is proposed, which contains elements of artificial intelligence and has a self-learning function to automate customer support. The expediency and efficiency of using a chat bot with elements of artificial intelligence in the work of a telecommunication company has been proved due to a significant increase in the speed and quality of customer service. A detailed algorithm for servicing customers with a chat bot has been developed. It is proposed to use the chat bot to collect primary information and automatically fill in the CRM system for further use. Also, the bot is designed to send messages about deviations from the normal operation of equipment in various services. Chat bot receives information for communicating with clients from the operational database, which is generated by the results of requests to the company's service services and previous sessions with the client. Also, a database of current offers of the company for customers and the logic of changing tariff plans is being formed. Personalization of service allows you to improve the quality of service, as well as more effectively conduct targeted advertising and helps to increase customer loyalty.

Keywords: chat bot, bot consultant, telecommunication company, customer support.

Рецензент: канд. техн. наук ДВНЗ «ПДТУ» Черевко О. О.

Стаття надійшла 15.11.2019 р.

УДК 669.162.22

Черевко О. О., Климов Б. А.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ КОНДЕНСАТУ В БАРАБАНИ-СЕПАРАТОРІ КОТЛА-УТИЛІЗАТОРА КОНВЕРТЕРНИХ ГАЗІВ З КОРЕКЦІЄЮ ПО ТИСКУ ПАРИ

Важливою частиною технологічної лінії конвертерного виробництва сталі є котли-утилізатори, призначені для охолодження, утилізації тепла відхідних газів конвертерів і вироблення насиченої пари для технологічних потреб.

Системи автоматичного регулювання, контролю, сигналізації та блокувань котлів повинні забезпечувати їх надійну роботу в проектному режимі, запобігання аварійних ситуацій, забезпечувати задані екологічні показники роботи конвертера.

У роботі виконано аналіз існуючої системи контролю та регулювання рівня води у барабані-сепараторі котла-утилізатора конвертерних газів. Виявлено, що при існуючому методі вимірювання показання рівнеміра залежать від різниці щільності води і пари, яка значно змінюється зі зміною тиску пари в барабані. Тиск в барабані на практиці помітно відрізняється від номінального значення і змінюється у досить широкому діапазоні. В результаті вихідний метод не може забезпечити достатню точність вимірювання рівня при відхиленні тиску від номінального значення.

Запропоновано метод вимірювання рівня конденсату в барабані-сепараторі з корекцією вимірювання по різниці щільності води і пари та по тиску пари в барабані. Застосування корекції дозволило знизити похибку вимірювання рівня у 2,5 рази в порівнянні з вихідним методом.

Підвищення точності вимірювань дозволяє більш ефективно вести процес управління котлом-утилізатором, знизити споживання живильної води в процесі конвертерної плавки, знизити можливість виникнення нештатних та аварійних ситуацій.

Описана в роботі методика корекції вимірювання рівня води придатна для більшості посудин, що працюють під тиском, в яких вода та її пар знаходяться у стані насичення – акумуляторів парових котлів, випаровувачів, деаераторів та ін.

Ключові слова: конвертерні гази, котел-утилізатор, автоматизована система регулювання, барабан-сепаратор, живлюча вода, вимірювання, поправка, рівень, тиск, щільність.

Постановка проблеми. Важливою складовою процесу конвертерної плавки є утилізація газів, що відходять від конвертера. Для цього використовують котли-утилізатори різних типів і конструкцій [1].

Прямим чином установка котла-утилізатора не впливає на показники роботи конвертера. Однак позитивний вплив визначається, по-перше, збільшенням коефіцієнта використання тепла конвертерної установки в цілому до 40 %; по-друге, застосування потужних димососів для створення штучної тяги при встановленні котлів-утилізаторів дозволяє форсувати теплову роботу конвертера за рахунок кращої організації руху газів в котлі та більш гнучкого регулювання аеродинаміки робочого простору котла [2]. У кінцевому рахунку це призводить до збільшення продуктивності конвертера та зниження питомих

витрат палива.

У киснево-конвертерному цеху ПРАТ «ММК ім. Ілліча», для утилізації тепла конвертерних газів використовуються три котла-охолоджувача ОКГ-100. Котел-охолоджувач і його допоміжне обладнання знаходяться у тісному зв'язку з технологічним обладнанням цеху, а його режим роботи повністю залежить від технологічного режиму виробництва сталі в конвертерах.

Основною особливістю роботи котла є циклічність надходження конвертерних газів і, як наслідок, різка зміна теплового навантаження. Теплосприйняття охолоджувача в процесі плавки змінюється від нуля у період між продувками до максимуму в момент продувки, що викликає значні коливання тиску, різке набухання рівня води в барабані котла на початку і його падіння в кінці продувки [3].

Як показує досвід пусконаладжувальних робіт, навіть досвідчені оператори ОКГ під час продування конвертера з витратами кисню $400 \text{ м}^3 / \text{хв}$ і більше в ручному режимі управління витратами живлючої води не можуть підтримувати заданий рівень води в барабані. Оператор фізично не може стежити за мінливими при продувці параметрами роботи котла і запобігти аварії. Для таких умов високої інтенсивності продувки конвертера киснем необхідний тільки автоматичний режим управління із забезпеченням достатньої точності вимірювань технологічних параметрів котла.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проаналізовано існуючу систему контролю рівня води у барабані-сепараторі. Рівень вимірюється гідростатичним методом за допомогою датчика перепаду тиску, підключеного до барабана-сепаратора через стандартну двокамерну зрівняльну посудину [4]. Схема вимірювання рівня показана на рисунку 1.

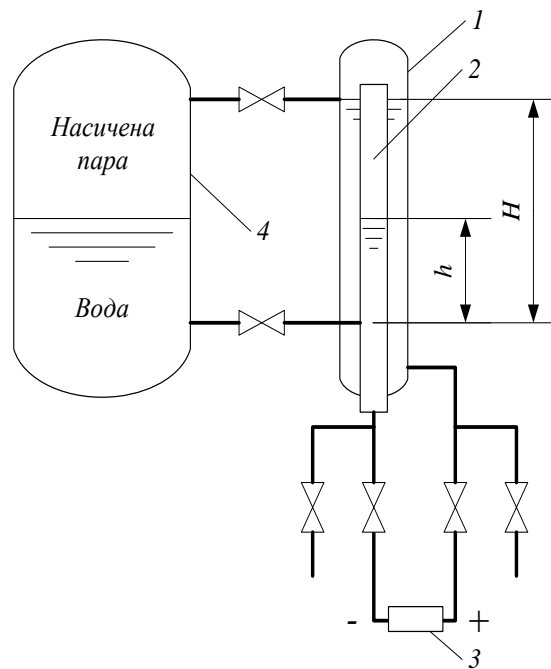


Рисунок 1 – Схема вимірювання рівня води у барабані-сепараторі

У зовнішній порожнині посудини 1, з'єднаній з паровим простором барабана 4 і плюсовою камерою датчика 3, рівень води підтримується постійним. У внутрішній порожнині 2, яка з'єднана з мінусовою камерою датчика, рівень води змінюється разом із рівнем у барабані.

Різниця тисків, створювана посудиною і вимірювана датчиком, визначається наступним чином:

$$\Delta P = (H - h) \cdot (\rho' - \rho'') \cdot g, \text{ Па}, \quad (1)$$

де H – відстань між точками відбору посудини, m ; h – рівень води у барабані, який вимірюється відносно нижньої точки відбору, m ; ρ' і ρ'' – щільності води і пари в стані насичення при поточному тиску P в барабані, kg/m^3 ; g – прискорення вільного падіння, $9,81 m/s^2$.

З рівняння (1) випливає, що при верхньому рівні води в барабані $h = H$, тиск пари $\Delta P_g = 0$, а при нижньому рівні води $h = 0$ тиск пари дорівнює

$$\Delta P_n = H \cdot (\rho' - \rho'') \cdot g. \quad (2)$$

Спочатку різниця щільності $\rho' - \rho''$ вважається рівною $821 kg/m^3$, що відповідає номінальному надлишковому тиску в барабані, рівному $25 kg/cm^2$. Тому діапазон вихідного сигналу комплексу налаштований не на номінальний перепад датчика $10 kPa$, а на перепад $\Delta P_n = 8050 Pa$, який вираховується за формулою (2) при $H = 1 m$. Цей сигнал надходить на вхід мікроконтролера, де пропорційно перераховується у значення рівня, виражене в міліметрах.

Таким чином, в існуючій системі вимірювання не враховуються такі суттєві технологічні особливості:

- показання рівнеміра залежать від різниці щільності води і пари $\rho' - \rho''$, яка значно варіюється зі зміною тиску пари в барабані;

- на практиці тиск у барабані помітно відрізняється від номінального значення і змінюється у досить широкому діапазоні.

У результаті існуючий метод не може забезпечити достатню точність вимірювання рівня при відхиленні тиску від номінального значення.

Зміни показань рівнеміра при зміні надлишкового тиску пари в барабані від $25 kg/cm^2$ до $2 kg/cm^2$ показані на рисунку 2. Основна допустима похибка рівнеміра дорівнює 1,83 % або 18,3 мм, проте вже при тиску $12 kg/cm^2$ і рівню води 400 мм показання приладу занижені на 35 мм. На практиці показання рівнеміра відрізняються від показань водомірного скла, прийнятих за істинні, в середньому на 70–80 мм.

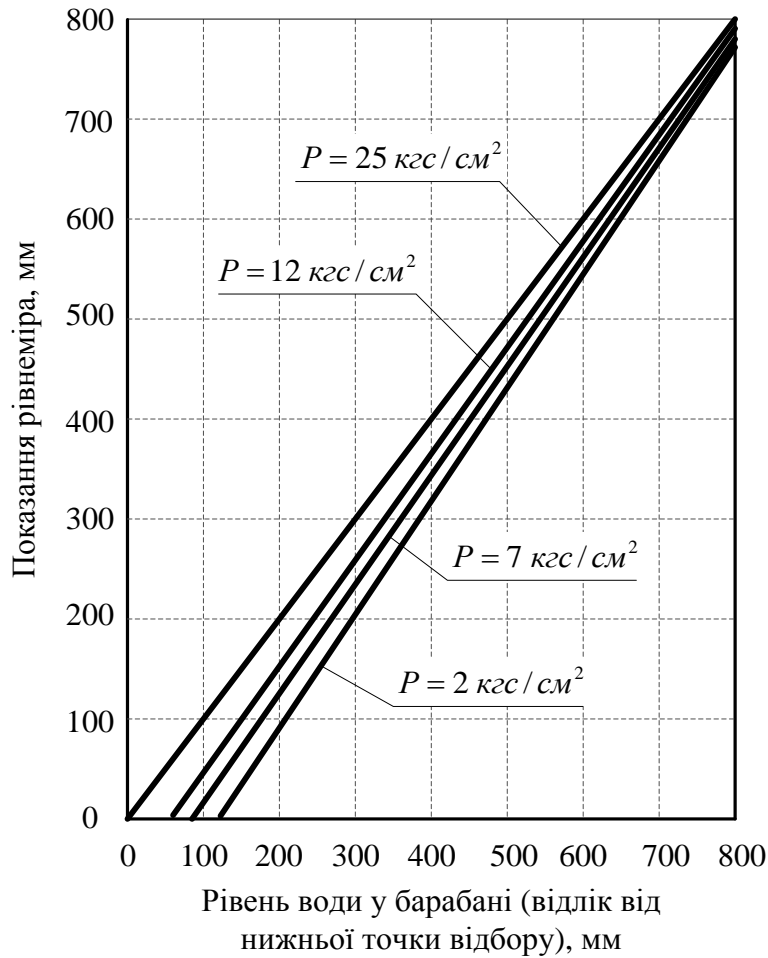


Рисунок 2 – Зміни показань рівнеміра при відхиленні тиску пари в барабані від номінального

Метою даної роботи є удосконалення системи автоматичного контролю та регулювання рівня конденсату в барабані-сепараторі котла-утилізатора конвертерних газів.

Виклад основного матеріалу. Основним недоліком існуючого методу вимірювання рівня є те, що невідома різниця щільності води і пари $\Delta\rho = \rho' - \rho''$. Однак, якщо контролюється температура або тиск у посудині, цю різницю щільності можна визначити. У стані насичення (до критичної точки) кожному значенню температури відповідає єдине значення тиску пара, тому ρ' і ρ'' можна вважати функціями температури або тиску.

Збір вимірювальної інформації про значення технологічних параметрів барабанної установки виконується програмованим мікроконтролером. За вимірюваними даними отримана таблична залежність різниці $\Delta\rho$ ($\text{кг}/\text{м}^3$) від надлишкового тиску в стані насичення, яка потім була апроксимована аналітичним виразом вигляду:

$$\Delta\rho(P) = A \cdot e^{B \cdot P} + C \cdot P + D, \tag{3}$$

де P – надлишковий тиск в барабані, $кгс/см^2$; $A = 46,0917 кг/м^3$, $B = -0,2404$, $C = -3,5913 \cdot 10^{-4} кг/кгс \cdot м$, $D = 909,4809 кг/м^3$ – налагоджувальні коефіцієнти.

Залежність $\Delta\rho(P)$, а також залежність щільності води ρ' і пари ρ'' від тиску показані на рисунку 3.

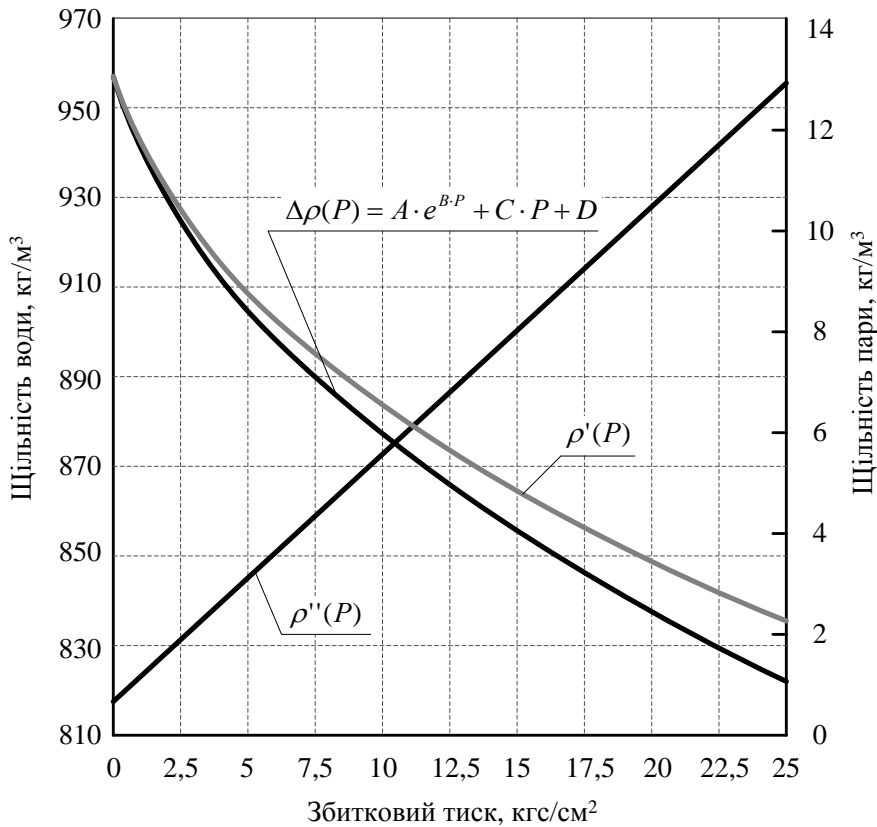


Рисунок 3 – Залежність щільності води і насиченої пари та їх різниці від тиску

Апроксимація проведена в середовищі MathCAD на контрольованому відрізку зміни тиску $0 - 25 кгс/см^2$. Максимальна залишкова похибка апроксимації склала $2,049 кг/м^3$ (1,5%), середня по всьому відрізку похибка дорівнює $0,47 кг/м^3$ (0,34%), показник визначеності апроксимації $R^2 = 0,9998$. Тобто аналітична функція (3) з високою точністю відповідає таблиці, але на відміну від табличної залежності зручна тим, що її легко ввести до ЕОМ.

Підставимо вираз (3) у рівняння (1) і вирішимо його відносно h . Отримаємо вираз для рівня, скоригований по тиску пари в барабані:

$$h(\Delta P, P) = H - \frac{1000 \cdot \Delta P}{(A \cdot e^{B \cdot P} + C \cdot p + D) \cdot g} \quad (4)$$

Тепер значення рівня h (мм) (відстань між точками відбору H (мм)) розраховується

як результат непрямого вимірювання за двома величинами, отриманими в результаті прямих вимірювань по перепаду тиску на зрівняльній посудині ΔP (Па) і по надлишковому тиску пари в барабані P (кгс/см²).

Вираз (4) було внесено до програми розрахунку керуючого впливу мікроконтролера. При цьому діапазон вихідного сигналу вимірювального комплексу перебудований на його номінальний перепад 10 кПа.

Оскільки рівнемір з корекцією по тиску пари включає в себе канал вимірювання надлишкового тиску і канал вимірювання перепаду на зрівняльній посудині, його похибку можна оцінити як похибку непрямих вимірювань.

Допустимі відносні та абсолютні похибки прямих вимірювань складають: для каналу вимірювання перепаду тиску – $\gamma_{\Delta P} = 1,83\%$ та $\delta_{\Delta P} = 183$ Па, для каналу надлишкового тиску – $\gamma_P = 0,58\%$ та $\delta_P = 0,144$ кгс/см².

Тоді похибку вимірювання рівня можна визначити наступним чином:

$$\delta_h(\Delta P, P) = \sqrt{\left(\frac{\partial h(\Delta P, P)}{\partial \Delta P} \cdot \delta_{\Delta P}\right)^2 + \left(\frac{\partial h(\Delta P, P)}{\partial P} \cdot \delta_P\right)^2}. \quad (5)$$

Залежність похибки від перепаду тиску при різних значеннях надлишкового тиску пари показана на рисунку 4. Як видно з графіка, похибка мало змінюється зі зміною перепаду, набагато сильніше вона залежить від тиску пари. При максимальних значеннях перепаду і тиску 10 кПа і 25 кгс/см² похибка максимальна і близька до 23 мм, проте вона знаходиться у досить маленькому діапазоні від 19 до 23 мм. В середньому по всій області вимірювання P і ΔP похибка становить 22 мм, а при діапазоні шкали рівнеміра до 1000 мм – 2,2%. Похибка каналу вимірювання перепаду тиску дорівнює 1,83%. Як видно, додавання каналу вимірювання надлишкового тиску пари незначно збільшило похибку рівнеміра в порівнянні з вихідним методом.

На практиці значення рівня води, скориговані за тиском пари в барабані, відрізняються від показань водомірного скла, прийнятих за істинні, не більше ніж на 30 мм. Ця відмінність обумовлена такими причинами:

- через кипіння рівень води у водомірному склі постійно коливається, що ускладнює точне зняття показань, у той же час сигнали від датчиків фільтруються згладжуючими фільтрами;

- залежність різниці щільності води і пари від тиску справедлива для сталого – рівноважного стану насичення, але через постійні зміни тиску в барабані вода і пар знаходяться в стані близькому до рівноважного, адже перехід у насичення відбувається хоча і швидко, але не миттєво;

- внаслідок охолодження щільності води в зрівняльній посудині та в водомірному склі більше щільності води в барабані ρ' , причому відрізняються вони на різну величину, оскільки посудина має теплоізоляцію, а скло не має, тобто насправді показання обох приладів трохи занижені в порівнянні з дійсним рівнем води в барабані.

Застосування корекції по тиску пари дозволило знизити похибку вимірювання рівня у 2,5 рази в порівнянні з вихідним методом. Підвищення точності вимірювань означає

поліпшення якості управління технологічним процесом і безпеку експлуатації барабанної установки.

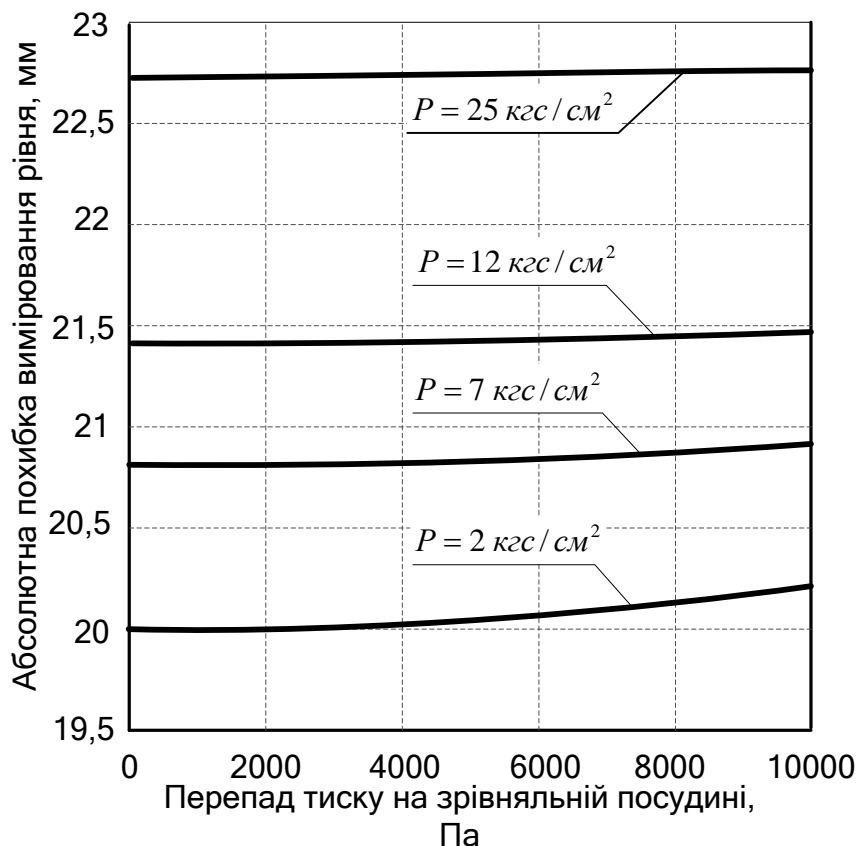


Рисунок 4 – Визначення похибки рівнеміра з корекцією по тиску пари як похибки непрямого вимірювання

Запропонована методика корекції вимірювання рівня води придатна для більшості посудин, що працюють під тиском, в яких вода та її пар знаходяться у стані насичення. Це можуть бути акумулятори парових котлів, випаровувачі, деаератори та ін. При цьому необхідно, щоб окрім рівня води в посудині контролювалися тиск або температура пари, а інформація про значення цих параметрів збиралася і оброблялася мікропроцесорним пристроєм.

ВИСНОВКИ

Запропонований метод контролю рівня конденсату в барабані-сепараторі із введенням поправок по тиску і витраті пари дозволяє підвищити точність вимірювань та покращити якість управління технологічним процесом і безпеку експлуатації барабанної установки.

Перелік використаних джерел:

1. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты: учебник / Л. Н. Сидельковский, А. П. Воинов, В. А. Зайцев, Л. И. Куперман. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.

2. Кудрин, В. А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов / В. А. Кудрин. – М. : Мир, 2003. – 528 с.

3. Гічов, Ю. О. Котли-утилізатори та їх тепловий розрахунок : навч. посібник / Ю. О. Гічов, В. М. Бойко, Д. С. Адаменко. – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2004. – 46 с.

Харитонов, Н. В. О применении системы измерения уровня в барабане энергетического котла гидростатическим методом с многопараметрическим преобразователем давления / Н. В. Харитонов, В. Л. Федоров // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 1. – С. 18–23.

Черевко Е. А., Климов Б. А.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ КОНДЕНСАТА В БАРАБАНЕ-СЕПАРАТОРЕ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА КОНВЕРТЕРНЫХ ГАЗОВ С КОРРЕКЦИЕЙ ПО ДАВЛЕНИЮ ПАРА

Важной частью технологической линии конвертерного производства стали являются котлы-утилизаторы, предназначенные для охлаждения, утилизации тепла отходящих газов конвертеров и выработки насыщенного пара для технологических нужд.

Системы автоматического регулирования, контроля, сигнализации и блокировок котлов должны обеспечивать их надежную работу в проектном режиме, предотвращение аварийных ситуаций, обеспечивать заданные экологические показатели работы конвертера.

В работе выполнен анализ существующей системы контроля и регулирования уровня воды в барабане-сепараторе котла-утилизатора конвертерных газов. Обнаружено, что при существующем методе измерения показания уровнемера зависят от разности плотностей воды и пара, которая значительно изменяется при изменении давления пара в барабане. Давление в барабане на практике заметно отличается от номинального значения и меняется в достаточно широком диапазоне. В результате существующий метод не может обеспечить достаточной точности измерения уровня при отклонении давления от номинального значения.

Предложен метод измерения уровня конденсата в барабане-сепараторе с коррекцией измерения по разности плотности воды и пара и по давлению пара в барабане. Применение коррекции позволило снизить погрешность измерения уровня в 2,5 раза по сравнению с исходным методом.

Повышение точности измерений позволяет более эффективно вести процесс управления котлом-утилизатором, снизить потребление питательной воды в процессе конвертерной плавки, снизить возможность возникновения нештатных и аварийных ситуаций.

Описанная в работе методика коррекции измерения уровня воды пригодна для большинства сосудов, работающих под давлением, в которых вода и ее пар находятся в состоянии насыщения – аккумуляторов паровых котлов, испарителей, деаэраторов и др.

Ключевые слова: конвертерные газы, котел-утилизатор, автоматизированная система регулирования, барабан-сепаратор, питающая вода, измерение, поправка, уровень, давление, плотность.

SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL AND REGULATION OF THE CONDENSE LEVEL IN THE DRUM-SEPARATOR OF THE BOILER-UTILIZER OF CONVERTER GASES WITH CORRECTION BY DIRECTION

An important part of the technological line of converter steel production are recovery boilers designed for cooling, heat recovery of the exhaust gases of the converters and the production of saturated steam for technological needs.

Systems of automatic regulation, control, signaling and blocking of coppers have to provide their reliable work in a design mode, prevention of emergency situations, to provide the set ecological indicators of converter process.

The analysis of the existing system of control and regulation of the water level in the drum-separator of the boiler-utilizer of converter gases is performed. It was found that with the existing method of measuring the level meter readings depend on the difference between the densities of water and steam, which changes significantly when the steam pressure in the drum changes. The pressure in the drum in practice differs markedly from the nominal value and varies in a fairly wide range. As a result, the existing method cannot provide sufficient level measurement accuracy when the pressure deviates from the nominal value.

A method for measuring the condensate level in the drum-separator with the correction of the measurement by the difference between the density of water and steam and the steam pressure in the drum is proposed. The application of the correction allowed to reduce the level measurement error by 2.5 times compared to the original method.

Improving the accuracy of measurements allows to more effectively manage the process of the boiler-utilizer, reduce the consumption of feed water in the process of converter melting, reduce the possibility of abnormal and emergency situations.

The method of correction of measurement of water level described in work is suitable for the majority of vessels working under pressure in which water and its steam are in a state of saturation – accumulators of steam coppers, evaporators, deaerators, etc.

Keywords: *converter gases, recovery boiler, automated control system, drum separator, feed water, measurement, correction, level, pressure, density.*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Воротнікова З. Є.

Стаття надійшла

УДК 669.162.22

Черевко О. О., Щербаков С. В., Шаповалов О. І.

ІНВАРІАНТНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ МЕТАЛУ В КРИСТАЛІЗАТОРІ МБЛЗ

На якість поверхні злитка істотно впливає робота системи автоматичного регулювання (САР) рівня металу в кристалізаторі МБЛЗ. Переривання струменя металу, що надходить в кристалізатор, а також коливання рівня призводять до утворення поверхневих дефектів злитка. Великі відхилення від заданого рівня можуть призводити до виникнення аварійних ситуацій.

Виконано аналіз роботи існуючої САР рівня металу в кристалізаторі. Встановлено, що основним обуренням по навантаженню, яке призводить до коливань рівня, є зміна швидкості витягування злитка, що відбувається при зміні пром.ковша та розливного стакану, при переході на другий стопор промковша, при спрацьовуванні системи запобігання проривів та інших причин.

Для підвищення динамічної точності стабілізації рівня металу запропоновано структурну схему комбінованої САР, що використовує принципи управління по відхиленню та обуренню. Внесено відповідні пропозиції щодо удосконалення системи.

Функціонування системи управління перевірено на моделях. Доведено, що розроблена САР абсолютно інваріантна до обурення по навантаженню.

Дослідження показали, що запропоновані нововведення дозволяють істотно покращити умови вторинного охолодження злитка, підвищити якість стабілізування рівня металу в кристалізаторі, і, як наслідок, якість кінцевої продукції.

Ключові слова: МБЛЗ, злиток, кристалізація, вторинне охолодження, система автоматизованого управління, інваріантність, комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. Стабілізація рівня металу в кристалізаторі МБЛЗ повинна здійснюватися з високою точністю, оскільки перевищення рівнем металу заданого значення може привести до переливу через верхню кромку кристалізатора, а зниження рівня може стати причиною формування досить міцної кірки злитка і прориву металу під кристалізатором. Такі ситуації є серйозними аваріями. Неприпустимими є перерви струменя металу в ході розливки, тому що вони ведуть до утворення спаїв (поясів) на злитку. Коливання рівня металу внаслідок зміни швидкості витягування злитка викликають появу складок на його поверхні.

З огляду на ці умови рівень металу в кристалізаторі повинен бути надійно стабілізованим при можливо менших коливаннях величини керуючого впливу (відкриття затвора промковща) та без статичної помилки. При проектуванні системи регулювання рівня слід враховувати інерційність виконавчого механізму і регулюючого органу.

Таким чином, якість одержуваних на МБЛЗ слябів, а також надійність і безпека роботи агрегату багато в чому залежать від функціонування системи автоматичного регулювання рівня металу в кристалізаторі. САР рівня металу в кристалізаторі МБЛЗ повинна відповідати особливим вимогам по точності, швидкодії, якості перехідних процесів, а також стійкості до зовнішніх впливів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день найбільш поширеним способом дозування сталі є дозування за допомогою стопорного механізму, який переміщується відносно стакана-дозатора, змінюючи витрати металу, що надходить в кристалізатор з проміжного ковша [1, 2].

При стопорній розливці основними обуреннями, які впливають на рівень металу в кристалізаторі, є [3]:

- зміна швидкості витягування злитка з кристалізатора;
- розмивання або руйнування головки стопора;
- заростання внутрішньої порожнини стакана-дозатора.

Для стабілізації рівня металу в кристалізаторі застосовуються системи, побудовані за принципом зворотного зв'язку за регульованою величиною [3, 4], які часто характеризуються незадовільними показниками якості перехідних процесів. Більш ефективними є комбіновані САР, що використовують методи регулювання по відхиленню та обуренню [5].

Основним обуренням, яке призводить до коливань рівня металу, є швидкість витягування злитка тягнутою кліткою, яка розташовується в зоні, де заготовка вже практично повністю затверділа. Оскільки швидкість витягування змінюється в процесі розливання по відомому закону, її вплив на рівень металу можна заздалегідь компенсувати [3]. Комбіновані системи регулювання проєктуються з використанням принципу інваріантності, який полягає в компенсації впливу зовнішніх обурень довільного характеру на перебіг перехідних процесів в системі [5].

Зменшити вплив зовнішніх обурень можна або за рахунок збільшення коефіцієнта посилення контуру зі зворотним зв'язком по регульованій змінній, або за рахунок введення компенсуючих зв'язків по обуренню.

Оскільки підвищення коефіцієнта посилення веде до зниження запасів стійкості та погіршення якості перехідних процесів, запропонована в роботі САР побудована шляхом створення компенсуючого каналу передачі обурення.

Метою даної роботи є удосконалення САР рівня металу в кристалізаторі за рахунок застосування принципів теорії інваріантності, що дозволить підвищити точність регулювання, поліпшити якість продукції, безпеку та надійність роботи агрегату.

Виклад основного матеріалу. Рівень металу в кристалізаторі МБЛЗ контролюється електромагнітним датчиком рівня. Регулятор рівня реалізований програмно на базі контролера. При виникненні неузгодженості (різниці між заданим і поточним значеннями рівня) регулятор формує сигнал керування для регулюючого органа (РО) шляхом зміни положення стопорного затвора промковша. Стопорний затвор обладнаний гідравлічним виконавчим механізмом (ВМ). РО переміщується до тих пір, поки сигнал неузгодженості не буде зведено до нуля. При виникненні несправностей в гідравлічному ВМ стопорним затвором можна керувати вручну.

Стопорний затвор промковша разом із гідравлічним виконавчим механізмом є замкнутою слідкуючою САР, структура якої представлена на рис. 1.

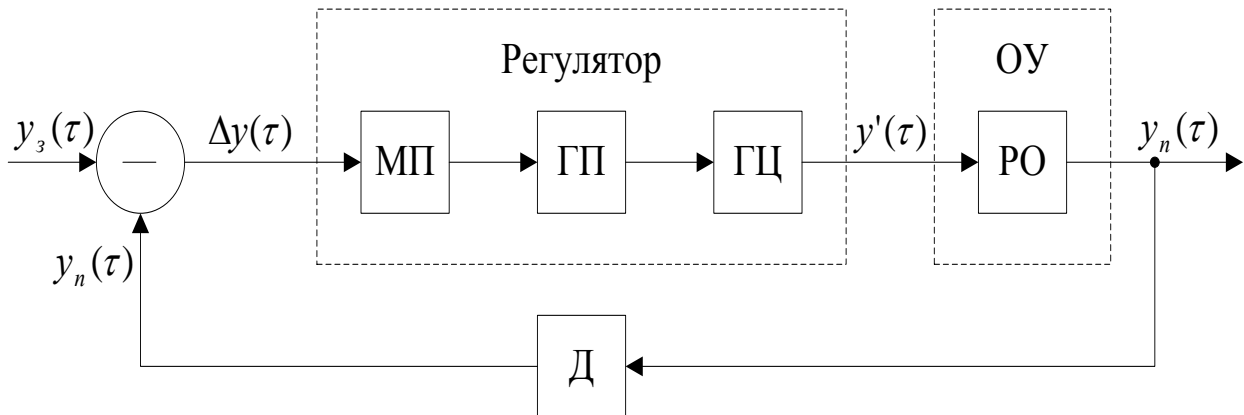


Рисунок 1 – Структура ВМ, розробленого у вигляді слідкуючої САР:
 Д – датчик положення РО; МП – мікропроцесорний пристрій
 ГП – гідравлічний перетворювач; ГЦ – гідравлічний циліндр

Інформація про поточне положення РО $y_n(\tau)$, яке контролюється датчиком Д, подається на пристрій формування сигналу помилки. Задане значення положення РО $y_3(\tau)$ надходить від регулятора рівня металу або встановлюється оператором вручну. Сигнал помилки $\Delta y(\tau)$ обчислюється як різниця між заданим і поточним значеннями положення РО. Регулятор являє собою сукупність мікропроцесорного пристрою МП, який реалізує алгоритм регулювання, гідравлічного перетворювача ГП і гідравлічного циліндра ГЦ. На вхід регулятора надходить сигнал помилки $\Delta y(\tau)$, а вихідною величиною є швидкість переміщення РО $y'(\tau)$. Об'єктом управління (ОУ) є стопорний затвор промковша, який можна розглядати як інтегруючу ланку. Вхідною величиною ОУ є його швидкість переміщення $y'(\tau)$, вихідною – поточне положення $y_n(\tau)$.

Виконавчий механізм (ВМ), розроблений у вигляді слідкуючої системи, працює таким чином, щоб в будь-який момент забезпечити рівність поточного положення РО заданому. Задане положення РО змінюється за певним законом і є функцією часу.

На рисунку 2 представлена структурна схема САР рівня металу в кристалізаторі. Вихідна величина об'єкта управління (поточне значення рівня $h_n(p)$) включає в себе дві складові: вихідну величину ОУ по каналу обурення (передавальна функція $W_{об}^z(p)$) і вихідну величину ОУ по каналу управління (передавальна функція $W_{об}(p)$). Вимірювальна система має передавальну функцію $W_{вим}(p)$. Отримане поточне значення рівня металу в кристалізаторі $h_n^{вим}(p)$ подається на вхід пристрою формування сигналу помилки.

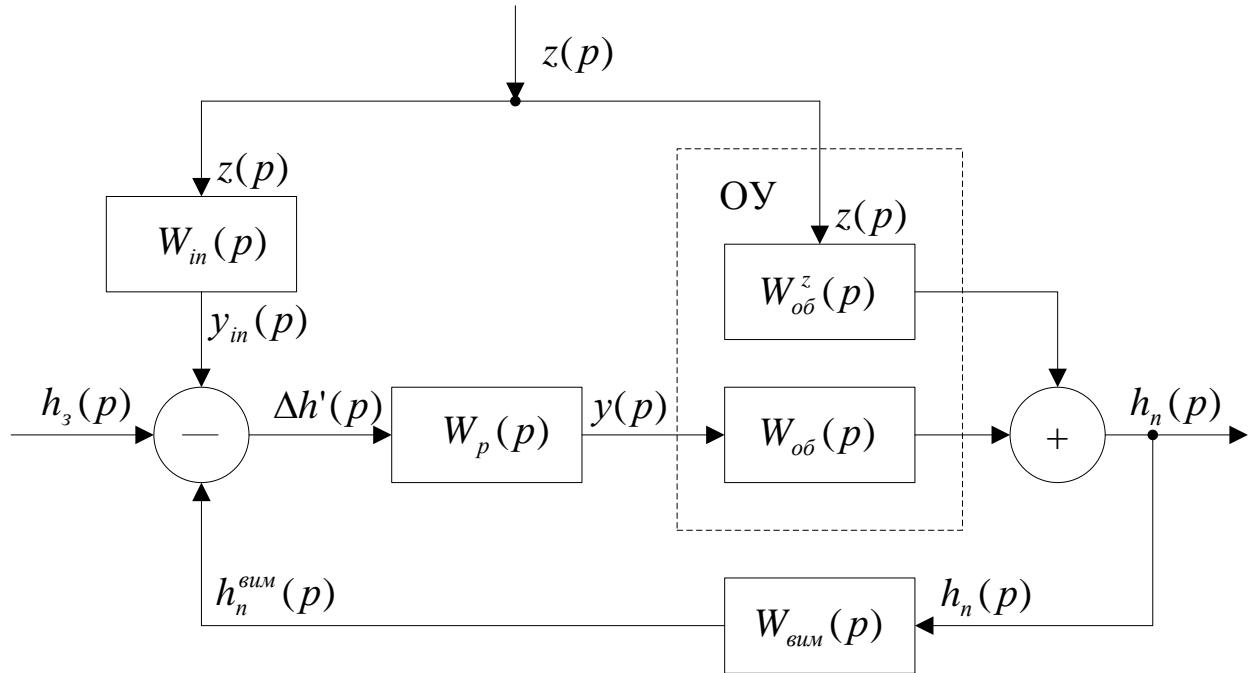


Рисунок 2 – Структурна схема САР рівня металу в кристалізаторі МБЛЗ

Для збільшення динамічної точності системи при наявності обурення по швидкості витягування злитка $z(p)$ запропонована комбінована система управління, яка використовує принципи управління по відхиленню та обуренню. Для цього до складу системи введений інваріантний перетворювач $W_{in}(p)$, сигнал якого $y_{in}(p)$ подається на вхід пристрою формування сигналу помилки.

Сигнал помилки $\Delta h'(p)$, який є функцією поточного виміряного $h_n^{вцм}(p)$ і заданого $h_3(p)$ рівнів металу, а також вихідного сигналу інваріантного перетворювача $y_{in}(p)$, надходить на вхід регулятора $W_p(p)$. На підставі $\Delta h'(p)$ регулятор формує керуючий вплив $y(p)$, який подається на вхід ОУ.

Вихідною величиною САР є поточне значення рівня металу $h_n(p)$, а вхідними – задане значення рівня металу $h_3(p)$ і обурення за швидкістю витягування $z(p)$. Визначимо залежність вихідної величини від вхідних величин:

$$h_n(p) = W_{o\delta}(p)y(p) + W_{o\delta}^z(p)z(p); \quad (1)$$

$$y(p) = W_p(p)\Delta h'(p); \quad (2)$$

$$\Delta h'(p) = h_3(p) - h_n^{вцм}(p) + y_{in}(p); \quad (3)$$

$$h_n^{вцм}(p) = W_{вцм}(p)h_n(p); \quad (4)$$

$$y(p) = W_p(p)(h_3(p) - W_{вцм}(p)h_n(p) + W_{in}(p)z(p)); \quad (5)$$

$$h_n(p) = W_{об}(p)W_p(p)(h_z(p) - W_{вим}(p)h_n(p) + W_{ин}(p)z(p)) + W_{об}^z(p)z(p). \quad (6)$$

Після перетворень виразу (6) отримуємо:

$$h_n(p) = \frac{W_{об}(p)W_p(p)}{1 + W_{об}(p)W_p(p)W_{вим}(p)} \cdot h_z(p) + \frac{W_{об}^z(p) + W_{об}(p)W_p(p)W_{ин}(p)}{1 + W_{об}(p)W_p(p)W_{вим}(p)} \cdot z(p). \quad (7)$$

З виразу (7) видно, що САР рівня металу в кристалізаторі можна зробити інваріантною до обурення по швидкості витягування $z(p)$ при виконанні умови:

$$W_{об}^z(p) + W_{об}(p)W_p(p)W_{ин}(p) = 0, \quad (8)$$

тобто якщо вдасться реалізувати інваріантний перетворювач з передавальною функцією

$$W_{ин}(p) = -\frac{W_{об}^z(p)}{W_{об}(p)W_p(p)}. \quad (9)$$

Розглянемо передавальні функції складових системи.

За каналом управління ОУ апроксимується ідеальною інтегруючою ланкою:

$$W_{об}(p) = \frac{K_{об}}{p}. \quad (10)$$

Залежність рівня металу в кристалізаторі $h_n(\tau)$ від швидкості витягування злитка $v_p(\tau) = z(\tau)$ описується як ідеальна інтегруюча ланка:

$$h_n(\tau) = -\int_0^\tau z(\tau) d\tau, \quad (11)$$

тому передавальна функція ОУ за каналом обурення має вигляд:

$$W_{об}^z(p) = -\frac{1}{p}. \quad (12)$$

Вимірювальна система апроксимується аперіодичною ланкою з передавальною функцією:

$$W_{вим}(p) = \frac{K_{вим}}{T_{вим}p + 1}. \quad (13)$$

де $K_{вим}$ – коефіцієнт передачі вимірювальної системи; $T_{вим}$ – постійна часу вимірювальної системи, що визначається інерційністю засобів вимірювання.

Для поліпшення якості перехідних процесів в САР використовується ПІД-регулятор.

Загальна передавальна функція слідкуючої системи $W_{САР}(p)$ (стопорного затвора промковша з гідравлічним виконавчим механізмом) описується як зустрічно-паралельне з'єднання ланок: регулятора і ОУ з передавальними функціями $W_p(p)$ та $W_{об}(p)$ відповідно:

$$W_{САР}(p) = \frac{W_{об}(p)W_p(p)}{1 + W_{об}(p)W_p(p)}. \quad (14)$$

З виразу (14) передавальна функція регулятора дорівнює:

$$W_p(p) = \frac{W_{CAP}}{W_{o\sigma} - W_{CAP}W_{o\sigma}}. \quad (15)$$

Якщо передавальна функція регулятора буде відповідати виразу (15), то всю слідкуючу систему можна буде апроксимувати за допомогою однієї аперіодичної ланки:

$$W_{CAP}(p) = \frac{1}{T_{CAP}p + 1}. \quad (16)$$

ОУ апроксимується як ідеальна інтегруюча ланка з передавальною функцією:

$$W_{o\sigma}(p) = \frac{1}{p}, \quad (17)$$

тому залежність положення стопорного затвора від швидкості його переміщення має вигляд:

$$y_n(\tau) = \int_0^{\tau} y'(\tau) d\tau. \quad (18)$$

Підставивши у вираз (15) передавальні функції слідкуючої CAP і ОУ

$$W_p(p) = \frac{\frac{1}{T_{CAP}p + 1}}{\frac{1}{p} - \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{T_{CAP}p + 1}}, \quad (19)$$

отримаємо передавальну функцію регулятора:

$$W_p(p) = \frac{1}{T_{CAP}}. \quad (20)$$

Це П-регулятор з коефіцієнтом передачі

$$K_p = \frac{1}{T_{CAP}}. \quad (21)$$

Знаючи коефіцієнт передачі регулятора, можна висловити постійну часу системи:

$$T_{CAP} = \frac{1}{K_p}. \quad (22)$$

При збільшенні коефіцієнта передачі регулятора постійна часу слідкуючої САР T_{CAP} зменшується, тобто зменшується інерційність системи. За $K_p \rightarrow \infty$ та $T_{CAP} \rightarrow 0$ аперіодична ланка вироджується в пропорційну з коефіцієнтом передачі, рівним одиниці. При цьому положення стопорного затвора промковша буде дорівнювати заданому в будь-який момент часу незалежно від зміни заданого положення.

На практиці K_p завжди обмежений. Для даної системи максимальне значення K_p визначається часом повного ходу ВМ:

$$K_p = \frac{1}{T_{BM}} = \frac{1}{2c} = 0,5 \frac{\%XPO}{c}. \quad (23)$$

Аналіз структури слідкуючої системи, представленій сукупністю стопорного затвора промковша і гідравлічного виконавчого механізму, виявив можливість апроксимації даної САР за допомогою аперіодичної ланки.

Передавальна функція ПІД-регулятора рівня з баластною ланкою, якою апроксимується ВМ, дорівнює:

$$W_p(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i} \cdot \frac{1}{p} + T_d p\right) \frac{1}{T_{BM} p + 1}, \quad (24)$$

де K_p – коефіцієнт передачі регулятора, % XPO/мм; T_i – час інтегрування, с; T_d – час диференціювання, с; T_{BM} – постійна часу баластної ланки, яка дорівнює часу повного ходу ВМ, с.

Маючи передавальні функції елементів системи, за виразом (9) знайдемо передавальну функцію інваріантного перетворювача, структура якого зображена на рис. 3:

$$W_{in}(p) = -\frac{\frac{1}{p}}{\frac{K_{об}}{p} K_p \left(1 + \frac{1}{T_i} \cdot \frac{1}{p} + T_d p\right) \frac{1}{T_{BM} p + 1}}; \quad (25)$$

після перетворення:

$$W_{in}(p) = \frac{T_i}{K_{об} K_p} \cdot \frac{1}{T_i T_d p^2 + T_i p + 1} \cdot p \cdot (T_{BM} p + 1). \quad (26)$$

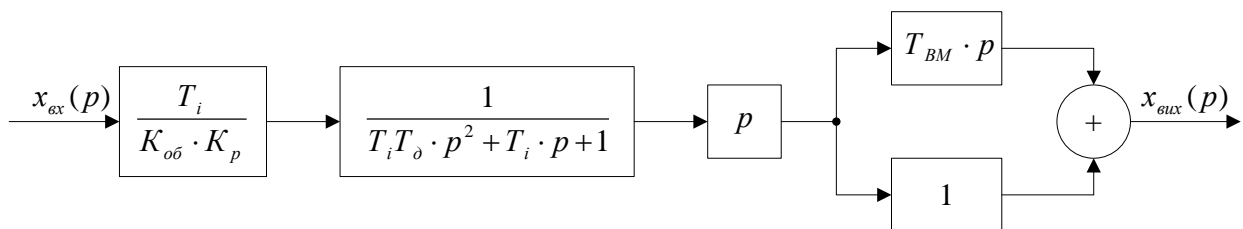


Рисунок 3 – Структура інваріантного перетворювача

До складу інваріантного перетворювача входять пропорційна ланка, інерційна ланка другого порядку та дві ідеальних диференціюючих ланки. Передавальна функція інваріантного перетворювача може бути реалізована на мікропроцесорному пристрої (контролері або ЕОМ).

Для дослідження роботи інваріантної САР рівня металу в кристалізаторі розроблена її комп'ютерна модель.

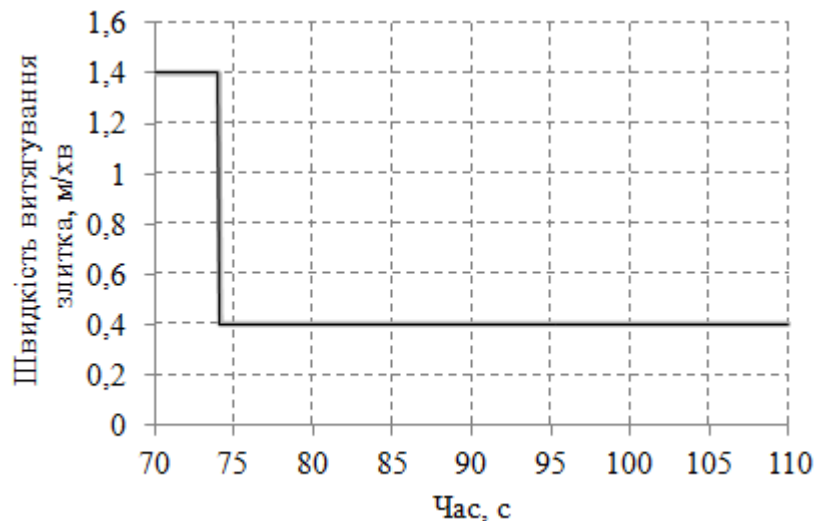
У моделі реалізовані передавальні функції окремих елементарних ланок, з яких зібрана структура інваріантної САР. Такий підхід робить програму універсальною і дозволяє використовувати її для моделювання інших САР.

Розроблена модель дозволяє в реальному масштабі часу змінювати задане значення рівня металу, швидкість витягування злитка, параметри налагодження регулятора, вмикати та вимикати інваріантний перетворювач, будувати тренди поточного і заданого значень рівня металу, а також швидкості витягування злитка.

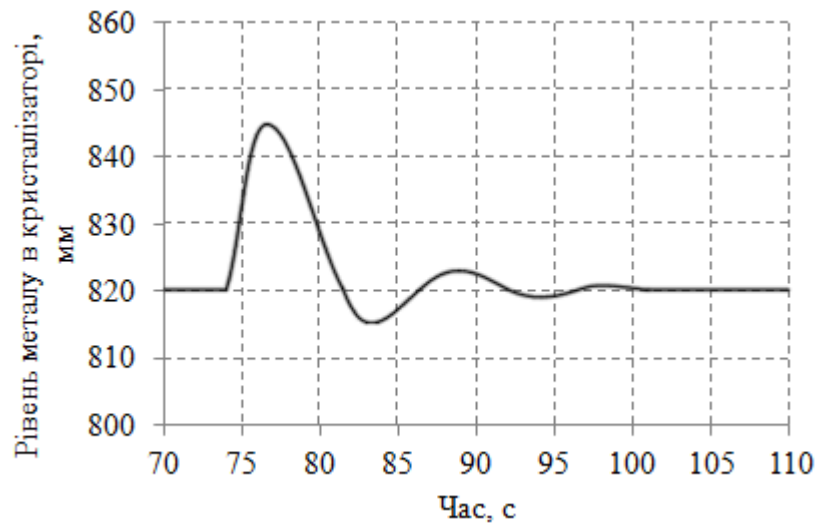
Досліджено вплив інваріантного перетворювача на роботу системи шляхом моделювання перехідного процесу по навантаженню з вимкненим та увімкненим інваріантним перетворювачем.

При вимкненому інваріантному перетворювачі та обуренні по навантаженню $\Delta z = 1,0 \text{ м/хв}$ (рис. 4, а) поточне значення рівня металу в кристалізаторі було приведене до заданого без статичної помилки (рис. 4, б). Динамічна помилка складала 25 мм , коефіцієнт перерегулювання – 20% , час регулювання – 30 с .

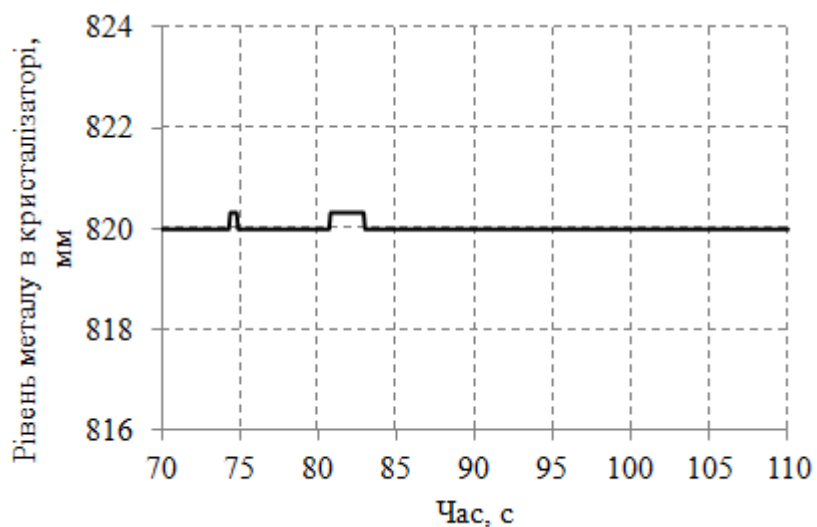
При увімкненому інваріантному перетворювачі таке ж за величиною обурення не викликало відхилення регульованої величини від заданого значення (рис. 4, в), тобто запропонована САР рівня металу нечутлива до зміни швидкості витягування злитка.



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Перехідні процеси по навантаженню при обурюючому впливі (а), вимкненому (б) та увімкненому (в) інваріантному перетворювачі

ВИСНОВКИ

Для підвищення динамічної точності САР рівня металу в кристалізаторі при наявності обурення по швидкості витягування злитка запропоновано застосувати комбіновану систему управління, яка використовує принципи регулювання по відхиленню та обуренню.

Розроблено структуру комбінованої САР рівня металу. На основі аналізу передавальної функції системи сформульовані умови її інваріантності до зміни швидкості витягування та знайдена передавальна функція інваріантного перетворювача.

Для вивчення особливостей функціонування розробленої САР створена програмна

модель. Проведені на моделі дослідження показали, що за наявності інваріантного перетворювача робота САР не залежить від величини та характеру обурюючого впливу.

Впровадження розробленої САР дозволить оптимізувати процес регулювання рівня металу в кристалізаторі, а, отже, підвищити якість продукції, безпеку та надійність роботи агрегату.

Перелік використаних джерел:

1. Буланов, Л. В. Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет / Л. В. Буланов, Л. Г. Корзунин, Е. П. Парфенов. – Екатеринбург : Уральский центр ПР и рекламы «Марат», 2004. – 449 с.
2. Смирнов, А. Н. Непрерывная разливка стали / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. – Донецк : ДонНТУ, 2011. – 482 с.
3. Чернышев, Н. Н. Комбинированная система автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе / Н. Н. Чернышев // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту / ДонНТУ : всеукр. наук. зб. Серія : Обчислювальна техніка та автоматизація. – Покровськ, 2013. – Вип. 2 (25). – С. 72–78.
4. Непрерывная разливка сортовой заготовки : монография / А. Н. Смирнов [и др.]. – Донецк : Цифровая типография, 2012. – 417 с.
5. Попов, Е. П. Теория систем автоматического управления / Е. П. Попов, В. А. Бесекерский. – СПб. : Профессия, 2003. – 752 с.

Черевко Е. А., Щербаков С. В., Шаповалов А. И.

ИНВАРИАНТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

Существенное влияние на качество поверхности слитка оказывает работа системы автоматического регулирования (САР) уровня металла в кристаллизаторе МНЛЗ. Перерывы струи металла, поступающего в кристаллизатор, а также колебания уровня приводят к образованию поверхностных дефектов слитка. Большие отклонения от заданного уровня могут приводить к возникновению аварийных ситуаций.

Выполнен анализ работы существующей САР уровня металла в кристаллизаторе. Установлено, что основным возмущением по нагрузке, приводящим к колебаниям уровня, является изменение скорости вытягивания слитка, происходящее при смене промковша и разливного стакана, при переходе на второй стопор промковша, при срабатывании системы предупреждения прорывов и другим причинам.

Для повышения динамической точности стабилизации уровня металла предложена структурная схема комбинированной САР, использующей принципы управления по отклонению и возмущению. Внесены соответствующие предложения по совершенствованию системы.

Функционирование системы управления проверено на моделях. Доказано, что разработанная САР абсолютно инвариантна к возмущению по нагрузке.

Исследования показали, что предложенные решения позволяют существенно улучшить условия вторичного охлаждения слитка, повысить качество стабилизации уровня

металла в кристаллизаторе, и, как следствие, качество конечной продукции.

Ключевые слова: МНЛЗ, слиток, кристаллизация, вторичное охлаждение, система автоматизированного управления, инвариантность, компьютерное моделирование.

Cherevko O. O., Shcherbakov S. V., Shapovalov A. I.

INVARIANT SYSTEM OF AUTOMATIC REGULATION OF THE METAL LEVEL IN THE CCM CRYSTALLIZER

The operation of the automatic control system (ACS) of the metal level in the continuous casting crystallizer has a significant impact on the surface quality of the ingot. Breaks in the stream of metal entering the crystallizer, as well as level fluctuations lead to the formation of surface defects of the ingot. Large deviations from the set level can lead to emergencies.

The analysis of the operation of the existing ACS metal level in the crystallizer has done. It has been established that the main disturbance in the load, which leads to level fluctuations, is a change in the ingot pulling speed that occurs when changing the bucket and the pouring nozzle, when switching to the second bucket stopper, when the breakout warning system is triggered, and for other reasons.

To increase the dynamic accuracy of stabilization of the metal level, a block diagram of a combined ACS is proposed, using the principles of control for deviation and perturbation. Corresponding proposals have been made to improve the system.

The functioning of the control system is tested on models. It is proved that the developed ACS is absolutely invariant to load disturbance.

Research have shown that the proposed innovations can significantly improve the conditions of the secondary cooling of the ingot, improve the quality of stabilization of the metal level in the crystallize, and, as a result, the quality of the final product.

Keywords: continuous casting machine, ingot, crystallization, secondary cooling, automated control system, invariance, computer simulation

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Воротнікова З. Є.

Стаття надійшла

УДК 004.92

Ясінська Т. А., Федотова Н. А., Вашенко С. М.

ВЕБ-РЕСУРС ВІЗУАЛІЗАЦІЇ 3D-МОДЕЛЕЙ

Стаття присвячена вирішенню актуальної практичної задачі візуалізації 3D-моделей різних форматів без спеціалізованого програмного забезпечення. Проведено аналіз сучасного стану питання, технологій реалізації та ресурсів-аналогів. Згідно сучасних тенденцій розвитку інформаційних технологій реалізацію виконано у форматі веб-ресурсу. Базовою технологією реалізації висунутих функціональних вимог обрано WebGL.

Даний вид технологій застосовується на веб-сторінках Інтернет-магазинів, різних фірм, в системі дистанційного навчання. Причиною даного явища є те, що за рахунок

додавання тривимірних елементів в структуру веб-сторінки розробники сайтів отримують особливий ефект у дизайні.

Структура ресурсу веб-сторінки була розроблена шляхом прототипування за допомогою програмного продукту Adobe Photoshop. Даний етап дозволив узгодити з замовником розміщенні основних блоків та встановити загальну кольорову гамму.

Засобами мов HTML та CSS було виконано розмітку та подальше форматування веб-сторінки у відповідності до фінального вигляду прототипу.

За допомогою функцій та методів мови програмування JavaScript до пульту керування були додані функції, що відповідають за коректну реакцію на дії користувача, а саме - зміна кольору моделі, налаштування чотирьох джерел світла за моделлю освітлення Фонга, вибір бажаного проєкційного виду для перегляду моделі, масштабування сцени.

Стаття містить опис практичної реалізації проекту: прототипування та макетування веб-сторінки, опис реакцій на дії користувача, розробку функцій маніпуляцій з моделлю.

Веб-ресурс реалізовано у вигляді одинарної веб-сторінки, клієнтська частина якої є панель з реалізованими елементами керування (кнопки, check-box, list та інші) та забезпечує виконання функціональних можливостей.

Результатом проведеної роботи є розроблений веб-ресурс, який виконує всі встановлені вимоги. Розробка може використовуватися як в професійній діяльності ІТ-фахівця з 3D-моделювання, так і в навчальному процесі закладів освіти на спеціальностях напрямів інженерія/3D-моделювання.

Ключові слова: WEBGL, веб-ресурс, технології, візуалізація, 3D-модель, JSON.

Постановка проблеми.

В сучасному світі неможливо уявити комфортну діяльність користувача без використання веб-технологій: веб-додатків, веб-ресурсів, веб-сайтів тощо. Створення даних технологій є актуальним питанням, адже такі ресурси дають можливість сформувати інформацію у доступному форматі для користувача в глобальному масштабі та є апаратно-незалежними та крос-платформними.

Також поряд з розвитком веб-технологій популярність набирає 3D-моделювання. Розробники веб-браузерів майже щодня оновлюють версії своїх продуктів, тому сучасні веб-браузери отримують можливість відображення тривимірної графіки в Інтернеті. З використанням даних технологій користувач може не лише переглядати статичне зображення, а й власноруч керувати тривимірними об'єктами (обертати, масштабувати, переміщувати модель та вивчати її структуру) [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Традиційно підтримка відображення 3D моделей обмежена використанням високопродуктивних персональних комп'ютерів або спеціалізованими ігровими консолями, а програмування відповідних модулів вимагає застосування складних обчислювальних алгоритмів для реалізації даного процесу. Проте завдяки стрімкому розвитку потужностей комп'ютерної техніки та розширення функціональних можливостей веб-браузерів, створення та відображення тривимірної графіки з використанням веб-технологій стали можливими і набувають актуальності [2, 3].

На сьогоднішній день технологій для завантаження тривимірних елементів на веб-сторінку існує невелика кількість [3]. Згідно [4] найбільш популярні: Adobe Flash, Silverlight

та WebGL (табл.1). Більшість з них на сьогодні лише розвивається і набуває популярності. Наприклад, технологія WebGL [2] з'явилась на ринку сайтобудування наприкінці 2014 року і на даний час перебуває у стані стрімкого розвитку та набуття популярності.

Таблиця 1

Критерій	Adobe Flash	Microsoft Silverlight	WebGL
Крос-платформність	+	-	+
Захист коду від копіювання	+	+	-
Підтримка мобільних пристроїв	+android -ios	-	+android +ios
Інсталювання додаткового плагіну	+	+	-

Головною перевагою WebGL є побудова 3D-моделей безпосередньо при формуванні веб-сторінки, що не вимагає встановлення додаткових розширень або підключення додаткових бібліотек з боку користувача [5].

Це дозволяє програмному коду WebGL успішно виконуватися практично на будь-якому пристрої та легко інтегруватися з іншими веб-серверами та соціальними мережами [2, 6].

Було проведено аналіз найбільш популярних веб-ресурсів, які забезпечують можливість інтеграції 3D-моделей у веб-сторінки. У табл. 2 наведено критерії та результати аналізу.

Таблиця 2

Назва критерію	Назва ресурсу			
	Sketchfab	Blend4Web	Modelo.io	VERGE3D
1. Використання ресурсу без реєстрації	-	-	-	-
2. Можливість завантаження моделі з розширенням .obj	-	-	-	-
3. Можливість роботи без інсталяції ресурсу	+	-	+	-
4. Використання повного функціоналу при наявності безкоштовного профілю	-	+	+	-
5. Можливість поширення моделі на власний сайт	-	+	-	+

Мета (завдання) дослідження.

З розвитком 3D моделювання з'являються нові плагіни для комфортної роботи зі складними моделями, роблячи їх максимально наближеними до об'єкту-оригіналу. В роботі фахівця даної галузі можлива ситуація, коли потрібно продемонструвати/переглянути модель за умови відсутності відповідного програмного забезпечення.

Тому виникає необхідність у розробці спеціального програмного забезпечення, яке вирішило цю проблему та було б максимально платформонезалежним.

Тому метою роботи є розробка веб-ресурсу, який повинен надати можливість завантаження, перегляду та виконання базових маніпуляцій з властивостями як самого об'єкта, так і сцени. Такий ресурс має бути універсальним для всіх можливих форматів 3D моделей. В якості базової технології прийнято рішення використовувати WebGL.

Розробка повинна бути реалізована у вигляді веб-ресурсу, клієнтська частина якої є панель, реалізована елементами керування (кнопки, check-box, list та інші) та забезпечує виконання таких маніпуляцій з моделлю:

- зміна кольору моделі;
- налаштування чотирьох джерел світла за моделлю освітлення Фонга;
- вибір бажаного проєкційного виду для перегляду моделі;
- масштабування сцени.

Основний матеріал дослідження.

Для забезпечення ефективності розробки на етапі проектування розроблено сценарій роботи користувача з майбутнім ресурсом, виділено всі можливі варіанти використання. Результат такого дослідження викладено у Use-case діаграмі (рис. 1).

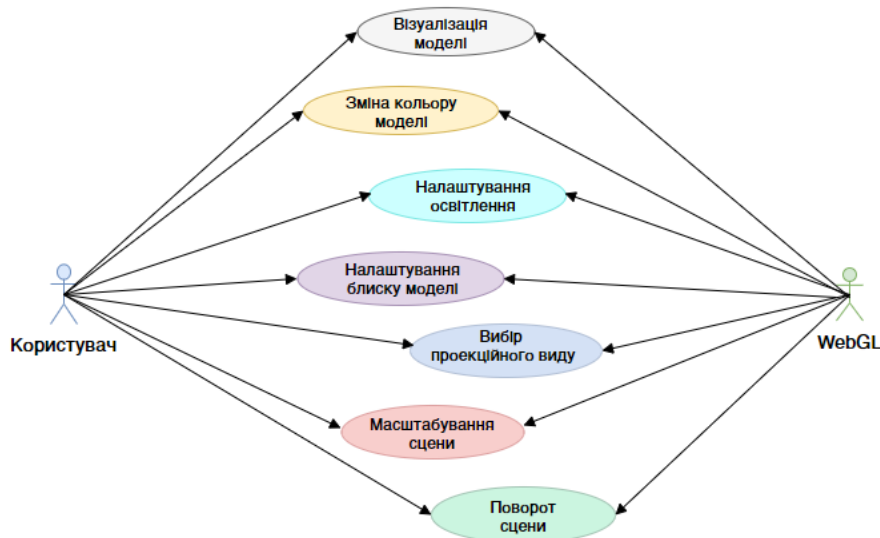


Рисунок 1 – Діаграма варіантів використання

Перш ніж виконувати формування веб-сторінки необхідно виконати прототипування майбутнього ресурсу. Під час виконання даного процесу визначено розміщення та кількість основних блоків (рис. 2).

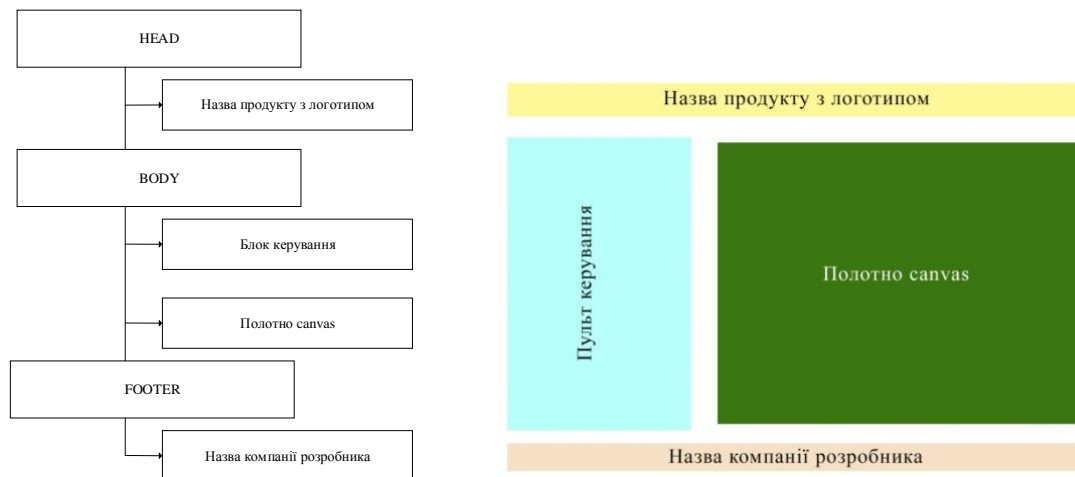


Рисунок 2 – Схематичний вміст сторінки

Взаємодія користувача зі сторінкою реалізується засобами блоку «пульт керування» в макеті. Прототип цього блоку передбачає наявність елементів керування для реалізації можливих варіантів використання веб-ресурсу (рис. 3, виділено пунктиром).

Важливим етапом виконання розробки є макетування сторінки згідно розроблених прототипів та її дизайнерське оформлення засобами мов HTML та CSS. Згідно макета тіло сторінки було розбито на окремі блоки. Формування userfriendly інтерфейсу та комфортне сприйняття інформації користувачем забезпечується використанням власної колекції стилів.

Загальний вигляд веб-ресурсу представлений на рис. 3.

Останнім етапом виконання розробки є програмування логіки роботи ресурсу. Перш ніж перейти безпосередньо до розробки функцій маніпуляцій над 3D-моделлю, базуючись на методах та атрибутах технології WebGL, було додано до пульта керування та полотна canvas обробники подій реакцій на дії користувача. Даний функціонал реалізовано за допомогою засобів мови JavaScript.

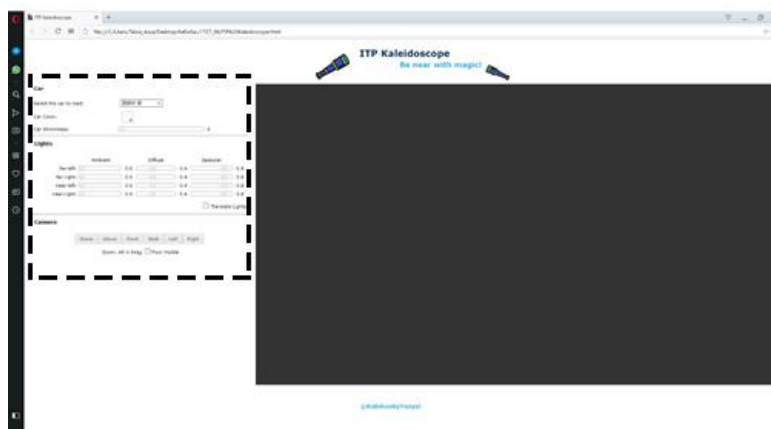


Рисунок 3 – Сторінка веб-ресурсу

Після цього виконувалася безпосередня розробка функціоналу веб-ресурсу щодо реалізації маніпуляцій з 3D-моделлю, використовуючи засоби технології WebGL.

Розробка кожної операції маніпуляції над моделлю реалізовувалась на прикладі роботи з примітивними моделями.

Першою операцією з моделлю, яку буде виконувати користувач, є завантаження файлу та візуалізація цієї моделі.

Оскільки WebGL не надає методи API для передачі незалежних даних вершин моделі в конвеєр рендеринга, тому перш за все необхідно записати всі вершини в масив JavaScript, а потім створити буфер вершин WebGL з цим масивом. При цьому також формується масив індексів вершин, який містить інформацію про порядок з'єднання вершини для формування поверхні. Такий підхід є трудомістким. При такому підході легко реалізувати процес візуалізації примітивів, наприклад, кубу чи піраміди на полотні canvas.

Проте, якщо говорити про візуалізацію повноцінної та складної моделі, існує велика ймовірність того, що індекси будуть записані з порушенням порядку слідування, що призведе до некоректного відображення моделі. Тому було прийнято рішення використовувати файли формату *.json, що передбачено парадигмою технології WebGL. Окремим аргументом цього вибору став також той факт, що JSON є підмножиною об'єктної літеральної нотації JavaScript, а це, в свою чергу, спрощує роботу з ним на веб-сторінці.

Стандартними засобами бібліотек технології WebGL виконано реалізацію базових операцій маніпуляції з моделлю. А саме: зміна забарвлення моделі, масштабування та поворот сцени за допомогою маніпулятора типу миша, налаштування чотирьох джерел освітлення за моделлю Фонга, механізми роботи з камерами на основі проєкційного перетворення. Копії екранів з демонстрацією виконання вказаних функцій наведено на рис. 4 та 5.

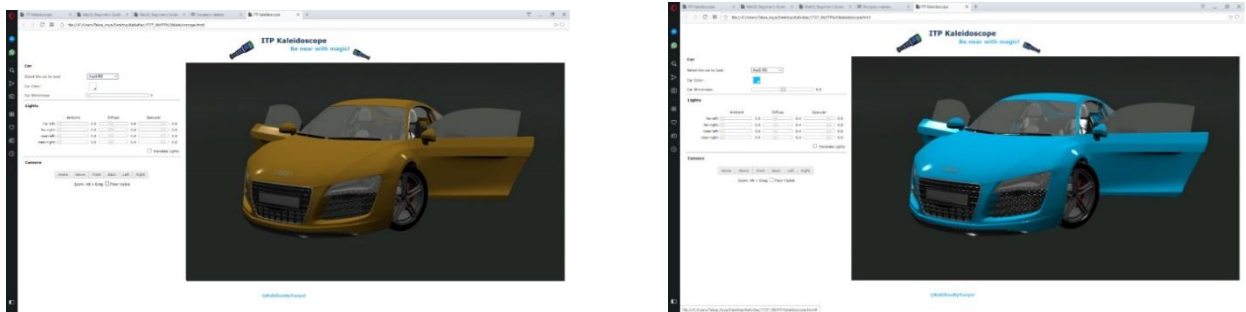


Рисунок 4 – Зміна кольору та додавання блиску

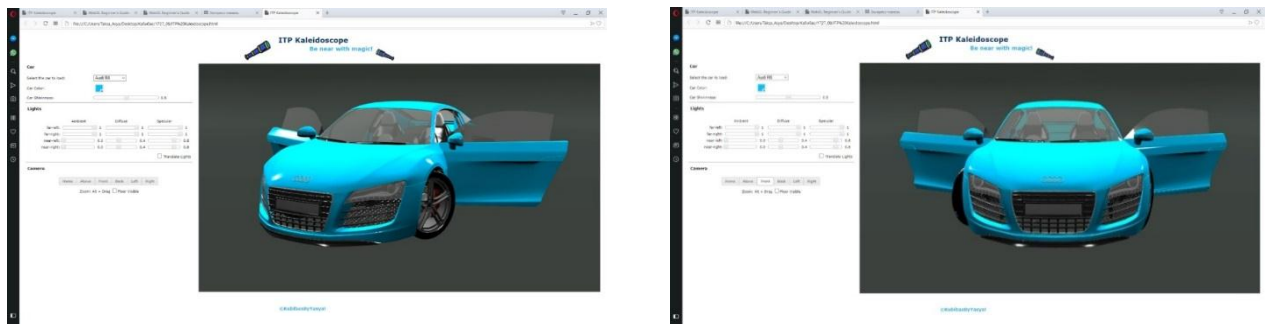


Рисунок 5 – Налаштування джерел світла та зміна проєкційного виду

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження питання використання 3D-моделей в практичній роботі показало, що часто виникає необхідність демонстрації та виконання базових маніпуляцій з моделлю за умови відсутності встановленого спеціалізованого програмного забезпечення. Для вирішення цієї проблеми розроблено веб-ресурс «ІТР Kaleidoscope», який дозволяє завантажувати, переглядати та виконувати маніпуляції з моделлю та сценою. Реалізований функціонал повністю відповідає заявленим вимогам. Забезпечується робота незалежно від платформи та формату моделі. Використання Інтернет-технологій робить запропонований ресурс доступним для користувача незалежно від часу та місця знаходження.

Проведене тестування готового продукту показало, що існують випадки некоректної візуалізації моделі на сцені, пов'язані з особливостями роботи конкретного веб-браузера. За результатами цього складено перелік рекомендованих до використання браузерів. Тому в подальшому заплановано розробку окремого модуля, який дозволить при завантаженні сторінки виконувати перевірку підтримки веб-браузером обраної технології.

Значимість виконаної розробки підтверджується використанням запропонованої розробки в навчальному процесі секції інформаційних технологій проектування кафедри комп'ютерних наук (Сумський державний університет) при проведенні лекційних занять з дисциплін «Комп'ютерна графіка» та «Технології комп'ютерного проектування». Це сприяє покращенню сприйняття матеріалу.

Список використаних джерел:

1. Бочков, А. Л. Графика и мультимедиа для Web / А. Л. Бочков, А. В. Меженин. – СПб. : СПбГИТМО(ТУ), 2002. – 44 с.
2. Трехмерная графика в вебе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bit.ly/2FRRw8X>
3. О будущем веб дизайна [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cakelabs.com/blog/caketeam/webgl/>
4. Adobe Flash vs HTML5 vs Silverlight. Возможное мультимедийное будущее Интернета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yvision.kz/post/42077>
5. Создание веб-сервера для работы с 3D моделями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bit.ly/2OIBx1b>
6. WebGL-publisher [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.webgl-publisher.com>

Ясинская Т. А., Федотова Н. А., Ващенко С. М.

ВЕБ-РЕСУРС ВИЗУАЛИЗАЦИИ 3D-МОДЕЛЕЙ

Статья посвящена решению актуальной практической задачи визуализации 3D-моделей различных форматов без специализированного программного обеспечения. Проведен анализ современного состояния вопроса, технологий реализации и ресурсов-аналогов. Согласно современным тенденциям развития информационных технологий реализацию

выполнен в формате веб-ресурса. Базовой технологии реализации выдвинутых функциональных требований избран WebGL. Статья содержит описание практического выполнения проекта: прототипирования и макетирования веб-страницы, описание реакций на действия пользователя, разработку функций манипуляций с моделью. Результатом проведенной работы является разработанный веб-ресурс, который выполняет все установленные требования. Разработка может использоваться как в профессиональной деятельности IT-специалиста по 3D-моделированию, так и в учебном процессе по специальностям направлений инженерия / 3D-моделирование.

Ключевые слова: WEBGL, веб-ресурс, технологии, визуализация, 3D-модель, JSON.

Yasinska T. A., Fedotova N. A., Vashchenko S. M.

WEB RESOURCE FOR 3D-MODELS VISUALISATION

The paper is devoted to solving the actual practical task of 3D-models rendering in different formats without specialized software. Current state of the issue, implementation technologies and analog resources analyze was conducted. According to modern trends in information technology development, the implementation is done in the web resource format. WebGL was chosen as the basic technology for the implementation functional requirements.

This type of technology is used on the web pages of online stores, different companies, in the distance learning system. The reason of this fact, is that by adding three-dimensional elements to the structure of the web page, the site developers get a special effect on the design.

The structure of the web page resource was designed by prototyping, using Adobe Photoshop software. This phase made it possible to coordinate with the customer the placement of the main blocks and to establish a common color scheme.

By using HTML and CCS markup and formatting the webpage was made according to the final prototype.

Thanks to the functions and methods of the JavaScript programming language to the remote control functions responsible for correct reaction to user actions, namely, changing the color of the model, adjusting the four light sources for the Phong lighting model, selecting the desired projection to view the model, scaling the scene have been added.

The paper describes the practical project realize: prototyping and layout of the web page, description of reactions to user actions, development functions for manipulation with the model.

The web resource was made as a single web page, the client's section of which is a panel with implemented controls (buttons, check-box, list, etc.) and provides the performance of functional possibilities.

As a result, web resource was developed. This product fulfills all established requirements. The resource can be used both in the professional activity of an IT specialist in 3D-modeling, as well as in the educational process for specialties of engineering / 3D-modeling.

Keywords: WEBGL, web resource, technologies, visualization, 3D model, JSON

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Лавров Є. А.

Стаття надійшла 15.11.2019 р.

УДК 519.6:532.5

Остапенко А. О., Ліпунов Д. О.

**МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОФАЗНИХ ТЕЧІЙ ЗАСОБАМИ СУЧАСНИХ
ПАКЕТІВ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ**

В роботі розглянута фізика багатофазних течій, математичні моделі гомогенних та гетерогенних течій. Проаналізований стан сучасної обчислювальної гідродинаміки та можливості сучасних інженерних пакетів прикладних програм для проведення комп'ютерного моделювання. Виділено два підходи, які можуть бути використані для моделювання багатофазних течій: моделі розподіленої течії та дисперсні моделі. Розглянуто можливості сконфігурованих фізичних інтерфейсів пакету Comsol Multiphysics, що реалізують методи моделювання багатофазних течій: системи рівнянь, що в них закладені, їх можливості та обмеження, галузі застосування, точність визначення положення міжфазної границі, можливість моделювання турбулентності. Сформульовані директиви вибору моделі багатофазної течії в залежності від поставленої задачі. Поставлена задача та побудована дисперсна модель для дослідження перемішування рідини в замкнутій ємності при інжектуванні газової фази знизу, використовуючи Bubble Flow інтерфейс пакету Comsol. Описано етапи настроювання фізичного інтерфейсу, постановку початкових та граничних умов, побудову розрахункової сітки. Досліджено фізичний процес на основі отриманих результатів: діаграм об'ємної концентрації газової фази та діаграм модуля швидкості рідкої фази із лініями течії. Зроблено висновок про утворення циркуляційної течії із великою областю циркуляції всередині та вихорами зворотної циркуляції Маффата у кутах. Визначено характер течії, час переходу течії до стаціонарного стану, можливі зони застою рідини.

Ключові слова: динаміка рідини, рівняння Нав'є-Стокса, обчислювальна гідродинаміка, багатофазна течія, комп'ютерна модель, модель розподіленої багатофазної течії, дисперсна модель, функція фазового поля, рівняння переносу, барботування, циркуляційна течія, вихори Маффата, зони застою.

Постановка проблеми. Під багатофазним середовищем розуміється суцільне середовище, що складається з декількох компонент (фаз) з різними фізичними характеристиками [1-3]. Неважко переконатися, що різні типи багатофазних систем (рідина-газ, рідкі емульсії, потоки рідини або газу з твердими частинками) зустрічаються частіше, ніж однофазні. Природні явища і техніка дають величезну кількість прикладів багатофазних систем [2]. У природі багатофазними середовищами є дим, туман, смог, дощ тощо. У техніці типовим прикладом двофазного потоку є потік пара з краплями рідини. Розглядаючи лише технічні пристрої, багатофазні течії зустрічаються при генерації і подальшій конденсації пару в установках теплової та атомної енергетики, процеси дистиляції, ректифікації, випарювання, використовується в хімічній промисловості, холодильній та криогенній техніці, харчових виробництвах. Задачі моделювання багатофазних течій зустрічаються в таких областях як метеорологія і океанологія, при використанні гідродинамічного підходу до опису різних геологічних процесів, конвективного масопереносу мантіїних порід, фільтраційні течії. Інші області застосування пов'язані з вирішенням різноманітних інженерних і технологічних задач

в області проектування охолоджувальних систем, розробки і опису динаміки різних композитних матеріалів, сипучих сумішей і технологічних рідин.

В силу широкого спектру розв'язуваних задач із багатьох наукових дисциплін та різних інженерних областей, математичне та комп'ютерне моделювання багатофазних течій є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні обчислювальна гідродинаміка це підрозділ механіки суцільних середовищ, що включає сукупність фізичних, математичних і чисельних методів, призначених для вивчення структур течій та обчислення характеристик цих процесів. Розвитку цьому розділу присвячена низка наукових праць, зокрема оглядові [4, 5].

Стрімкий розвиток обчислювальної гідродинаміки призвів до появи цілого ряду програмних продуктів. Можливості таких пакетів прикладних інженерних програм розширюються щодня і спрощують процес інженерної розробки і наукових досліджень. Найпоширенішими є програмні продукти ANSYS CFX, ANSYS Fluent, Comsol Multiphysics, Open Foam, Flow Vision [5].

ANSYS - універсальна програмна система, заснована на методі скінчених елементів. Система здатна розв'язувати лінійні та нелінійні, стаціонарні та нестаціонарні просторові задачі механіки деформівного твердого тіла та механіки конструкцій (включаючи нестаціонарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), задачі механіки рідини та газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів. Включає в себе ряд програмних продуктів, з яких для моделювання гідродинаміки використовують Ansys Fluent і Ansys CFX.

Ansys Fluent пропонує широкий вибір фізичних моделей для опису течій, моделювання турбулентності, теплообміну і хімічних реакцій в різних процесах: обтікання крила літака, бульбашкової течії в барботажній колоні, хвильового навантаження на нафтову платформу, кровотік в артерії, очищення стічної води.

Ansys CFX - це високопродуктивний інструмент для розв'язку задач обчислювальної гідрогазодинаміки. Ansys CFX широко застосовується в турбомашинобудуванні для моделювання процесів, що відбуваються в насосах, вентиляторах, компресорах, газових і гідротурбін, в тому числі при взаємодії обертових і нерухомих лопаток. Надійність і точність розрахунків забезпечують вирішувач із можливістю розпаралелювання і великий вибір фізичних моделей. Гнучкий графічний інтерфейс передбачає можливість налаштування і автоматизації процесу моделювання.

Програмний комплекс **FlowVision** - комплексний програмний продукт для моделювання тривимірних течій рідини і газу, створений командою розробників компанії ТЕСИС в тісній співпраці з науково-дослідними організаціями та промисловими підприємствами в Росії і за кордоном. FlowVision заснований на чисельному розв'язку тривимірних стаціонарних і нестаціонарних рівнянь динаміки рідини і газу, які включають в себе закони збереження маси, імпульсу (рівняння Нав'є-Стокса), рівняння стану. Для розрахунку складних рухів рідини і газу, супроводжуваних додатковими фізичними явищами, такими, як, турбулентність, горіння, контактні границі розділу, пористість середовища, теплоперенос і так далі, в математичну модель включаються додаткові рівняння, що описують ці явища. FlowVision використовує скінченно-об'ємний підхід для апроксимації рівнянь математичної моделі. Рівняння Нав'є-Стокса розв'язуються методом розщеплення за фізичними процесами.

COMSOL Multiphysics - програмне середовище, що забезпечує всі етапи моделювання (визначення геометричних параметрів, опис фізики, візуалізація), що дозволяє моделювати будь-які фізичні процеси, які можуть бути представлені у вигляді системи диференціальних рівнянь в частинних похідних. Серед розглянутих дисциплін - електротехніка, механіка, гідродинаміка, хімія (в тому числі з урахуванням хімічної кінетики), явища на мікрорівні, оптичні і високочастотні ефекти. COMSOL Multiphysics включає в себе графічний користувальницький інтерфейс (GUI) і набір попередньо сконфігурованих фізичних інтерфейсів і інструментів моделювання, які призначені для стандартних задач моделювання. Додаткові модулі розширюють можливості платформи COMSOL Multiphysics, забезпечуючи моделювання в специфічних областях науки і техніки та інтеграцію з програмними пакетами сторонніх розробників і їх функціями. Використовуючи наявні інтерфейси, можна моделювати будь-яку комбінацію взаємопов'язаних фізичних процесів на основі методу скінченних елементів. Серед таких процесів: механіка, електромагнетизм, гідродинаміка, хімія, акустика, теплопровідність, оптика і багато інших. COMSOL Multiphysics дозволяє крім використання вбудованих фізичних інтерфейсів проводити мультифізичне моделювання і додавати до моделей свої рівняння.

Таким чином, використання професійно орієнтованих програмних комплексів (ANSYS або COMSOL) дає принциповий вииграш в швидкості отримання кінцевого результату, в порівнянні з традиційними способами моделювання, що дозволяє зосередитися на фізичній сутності досліджуваної задачі.

Мета дослідження. Метою роботи є дослідження можливостей розрахункового пакету міждисциплінарних досліджень COMSOL Multiphysics для моделювання багатофазних течій, зокрема фізичних інтерфейсів пакету, їх порівняння та аналізу області застосування. Крім того, на основі цього аналізу, створення моделі перемішування рідини в замкнутій ємності при ін'єктуванні газу знизу. Дослідження циркуляційної течії, що утворюється.

Основний матеріал дослідження. Під фазою розуміється окрема частина (компонента) однорідної системи, обмежена поверхнею розділу.

Багатофазна течія – це спільна течія декількох фаз, тобто течія суміші, в якій можуть бути присутніми газоподібна, рідка і тверда фази кількох речовин.

Залежно від агрегатних станів речовин виділяють наступні види течій:

- суспензії - суміші рідини з твердими частинками;
- емульсії - суміші рідини з краплями іншої рідини;
- газосуспензії - суміші газу з твердими частинками або краплями рідини;
- аерозависі та аерозолі - суміші повітря з твердими або рідкими частками;
- бульбашкове середовище - суміші рідини з бульбашками газу.

У межах кожної окремої фази правомірні звичайні диференціальні рівняння суцільного середовища, що відображають фундаментальні закони збереження маси, імпульсу і енергії.

Математична модель гомогенної системи. Математичний опис стану рухомої рідини, або «рідкої частинки», здійснюється за допомогою функцій, що визначають розподіл швидкості рідини $\vec{v} = \vec{v}(x, y, z, t)$ і будь-яких її двох термодинамічних величин, наприклад тиску $p = p(x, y, z, t)$ і густини $\rho = \rho(x, y, z, t)$. При вивченні руху суцільного середовища

можна використовувати два підходи: один з них називається лагранжевим, інший - ейлеровим. Підходи Лагранжа та Ейлера доповнюють один одного, але мають різні області застосування. При цьому переваги одного із методів є недоліками іншого.

При використанні підходу Ейлера, течія рідини описується рівняннями Ейлера (для ідеальної рідини) або Нав'є - Стокса (для в'язкої). Рівняння Нав'є-Стокса - нелінійне диференціальне рівняння в частинних похідних, що описує рух в'язкої рідини. Для ізотермічної течії в'язкої нестисливої рідини рівняння має вигляд [6]:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \vec{u} + \vec{F} \quad (1)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості,
 Δ – оператор Лапласа.

До рівнянь руху (1) додається рівняння нерозривності, що представляє собою рівняння збереження маси. Для нестисливої рідини рівняння нерозривності має вигляд:

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (2)$$

Для моделювання течій в'язкої нестисливої ізотермічної рідини необхідно задати рівняння руху Нав'є-Стокса (1), рівняння нерозривності (2) та відповідні початкові та граничні умови. В якості початкової умови задається поле швидкості у початковий момент часу t_0 .

$$\vec{u}(\vec{r}, t) \Big|_{t=t_0} = \vec{u}(\vec{r}, t_0) \quad (3)$$

До граничних умов відносяться, наприклад, умова прилипання, що задається на границях твердих тіл L (4) або значення швидкості на нескінченності (5).

$$\vec{u}(\vec{r}, t) \Big|_{\vec{r} \in L} = 0 \quad (4)$$

$$\vec{u}(\vec{r}, t) \Big|_{|\vec{r}| \rightarrow \infty} = \vec{u}_\infty \quad (5)$$

На сьогодні загального аналітичного розв'язку рівняння Нав'є-Стокса не було отримано. Такий розв'язок отримано лише для окремих випадків, обумовлених низкою припущень або простою геометрією. Тому в більшості випадків застосовують чисельні методи.

Моделі гетерогенних течій. На міжфазних поверхнях необхідно забезпечувати виконання певних граничних умов, що відображають ефекти взаємодії фаз. Ці умови коротко називатимемо умовами спільності. Сукупність систем рівнянь збереження для кожної з фаз і умов спільності становить математичний опис механіки гетерофазних систем. Для розв'язку прикладних задач механіки багатofазних систем вводять різні спрощення - моделі.

Модель роздільної течії є нечастим випадком, при якому реальна картина газорідної течії відтворюється в моделі досить точно. Взаємодія газового (парового)

потоків із плівкою рідини, кільцеві двофазні потоки, в яких переважна частина рідини тече у вигляді тонкої плівки по стінці, а в ядрі потоку рухається газ, розшаровані течії в горизонтальних каналах - це ті задачі, для яких модель роздільної течії цілком доречна. В рамках цієї моделі рівняння збереження записуються окремо для газової і рідкої фаз, при цьому форма границі розділу передбачається відомою (плоскою або циліндричною). Реальна картина в цих видах течій, як правило, набагато складніша за ту, що приймається в моделі (в ній зазвичай не враховують наявність рідких крапель в потоці газу, хвилі на міжфазній поверхні).

Широке застосування обчислювальної техніки в проектних розрахунках зробило надзвичайно популярною **модель багатошвидкісного континууму**. Відповідно до цієї моделі кожна фаза заповнює собою один і той же об'єм, зайнятий багатофазною сумішшю. Для кожної фази визначається густина, віднесена до повного об'єму суміші, швидкість та інші параметри. Таким чином, в кожній точці об'єму, зайнятого сумішшю, що складається з N фаз, визначають N густини, N швидкостей і т.д. При такому підході основні труднощі розрахунку переносяться на моделювання міжфазного обміну масою, імпульсом і енергією. Для такого моделювання потрібно вводити гіпотези про форму і площу поверхні міжфазної границі та закономірності перенесення через цю границю.

Методи моделювання багатофазних течій в Comsol Multiphysics. Розглядаються можливості розрахункового пакету міждисциплінарних досліджень COMSOL Multiphysics для моделювання гідродинамічних задач, зокрема багатофазних течій. Пакет COMSOL Multiphysics включає в себе набір попередньо сконфігурованих для користувача інтерфейсів, модулів і інструментів моделювання, які значно полегшують процес створення математичної моделі і задання моделі розрахункової області (2D або 3D).

Програмне забезпечення COMSOL Multiphysics дозволяє моделювати багатофазні системи для розв'язку широкого спектра задач. Залежно від характерних розмірів фаз багатофазної течії використовують різні моделі і підходи, які можна умовно розділити на два класи:

- Методи відстеження міжфазної поверхні;
- Дисперсні методи.

У методах відстеження міжфазної поверхні (surface tracking methods) можна детально змоделювати форму фазової границі, наприклад, форму границі розділу фаз типу газ-рідина між газовою бульбашкою і рідиною. Побудовані в рамках цього методу моделі, **називають моделями розподіленої багатофазної течії**. Такі моделі призначені для моделювання течії двох або більше не змішуваних рідин, розділених явно вираженою поверхнею. Методи відстеження міжфазної поверхні краще підходять для розв'язку задач мікрогідродинаміки, коли потрібно відстежувати малу кількість крапель або бульбашок.

У разі якщо фази течії мають різний фізичний масштаб і складно відстежити фазову границю, використовують **моделі дисперсної багатофазної течії**. В цьому випадку присутність різних фаз описується за допомогою характеристик, таких як об'ємні частки, в той час як міжфазні ефекти, такі як поверхневий натяг, плавучість і перенесення через границю фаз, розглядаються як джерела і стоки в рівняннях моделі дисперсної багатофазної течії.

На рис. 1 показано принципову відмінність між описаними двома підходами для моделей розподіленої та дисперсної багатофазної течії.

Інформаційні технології

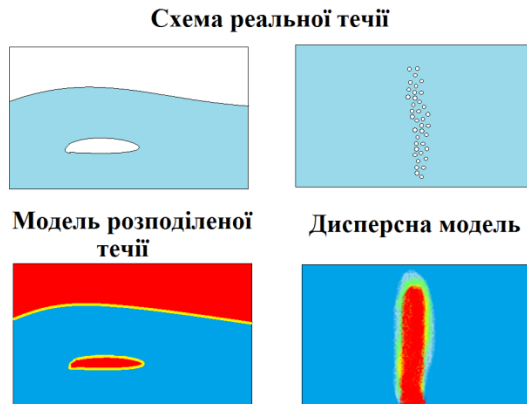


Рисунок 1 – Два підходу до моделювання багатофазних течій: схеми моделей розподіленої багатофазної течії та дисперсних течій

В обох наведених випадках на рис. 1 для опису присутності газової і рідкої фаз використовується функція ϕ . Функція фазового поля ϕ не має фізичного сенсу, крім відстежування місцеположення фазових границь. Причому в моделі розділеного багатофазної течії різні фази суворо відокремлені один від одного, і між ними існує різка фазова границя, на якій функція фазового поля ϕ різко змінюється від значення $\phi = 0$ для одної фази та $\phi = 1$ для іншої [7].

У моделі дисперсної багатофазної течії функція ϕ описує локальну об'ємну концентрацію дисперсної фази в неперервній фазі (наприклад, газу в рідині). Об'ємна концентрація дисперсної фази може змінюватися в межах $0 \leq \phi \leq 1$ і визначається за формулою [2]:

$$\phi = \frac{V_{\text{д.ф.}}}{V}, \tag{6}$$

де $V_{\text{д.ф.}}$ – локальний об'єм дисперсної фази;

V – загальний локальний об'єм рідини.

Моделі розподілених і дисперсних течій реалізовані в різних інтерфейсах багатофазних течій (Multiphase Flow) пакета Comsol (рис. 2).

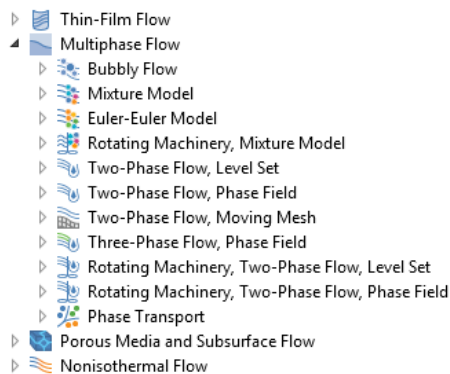


Рисунок 2 – Дерево модуля Multiphase Flow, що містить інтерфейси для моделювання багатофазних течій

Моделі розділених багатофазних течій. Для створення моделей розподілених багатофазних течій в COMSOL Multiphysics існує три основні методи:

- Метод функції рівня (Level set)
- Метод фазового поля (Phase field)
- Метод рухомий сітки (Moving mesh)

На основі цих методів користувачу доступні шість фізичних інтерфейсів для моделювання двофазних та трифазних течій, а також рухомих обертальних частин техніки. Порівняння цих інтерфейсів дозволило сформуванати таблицю 1.

Таблиця 1 – Порівняння методів відстеження міжфазної поверхні

	Метод функції рівня	Метод фазового поля	Метод рухомий сітки
Галузь застосування	Широка	Широка	Не підтримує топологічних трансформацій
Точність положення міжфазної границі	добра	краще	найкраща
Рівняння, що розв'язуються	1. рівняння Нав'є-Стокса 2. рівняння нерозривності 3. рівняння переносу	1. рівняння Нав'є-Стокса 2. рівняння нерозривності 3. Два рівняння переносу	1. рівняння Нав'є-Стокса 2. рівняння нерозривності 3. метод переміщення сітки
Моделі турбулентності:	RANS, k-ε	RANS, k-ε	немає

Перевагою методу рухомої сітки є можливість більш точно змодельовати міжфазну границю та прикладати сили безпосередньо до фазової границі. Для методів функції фазового поля для того, щоб більш точно змодельовати міжфазну границю потрібна детальна сітка по всій області розв'язку. Це знижує їх продуктивність по відношенню до методу рухомої сітки з тією ж точністю.

Загалом, вказівки до застосування моделей розподіленої багатофазної течії можна узагальнити наступним чином:

- Для систем, де змін топології не очікується, зазвичай краще застосовувати метод рухомої сітки;
- У випадках, коли очікуються зміни топології, слід використовувати методи функції рівня або фазового поля;
- Якщо вплив поверхневого натягу великий, краще застосовувати метод фазового поля;
- Якщо поверхневим натягом можна знехтувати, краще використовувати метод функції рівня.

Моделі дисперсних багатофазних течій. У випадках, коли границі розділу фаз неможливо чітко визначити через їх складності, зокрема при моделюванні великої кількості бульбашок, крапель або твердих частинок, необхідно використовувати моделі дисперсних багатофазних течій. У цих моделях розраховується не точне положення границі розділу фаз, а об'ємна частка кожної фази, що дозволяє обійтися меншими обчислювальними ресурсами. Використовуючи моделі дисперсних течій можна моделювати, наприклад, циркуляцію киплячого шару - технологію, яку дуже часто використовують в харчовій, фармацевтичній промисловості і в хімічній обробці. На рис. 3 зображено приклад дисперсної моделі, в якій дисперсна фаза - тверді частинки, що переносяться вгору по каналу потоком повітря.

До моделей дисперсних середовищ, реалізованих в Comsol відносяться:

- Модель бульбашкової течії (для малих об'ємних часток легкої фази в більш щільній фазі);
- Модель суміші (для невеликої об'ємної частки дисперсної фази або декількох дисперсних фаз в неперервній фазі, яка має приблизно таку ж густину, як і дисперсна фаза або фази);
- Модель Ейлера - Ейлера (для будь-якого типу багатофазного потоку);

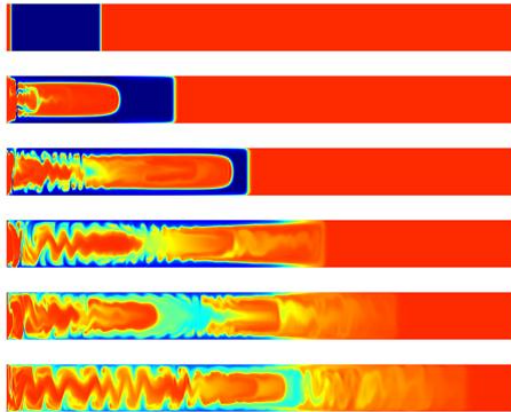


Рисунок 3 – Дисперсна модель перенесення частинок твердої фази течією повітря

Використання кожної із дисперсних моделей в Comsol залежить від постановки задачі та вимог до комп'ютерної моделі. На основі аналізу можливостей сконфігурованих в Comsol інтерфейсів створено порівняльну таблицю 2, що може бути застосована для вибору відповідної поставленій задачі моделі.

Таблиця 2 – Порівняння можливостей дисперсних моделей в Comsol

	Модель Ейлера	Модель Ейлера-Ейлера	Модель бульбашкової течії	Модель змішання
Можливі суцільні середовища	<ul style="list-style-type: none"> • рідина • газ 		<ul style="list-style-type: none"> • рідина 	<ul style="list-style-type: none"> • рідина
Можливі дисперсні фази	<ul style="list-style-type: none"> • тверді частинки • бульбашки • краплі 		<ul style="list-style-type: none"> • бульбашки 	<ul style="list-style-type: none"> • тверді частинки • бульбашки • краплі

Інформаційні технології

Припущення	<ul style="list-style-type: none"> • Розмір дисперсних частинок, бульбашок або крапель набагато менше розміру осередків розрахункової сітки • Густина кожної фази постійна 	<ul style="list-style-type: none"> • Розмір дисперсних бульбашок набагато менше розміру комірок розрахункової сітки • Густина газу дуже мала в порівнянні з густиною рідини • Об'ємна частка газу не перевищує 10 % 	<ul style="list-style-type: none"> • Розмір дисперсних частинок або крапель набагато менше розміру комірок розрахункової сітки • Густина кожної фази постійна • Краплі або частки дисперсної фази рухаються з рівноважної швидкістю
Рівняння для ламінарної течії	<ul style="list-style-type: none"> • рівняння Нав'є-Стокса для кожної з фаз • рівняння нерозривності • рівняння переносу маси 	<ul style="list-style-type: none"> • рівняння Нав'є-Стокса для рідини • рівняння нерозривності для газорідинної суміші • рівняння переносу 	<ul style="list-style-type: none"> • рівняння Нав'є-Стокса для газорідинної суміші • рівняння нерозривності для газорідинної суміші • рівняння переносу

Методи дисперсних багатофазних течій дозволяють вивчати системи з мільйонами і мільярдами бульбашок, крапель або частинок. Але навіть найпростіші дисперсні моделі можуть генерувати дуже складні й вимогливі модельні рівняння. Розвиток цих моделей в варіаціях, які добре адаптовані для опису конкретних сумішей, дозволило інженерам і вченим вивчити багатофазну течію з відносно хорошою точністю і з розумними обчислювальними витратами.

Моделювання перемішування рідини при інжектуванні газу знизу. Барботування – це метод перемішування рідин і суспензій шляхом пропускання через них газу або пари. Газ проходить через шар рідини за допомогою труб з дрібними отворами (3-6 мм). При барботуванні створюється велика міжфазна поверхня на границі рідина - газ, що сприяє інтенсифікації тепло- і масообмінних процесів, а також більш повної хімічної взаємодії газів з рідинами. Застосування цього методу особливо доцільно в тих випадках, коли газ або окремі його компоненти (наприклад, кисень повітря) повинні вступати в хімічну реакцію з рідиною.

Задача полягає в дослідженні процесу перемішування речовини в баку при інжектуванні газу знизу ємності. В якості речовини рідкої фази була взята вода, а для газової фази – повітря. Таким чином, розглядається двофазна течія типу «рідина-газ». Оскільки газова фаза складається з великої кількості бульбашок, для моделювання такої гідродинамічної системи використовуємо дисперсну модель, що реалізована у фізичному інтерфейсі бульбашкової течії (*Bubble flow*) пакету Comsol Multiphysics.

При настроюванні інтерфейсу *Bubble flow* пакета Comsol була виконана послідовність наступних етапів:

1. Створена 2D геометрія розрахункової області, що представляє з себе полігон (рис. 3.2). Нижня границя складається з трьох ребер, середнє з яких має роль вузла інжектування газової фази.
2. Доданні матеріали – речовини, що приймають участь у моделюванні: вода та повітря.
3. Проведено налаштування фізики процесу. Рівняння, що описують фізичний процес, зображені на рис. 4. Це рівняння Нав'є-Стокса та нерозривності для рідкої фази та переносу для газової.

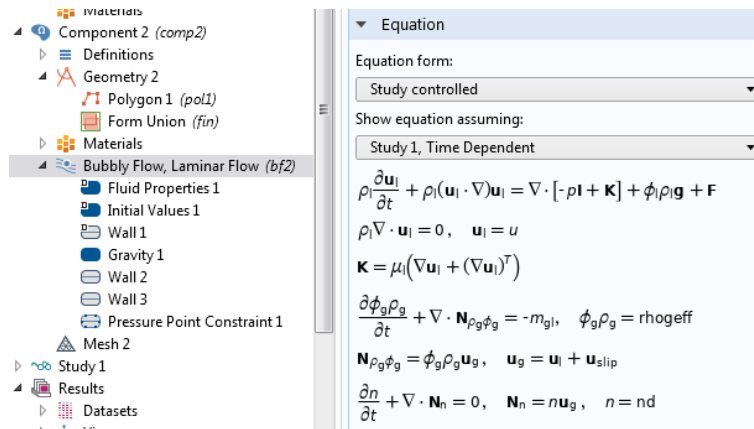


Рисунок 4 – Рівняння інтерфейсу бульбашкової течії

Задана фізика ламінарних течій, оскільки число Рейнольдса, що обчислюється за формулою (3.1), в розрахунках не перевищує 2000.

$$Re = \frac{U_g \cdot L \cdot \rho_g}{\mu_g}, \tag{7}$$

- де U_g – швидкість руху газової фази,
 L – гідравлічний діаметр,
 ρ_g – густина газової фази,
 μ_g – коефіцієнт динамічної в'язкості.

Налаштування фізики складається з наступних кроків:

- 3.1 Властивості речовин у блоці *Fluid Properties*, а саме густина та динамічна в'язкість рідкої та газової фаз встановлені із доданих матеріалів.
- 3.2 Початкові умови задано за замовчуванням: нульова швидкість по всій області та нульова концентрація газової фази.
- 3.3 Задано граничні умови.
 - 3.3.1 На нижній середній границі полігона задана умова потоку для газової фази та умова непротікання для рідкої (рис. 5).

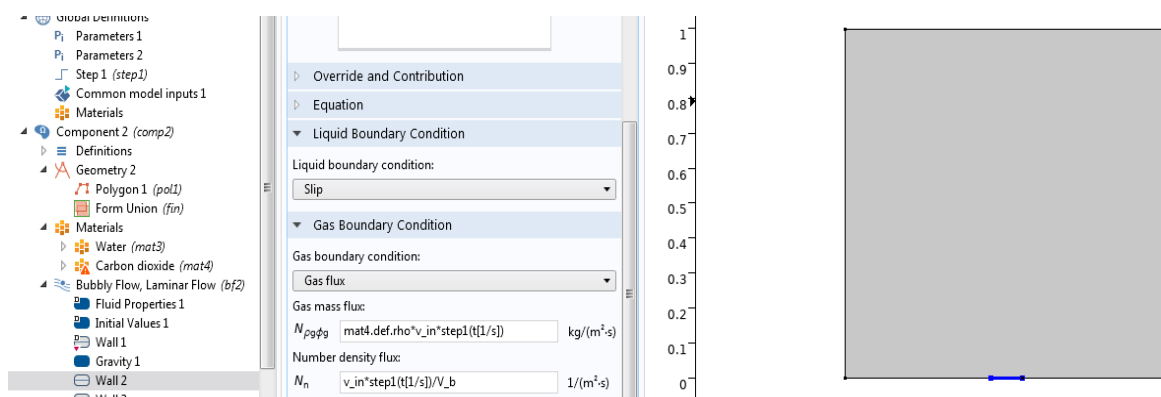


Рисунок 5 – Завдання умови потоку газової фази

Масовий потік газу заданий як добуток густини газу та швидкості інжектування. Густина потоку частинок визначається як відношення швидкості до об'єму бульбашки. Для забезпечення відповідності між початковими та граничними умовами введено функцію *step*, що плавно змінює задані значення від нуля в початковий момент часу до максимального значення.

3.3.2 При моделюванні перемішування ми не розглядаємо деформацію вільної поверхні (поверхні води). При цьому вода може рухатися по дотичній до вільної поверхні, але її нормальна компонента прирівнюється до нуля. Це реалізовано заданням умови проковзування (*Slip*) для рідкої фази. Для газової фази задана умова витoku (рис. 3.6).

3.3.3 Для решти границь задано умову непротікання для рідкої фази (*no-slip*), що забезпечує нульову швидкість рідкої фази на границях $u = 0$ та відсутності потоку для газової фази.

3.4 Додано гравітаційні сили та умову постійного тиску для правої верхньої точки області.

4. Побудова розрахункової сітки. Побудова розрахункової сітки є важливим етапом при чисельному розв'язку диференціальних рівнянь. При використанні пакету COMSOL процес побудови сітки максимально автоматизований, що дозволяє істотно пришвидшити процес розв'язку та не потребує у користувача програми додаткових навиків. Для розв'язку поставленої задачі виявилось достатнім використання інструментів автоматичної побудови сітки (*physics-controlled mesh*), що за замовчуванням параметрів триангулює розрахункову область. При цьому необхідно лише коректувати розмір елементів сітки.

Моделювання поставленої задачі - багатофазної течії типу «рідина-газ». В квадратний бак, що заповнений водою зі швидкістю $u_m = 0,001$ м/с інжектується повітря через вузол посередині нижньої границі. Для оцінки часу встановлення стаціонарного стану гідродинамічної системи, проведені розрахунки на сітці «Finer» для інтервалу часу $t = 0,100$ с. Результати моделювання для останнього моменту часу продемонстровані на рис. 6.

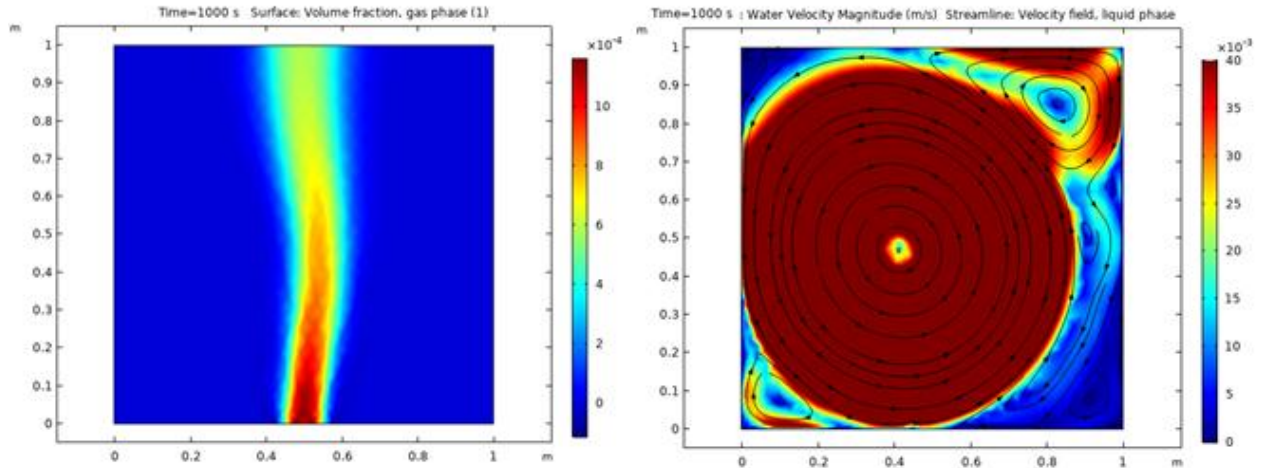


Рисунок 6 – Багатофазна течія в момент часу $t = 1000$ с. Зліва направо: діаграма об’ємної концентрації газової фази та діаграма модуля швидкості рідкої фази із лініями течії

ВИСНОВКИ

Пакет COMSOL Multiphysics включає в себе набір попередньо сконфігурованих для користувача фізичних інтерфейсів, які значно полегшують процес моделювання фізичних процесів. Для моделювання багатофазних течій використовують різні моделі, які можна умовно розділити на два класи: методи відстеження міжфазної поверхні, дисперсні методи.

У методах відстеження міжфазної поверхні (surface tracking methods) можна детально змоделювати форму фазової границі, наприклад, форму границі розділу фаз типу газ-рідина між газовою бульбашкою і рідиною. Ці методи краще підходять для розв’язку задач мікрогідродинаміки, коли потрібно відстежувати малу кількість крапель або бульбашок. У разі якщо фази течії мають різний фізичний масштаб і складно відстежити фазову границю, використовують моделі дисперсної багатофазної течії.

Для моделювання процесу перемішування речовини в баку при інжектуюванні газу знизу ємності (барботування) була використана дисперсна модель, що реалізована у фізичному інтерфейсі бульбашкової течії (*Bubble flow*) пакету Comsol Multiphysics. Розглядаючи динаміку такої течії зроблені наступні висновки:

4. Бульбашки повітря, що відображені об’ємною концентрацією газової фази, поступають знизу області із встановленою швидкістю, піднімаються вгору передаючи імпульс воді та покидають ємність через верхню границю. Течія газової фази приводить в рух рідину, що не витікає із ємності, а циркулює в ній.

5. Розмір циркуляційної зони збільшується з часом. При $t > 250$ структура течії не змінюється, формується велика циркуляційна зона із невеликими вторинними вихорами Маффата в кутах.

6. В області правого кута швидкість циркуляції близька до нуля, що може призвести до застою рідини.

Таким чином, використання професійно орієнтованих програмних комплексів дає принциповий вииграш в швидкості отримання кінцевого результату, в порівнянні з традиційними способами моделювання, що дозволяє зосередитися на фізичній сутності досліджуваної задачі.

Список використаних джерел:

7. Михеева, Е. В. Поверхностные явления и дисперсные системы. Коллоидная химия : сборник примеров и задач / Е. В. Михеева, Н. П. Пикула, С. Н. Карбаинова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 116 с.
8. Соу, С. Л. Гидродинамика многофазных систем / С. Л. Соу. – М. : Мир, 1971. – 536 с.
9. Нигматулин, Р. И. Основы механики гетерогенных сред / Р. И. Нигматулин. – М. : Наука, 1978. – 336 с.
10. Белоцерковский, О. М. Численное моделирование в механике сплошных сред / О. М. Белоцерковский. – М. : Физматлит, 1994. – 448 с.
11. Голубев, С. О. Засоби комп'ютерного моделювання в галузі обчислювальної гідродинаміки / С. О. Голубев, О. Г. Лебиль, Д. І. Черній // Математичне моделювання в економіці. – 2019. – № 2 (15). – С. 21–38.
12. Хмельник, С. И. Уравнения Навье-Стокса. Существование и метод поиска глобального решения / С. И. Хмельник. – Израиль : МиС, 2010. – 106 с.
13. Han, J. Liquid phase mass transfer coefficient of carbon dioxide absorption by water droplet / J. Han, D. A. Eimer, M. C. Melaaen // Energy Procedia. – 2013. – Vol. 37. – P. 1728–1735.

Остапенко А. А., Липунов Д. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ СРЕДСТВАМИ СОВРЕМЕННЫХ ПАКЕТОВ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ

В работе рассмотрена физика многофазных течений, математические модели гомогенных и гетерогенных течений. Проанализировано состояние современной вычислительной гидродинамики и возможности современных инженерных пакетов прикладных программ для проведения компьютерного моделирования. Выделено два класса подхода, которые могут быть использованы для моделирования многофазных течений: модели распределенных течений и дисперсные модели. Рассмотрены возможности сконфигурированных физических интерфейсов пакета Comsol Multiphysics, реализующих методы моделирования многофазных течений: системы уравнений, которые в них заложены, их возможности и ограничения, области применения, точность определения положения межфазной границы, возможность моделирования турбулентности. Сформулированы директивы выбора модели многофазного течения в зависимости от поставленной задачи. Поставлена задача и построена дисперсная модель для исследования перемешивания жидкости в замкнутой емкости при инжектировании газовой фазы снизу, используя Bubble Flow интерфейс пакета Comsol. Описаны этапы настройки физического интерфейса, постановку начальных и граничных условий, построение расчетной сетки. Исследован физический процесс на основе полученных результатов: диаграмм объемной концентрации газовой фазы и диаграмм модуля скорости жидкой фазы с линиями тока. Сделан вывод об образовании циркуляционного течения с большой областью циркуляции внутри и вихрями обратной циркуляции Маффата в углах. Определен характер течения, время перехода течения к стационарному состоянию, возможные зоны застоя жидкости.

Ключевые слова: *динамика жидкости, уравнения Навье-Стокса, вычислительная гидродинамика, многофазное течение, компьютерная модель, модель распределенного многофазного течения, дисперсная модель, функция фазового поля, уравнение переноса, барботирование, циркуляционное течение, вихри Маффата, зоны застоя.*

Ostapenko A. A., Lipunov D. A.

SIMULATION OF MULTIPHASE FLOWS USING MODERN ENGINEERING PACKAGES

The physics of multiphase flows, mathematical models of homogeneous and heterogeneous flows are considered in this work. The state of modern computational fluid dynamics and possibilities of modern engineering packages for computer modeling are analyzed. There are two approaches that can be used to model multiphase flows: distributed flow models and dispersed models. The possibilities of configured physical interfaces of the Comsol Multiphysics package, which implement methods of modeling multiphase flows, are considered: systems of equations embedded in them, their possibilities and limitations, areas of application, accuracy of interphase boundary position determination, possibility of turbulence modeling. The directives of a model choice of a multiphase flow depending on the set task are formulated. The problem is set and a dispersed model is built to study the mixing of the liquid in a closed container when injecting the gas phase from below, using the Bubble Flow interface of the Comsol package. The stages of setting up the physical interface, setting the initial and boundary conditions, construction of the calculation grid are described. The physical process was studied on the basis of the obtained results: diagrams of the volume concentration of the gas phase and diagrams of the modulus of velocity of the liquid phase with flow lines. The conclusion is made about the formation of a circulating flow with a large area of circulation inside and vortices of Maffat reverse circulation in the corners. The flow pattern, the time of flow transition to the steady state, possible zones of fluid stagnation are determined.

Keywords: *fluid dynamics, Navier-Stokes equation, computational fluid dynamics, multiphase flow, computer model, distributed multiphase flow model, dispersed model, phase field function, transfer equation, bubbling, circulating flow, Maffat vortices, stagnation zones.*

Рекомендована до публікації: д-р фіз.-мат. наук, проф. Холькін О. М.

Стаття надійшла 15.11.2020 р.

УДК 625.143.2:004

Щербаков С. В., Ісаєва Ю. С.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ НАГРІВАННЯМ РЕЙОК В РЕЙКОГАРТІВНІЙ МАШИНІ

До числа основних завдань будь-якого металургійного виробництва слід віднести зниження собівартості і підвищення якості продукції, що випускається. Найважливішим напрямком виробництва рейок є збільшення їх якості та довговічності, що пов'язано з

тенденцією підвищення вантажонапруженості на залізничному транспорті та зростаючою конкуренцією на світовому ринку. У зв'язку з цим дослідження, спрямовані на підвищення якості рейок, а також скорочення витрат на їх виробництво є важливими і актуальними.

На сьогоднішній день в світі виробляється понад 6 млн. тонн залізничних рейок. В Україні основним виробником рейок є комбінат ПрАТ «МК «Азовсталь», який щорічно випускає до 245 тис. тонн рейок. Рейки виробляються чотирьох категорій: вища, I, II, і III, з яких три перших поставляються в термічно зміцненому стані з нагріванням струмами високої частоти (СВЧ).

Існуюча система АСУТП рейкогартівних машин ПрАТ «МК «Азовсталь» має ряд істотних недоліків. Серед них: відсутність автоматизованого управління індукційним нагрівом рейок, відсутність автоматизованого управління процесом стикування і розстикування рейок, ручне введення завдання в систему управління витратою води на зону первинного охолодження, моральне і фізичне старіння апаратної частини АСУТП. Усунення цих недоліків має стати пріоритетним найближчим часом для підвищення ефективності виробництва та конкурентоспроможності продукції, що виробляється, на світовому ринку.

У даній статті розглядається проблема відсутності локальної системи автоматичного регулювання (ЛСАР) нагрівання рейок. В роботі побудована математична модель нагріву рейок, на основі якої можна створити ефективну САУ на базі сучасних контролерів. У даній моделі були розраховані оптимальні настройки регулятора управління нагрівом, побудовані перехідні процеси. Використання даної моделі при наступній модернізації виробництва дозволить підвищити якість продукції шляхом усунення можливої людської помилки і дозволить стабілізувати температуру рейки в зоні нагріву з необхідною точністю.

Ключові слова: рейкогартівна машина, РГМ, Matlab, регулятор, нагрів рейок, нагрів за допомогою СВЧ, САУ нагріву.

Постановка проблеми. Існуюча система управління електричним обладнанням комплексу термічного загартування має ряд істотних недоліків, головним з яких є моральне і фізичне старіння елементної бази, в зв'язку з цим неможливо реалізувати більш ефективні методи управління процесом загартування. Крім цього, в існуючій системі регулювання потужності, що підводиться до індукторів, здійснюється в ручному режимі, помилка технолога може привести до порушення технологічного процесу загартування і стати причиною виникнення браку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Через унікальність процесу загартування рейок струмами високої частоти на рейкогартівних машинах, подібних встановленої у рейкобалковому цеху ПрАТ «МК «Азовсталь», не тільки в Україні, а й на всьому пострадянському просторі, наукових досліджень в даній області існує обмежена кількість.

В роботі [1] автор розглядає основні напрямки розробок щодо вдосконалення технології виробництва рейок і пропонує проект модернізації рейкового виробництва на ПрАТ «МК «Азовсталь». На жаль, дана робота не зачіпає сферу автоматизації, а більша частина уваги приділена технології виробництва.

Роботи [2, 3] Слухоцького А. Є. пояснюють принципи роботи індукторів, що використано для розробки математичної моделі, представленої нижче.

В роботі [4] описується нагрівання металу струмами високої частоти, що аналогічно способу нагріву рейок на рейкогартівній машині ПрАТ «МК «Азовсталь».

Метою даної роботи є пошук рішень по оптимізації процесу нагріву рейок і оптимальних налаштувань ПД-регулятора, що керує індукційним нагріванням струмами високої частоти.

Виклад основного матеріалу. Аналізуючи експериментальні перехідні характеристики (рис. 1) процесу нагріву можна визначити вид і характер передавальної функції, тобто отримати математичну модель нагріву.

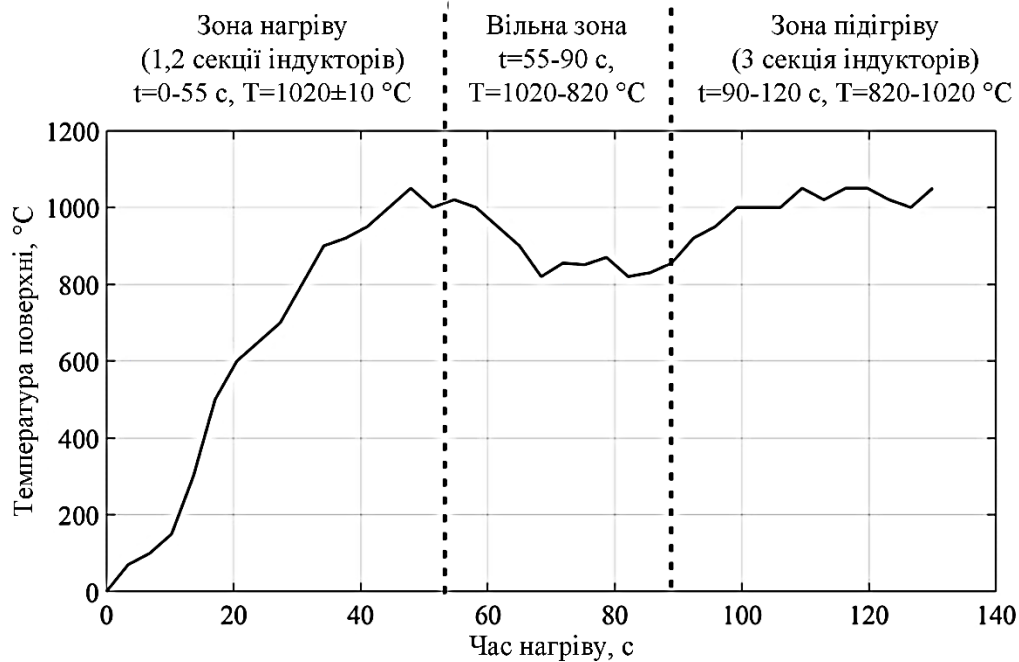


Рисунок 1 – Перехідний процес нагріву рейок

Технологічний процес нагріву головки рейки можна розділити на 3 зони.

Зона нагріву. При цьому температура поверхні рейки підвищується до 1020 ± 10 °C. Подається максимальна потужність при проходженні рейки через першу групу індукторів протягом 55 с.

Зона, вільна від нагрівання. У ній головка рейки піддається короткочасному (25-30 с) охолодженню на повітрі, в результаті чого її температура знижується до 820 ± 10 °C.

Зона підігріву. Нагрівання поверхні рейки в цій зоні відбувається з 820 °C до 1020 ± 10 °C, у другій групі індукторів, потужність індукторів знижена в порівнянні з першою групою, температура поверхні головки в цій зоні підтримується постійною.

Для забезпечення стійкої роботи системи автоматичного управління з задовільними показниками якості потрібно розрахувати оптимальні значення параметрів регулюючого пристрою. Для цього, в першу чергу, необхідно визначити статичні і динамічні характеристики об'єкта управління.

У загальному вигляді об'єкт управління розглядається як ланка, що має вихідну координату $y(t)$, яка є керованою змінною, і вхідну змінну $x(t)$, яка є керуючим впливом.

Математичною моделлю об'єкта є вираз, що визначає залежність між вихідною і вхідною змінними:

$$y(t) = F[x(t)]; \quad (1)$$

інакше модель об'єкта може бути представлена його передавальною функцією:

$$W_0(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}; \quad (2)$$

де p - оператор Лапласа;

$X(p)$ - зображення вхідної змінної в операторній формі;

$Y(p)$ - зображення вихідної координати в операторній формі.

На практиці об'єкт управління апроксимується ланкою з передавальною функцією не вище 2-го порядку з запізненням.

Типові рівняння, що описують об'єкт управління з самовирівнюванням, можуть бути представлені у вигляді диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами.

Найбільш простим і ефективним способом ідентифікації об'єкта управління є використання пакета математичного моделювання Matlab.

Вихідними даними є графік температури поверхні рейки, зображений на рис. 2. Дані отримані в результаті вимірів на діючій гартівній машині РГМ-4 струмку № 12 РБЦ ПрАТ «МК «Азовсталь».

Сумарна потужність, що підводиться до трьох секцій РЗС $\approx 1103,7$ кВт (73,6 % від максимальної потужності), Р1С $\approx 364,5$ кВт (72,9 %), Р2С $\approx 354,5$ кВт (70,9 %), Р3С ≈ 368 кВт (77 %). Швидкість рейки $V = 42,5$ мм/с. Представимо ці дані у вигляді графіків (рис. 2).

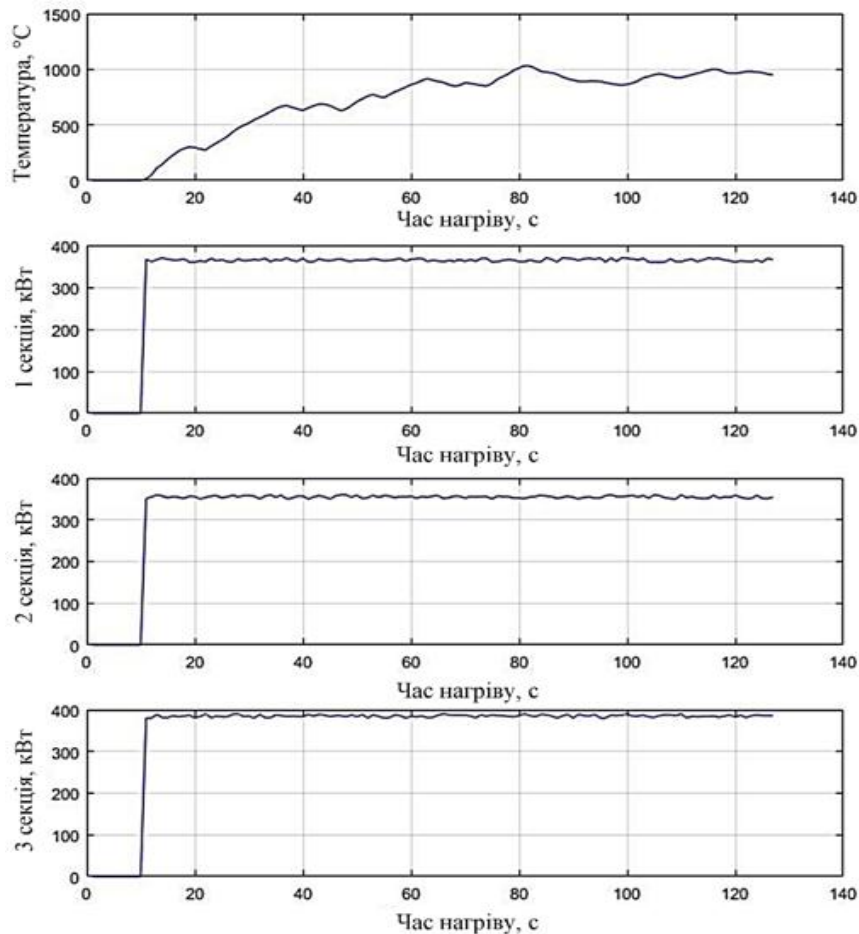


Рисунок 2 – Потужність індукторів і температура поверхні (12 струмок РГМ-4)

Побудуємо графіки сумарної потужності і температури в процентах, верхня межа вимірювання температури – 1200 °С, сумарна вихідна потужність індукторів - 1500 кВт (3 × 500) (рис. 3).

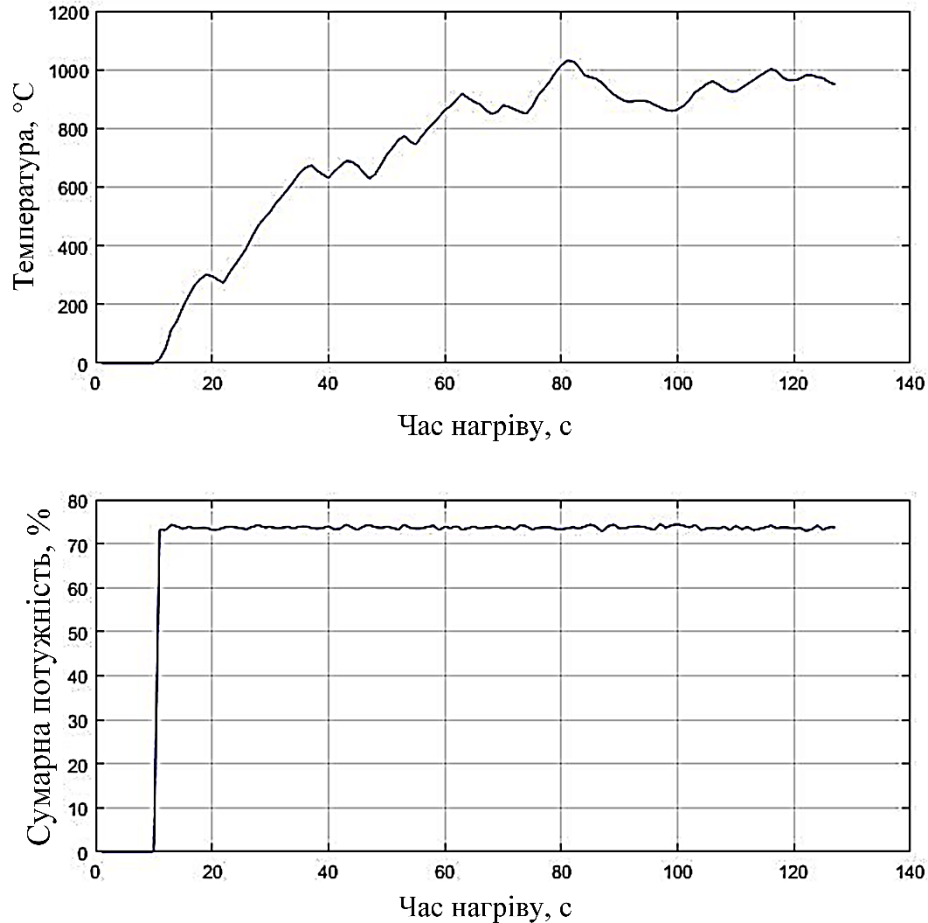


Рисунок 3 – Температура поверхні рейки і потужність, що підводиться до індукторів

Вхід об'єкта управління - сумарна активна потужність (%).

Вихідний об'єкт управління - температура поверхні рейки (%).

Математична модель об'єкта управління у вигляді передавальної функції (рис. 4). Тип вхідного сигналу - ступінчастий.

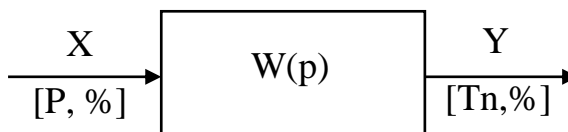


Рисунок 4 – Передавальна функція

Для ідентифікації об'єкта скористаємося пакетом Matlab IdentificationTool (рис. 5).

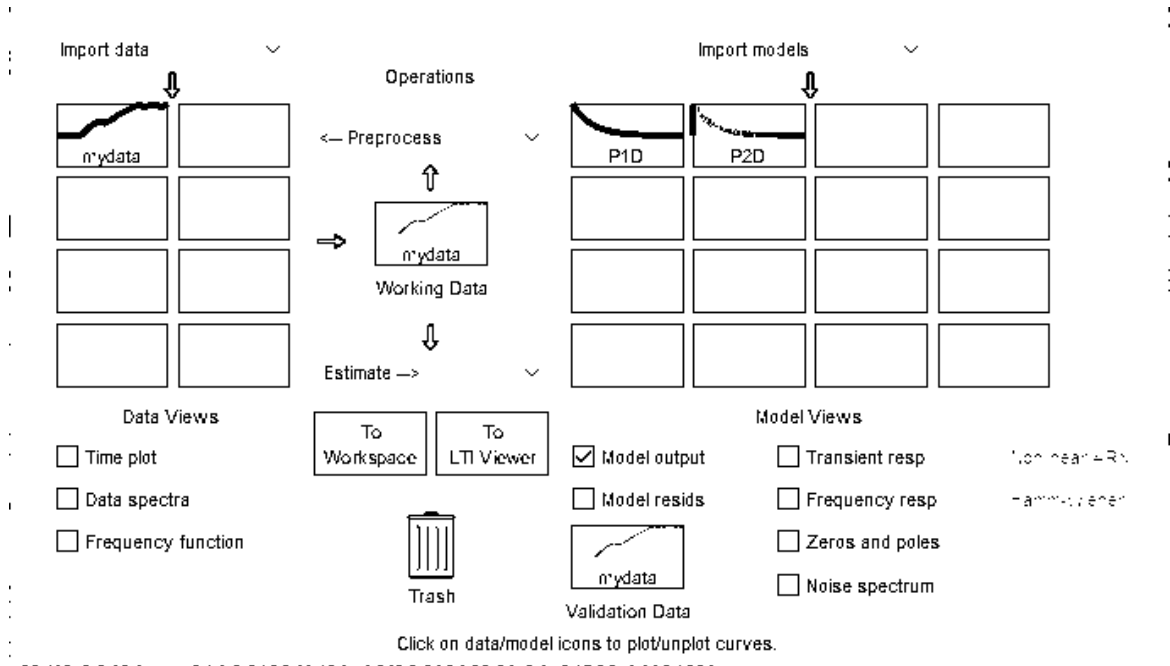


Рисунок 5 – Інтерфейс програми Matlab Identification Tool

По виду перехідного процесу можна зробити висновок, що крива на малюнку 3 належить статичному об'єкту. Модель об'єкта управління будемо шукати у вигляді аперіодичної ланки першого порядку без запізнювання.

В результаті ідентифікації отримані наступні результати (рис. 6).

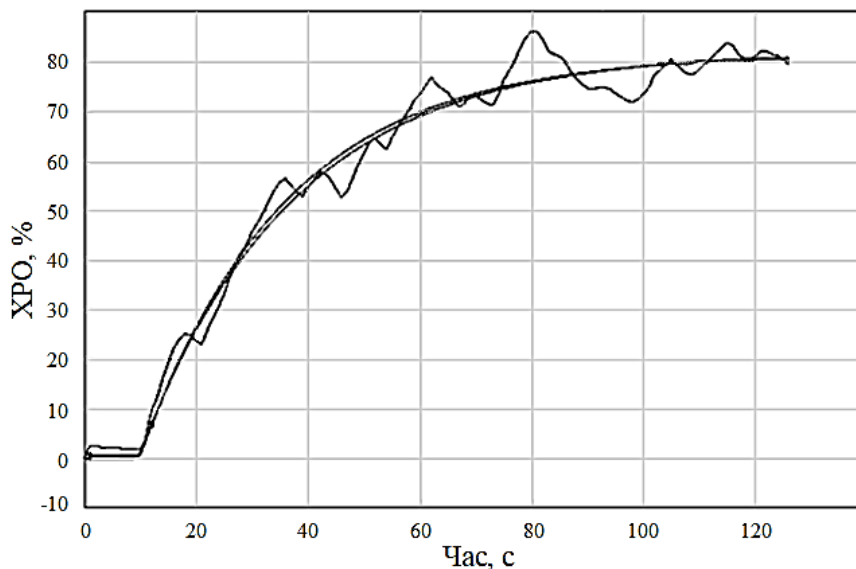


Рисунок 6 – Порівняльний аналіз передавальних функцій

Передавальна функція, аперіодична ланка 1 порядку:

$$W(p) = \frac{1,1025}{1 + 25,883 \cdot p}; \quad (3)$$

Відсоток відповідності 86,24 %, середньоквадратична помилка MSE = 12,94.

Передавальна функція, аперіодична ланка 2 порядку:

$$W(p) = \frac{1,1108 \cdot \exp(0,066 \cdot p)}{(1 + 27,494 \cdot p) \cdot (1 + 0,13625 \cdot p)}; \quad (4)$$

Відсоток відповідності 85,69 %, середньоквадратична помилка MSE = 13,99.

Представимо модель об'єкта управління у вигляді аперіодичної ланки першого порядку, так як дана модель має найменшу середньоквадратичну помилку.

Після визначення параметрів моделі об'єкта регулювання слід перейти до вибору типу регулятора.

Зміна температури в часі залежить від багатьох факторів: сили струму і його частоти, магнітних, електричних і теплофізичних властивостей металу, що нагрівається. Вплив зовнішніх збурень значний, тому температуру потрібно підтримувати з високою точністю. Не можна допускати динамічних коливань (перегріву рейки вище 1200 °С). В даному випадку набагато важливіша швидкість перехідного процесу. Тому для нашої задачі будемо використовувати ПІ-регулятор.

Пропорційно-інтегральний ПІ-регулятор має два параметри налаштування. Це один з найбільш поширених типів регуляторів в промислових системах автоматизованого управління. У програмі Matlab Simulink даний регулятор являє собою підсистему, тобто він утворений за допомогою більш простих блоків. Внутрішня структура регулятора показана на рисунку 7.

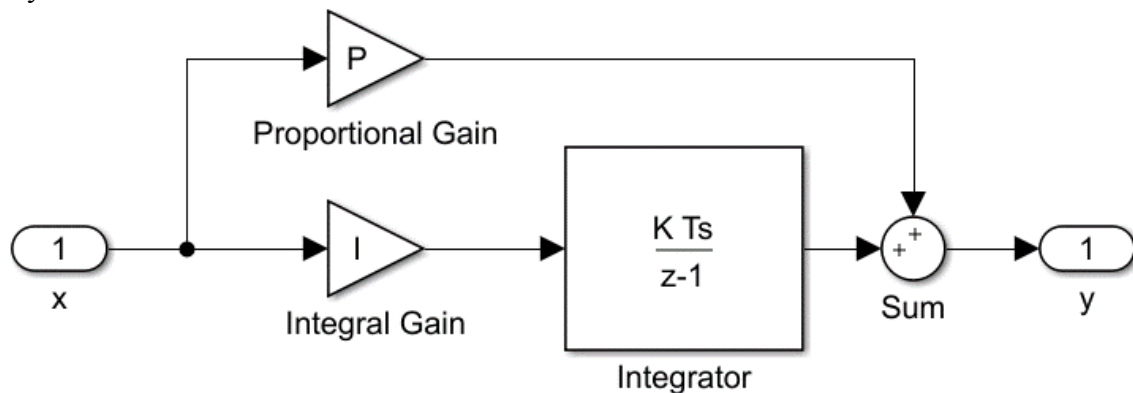


Рисунок 7 – Структура блоку ПІ-регулятора

Коефіцієнти - параметри налаштування цього типу регулятора (коефіцієнт посилення і час інтегрування).

Передавальна функція ПІ-регулятора включає суму пропорційної і інтегральної складової і має вигляд:

$$W(p) = k_p + \frac{1}{T_i \cdot p}; \tag{5}$$

де k_p - коефіцієнт посилення,
 T_i - час інтегрування,
 p – оператор Лапласа.

Використовуючи пакет Matlab Simulink, представимо спрощену модель управління потужністю індуктора за даними температури поверхні рейки, а також для наочності об'єднаємо кілька логічно-пов'язаних блоків в один блок (рис. 8).

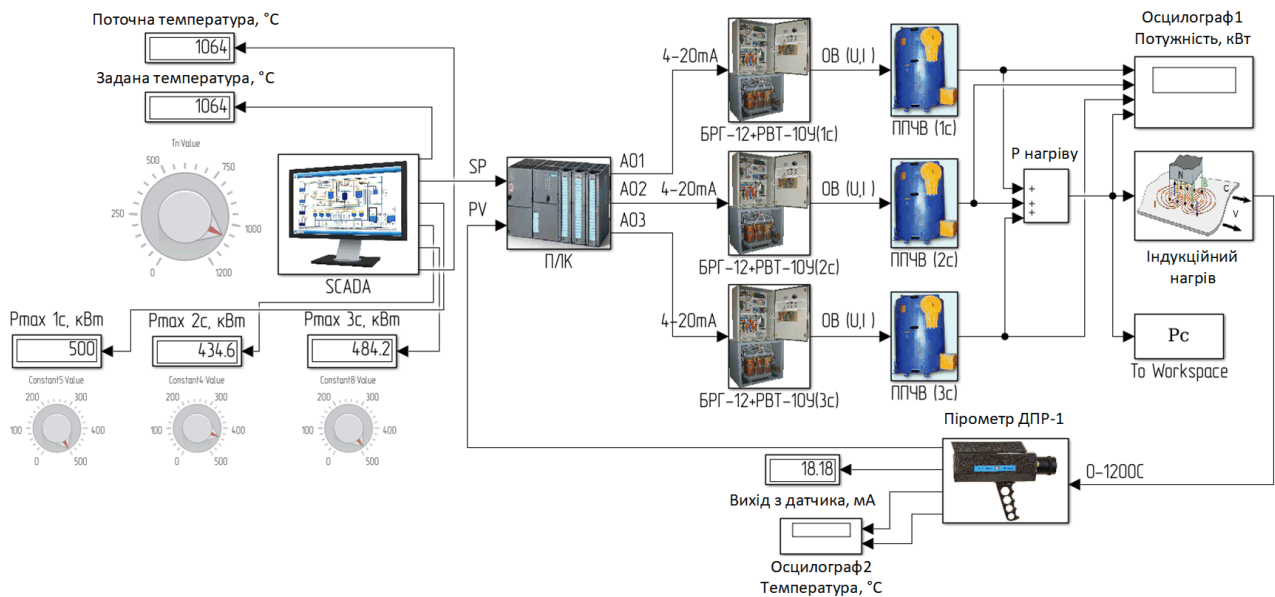


Рисунок 8 – САУ індукційного нагріву (згрупована)

Для автоматичної настройки ПІ-регулятора скористаємося функцією PID Tuner. В результаті отримана наступна передавальна функція регулятора:

$$W(p) = 9,2958 + \frac{1}{0,3591 \cdot p}; \tag{6}$$

Додатково скористуємося інструментом оптимізації налаштувань регулятора за заданою формою перехідного процесу.

Для вирішення завдання оптимізації додамо в модель блок Check Step Response Characteristics.

Отримаємо оптимальні настройки ПІ-регулятора:

$$W(p) = 12,386 + \frac{1}{1,0316 \cdot p}; \tag{7}$$

Остаточно приймаємо ці налаштування. На рисунку 9 показаний перехідний процес при оптимізованих налаштуваннях.

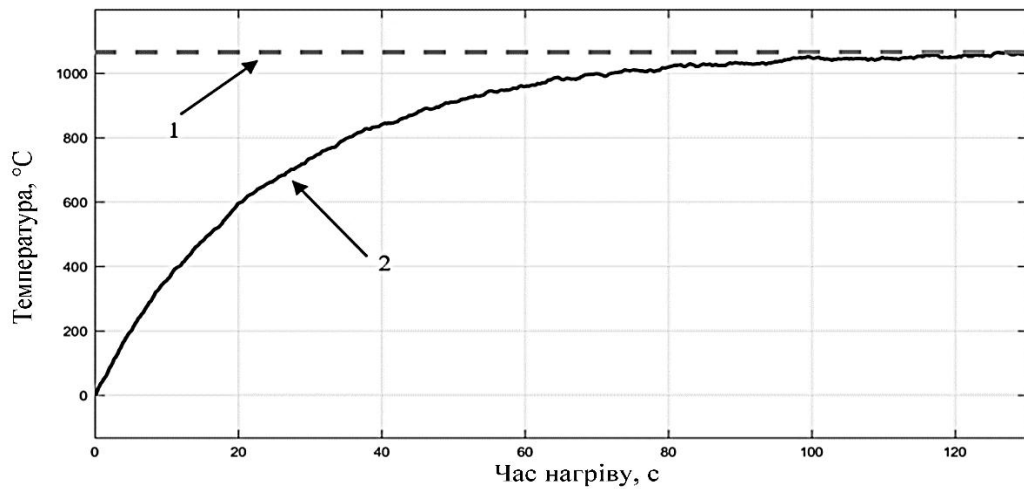


Рисунок 9 – Перехідний процес (графік температури)
1 - Завдання (SP), 2 - Поточна температура з пірометра ДПР-1

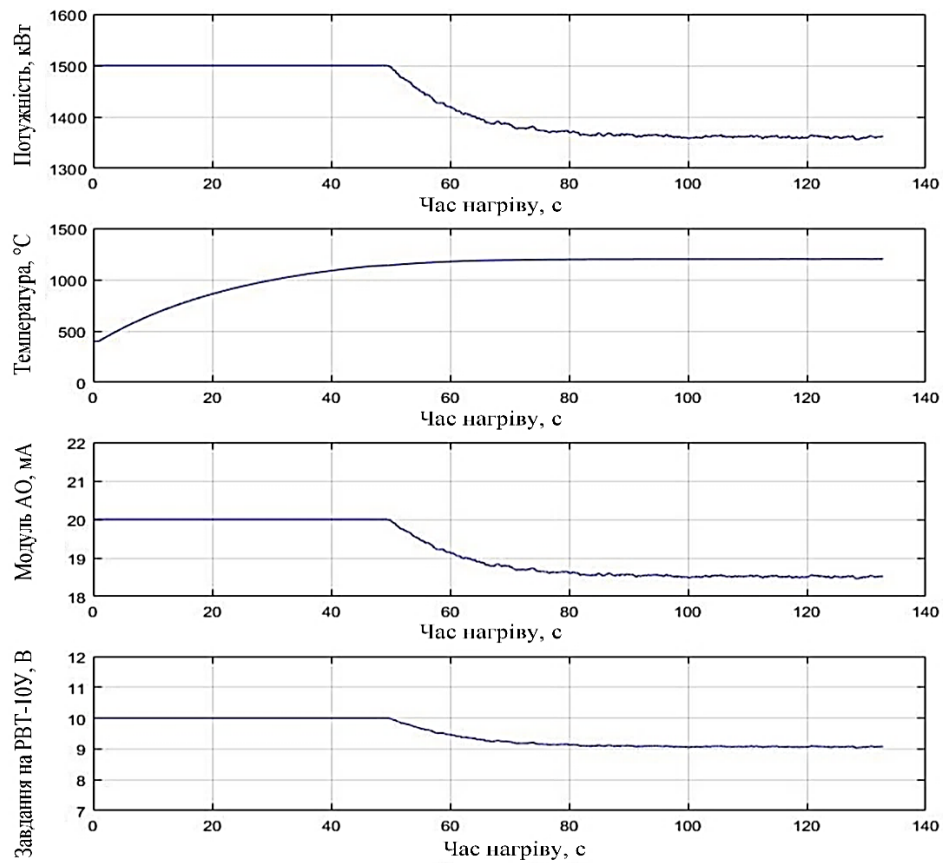


Рисунок 10 – Дані з осцилографа Simulink

Дані, отримані в результаті моделювання в середовищі Matlab Simulink, представлені на рисунку 10. Показано процес нагріву холодної рейки до заданої температури в автоматичному режимі роботи.

ВИСНОВКИ

В даній статті проведено аналіз експериментальних перехідних характеристик процесу нагріву головки рейки. За допомогою пакета математичного моделювання Matlab отримана модель об'єкта управління у вигляді передавальної функції - аперіодична ланка першого порядку.

В пакеті Matlab Simulink побудована спрощена модель системи автоматизованого управління індукційним нагрівом. За допомогою функції PID Tuner і блоку оптимізації Check Step Response Characteristics проведено аналіз системи і отримані оптимальні настройки регулятора потужності.

Перелік використаних джерел:

1. Скобло, Т. С. Производство поверхностно-закаленных рельсов с нагрева токами высокой частоты. Технологии производства и упрочнения. Оборудование. Теоретические основы процессов нагрева ТВЧ и охлаждения. Конструкционная прочность. Эксплуатационные испытания. Повреждаемость рельсов в пути. Неразрушающий контроль качества : монография / Т. С. Скобло, В. Е. Сапожков, А. И. Сидашенко. – Харьков : ПромАрт, 2018. – 561 с.
2. Слухоцкий, А. Е. Индукторы для индукционного нагрева / А. Е. Слухоцкий, С. Е. Рыскин. – Л. : Энергия, 1974. – 264 с.
3. Слухоцкий, А. Е. Индукторы / А. Е. Слухоцкий. – 5 изд. перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1989. – 69 с.
4. Николаев, Е. Н. Термическая обработка металлов токами высокой частоты : учебник для техн. училищ / Е. Н. Николаев, И. М. Короткин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1984. – 207 с.

Щербаков С. В., Исаева Ю. С.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ РЕЛЬСОВ В РЕЛЬСОЗАКАЛОЧНОЙ МАШИНЕ

К числу основных задач любого металлургического производства следует отнести снижение себестоимости и повышение качества выпускаемой продукции. Важнейшим направлением производства рельсов является увеличение их качества и долговечности, что связано с тенденцией повышения грузонапряженности на железнодорожном транспорте и растущей конкуренцией на мировом рынке. В связи с этим исследования, направленные на повышение качества рельсов, а также сокращение затрат на их производство являются важными и актуальными.

На сегодняшний день в мире производится свыше 6 млн тонн железнодорожных рельсов. В Украине основным производителем рельсов является комбинат ЧАО «МК

«Азовсталь», которий ежегодно выпускает до 245 тыс. тонн рельс. Рельсы производятся четырех категорий: высшая, I, II, и III, из которых три первых поставляются в термоупрочненном состоянии с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ).

Существующая система АСУТП рельсозакалочных машин ЧАО «МК «Азовсталь» имеет ряд существенных недостатков. Среди них: отсутствие автоматизированного управления индукционным нагревом рельс, отсутствие автоматизированного управления процессом стыковки и расстыковки рельс, ручной ввод задания в систему управления расходом воды на зону первичного охлаждения, моральное и физическое устаревание аппаратной части АСУТП. Устранение этих недостатков должно стать приоритетным в ближайшее время для повышения эффективности производства и конкурентоспособности производимой продукции на мировом рынке.

В данной статье рассматривается проблема отсутствия локальной системы автоматического регулирования (ЛСАР) нагрева рельс. В работе построена математическая модель нагрева рельс, на основе которой можно создать эффективную САУ на базе современных контроллеров. В данной модели были рассчитаны оптимальные настройки регулятора управления нагревом, построены переходные процессы. Использование данной модели при следующей модернизации производства позволит повысить качество продукции путем устранения возможной человеческой ошибки и позволит стабилизировать температуру рельсы в зоне нагрева с необходимой точностью.

Ключевые слова: *рельсозакалочная машина, РЗМ, Matlab, регулятор, нагрев рельс, нагрев с помощью ТВЧ, САУ нагрева.*

Shcherbakov S. V., Isaeva Y. S.

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE RAIL HEATING CONTROL PROCESS IN THE RAIL QUICKERING MACHINE

Among the main tasks of any metallurgical production should be attributed to reducing costs and improving the quality of products. The most important direction in the production of rails is to increase their quality and durability, which is associated with the tendency to increase the freight traffic in railway transport and the growing competition in the world market. In this regard, research aimed at improving the quality of rails, as well as reducing the cost of their production are important and relevant.

Today, over 6 million tons of railway rails are produced in the world. In Ukraine, the main manufacturer of rails is the PrJSC "IaSW "Azovstal", which annually produces up to 245 thousand tons of rails. The rails are produced in four categories: the highest, I, II, and III, of which the first three are supplied in a heat-strengthened state with heating by high-frequency currents (HFC).

The existing system of the automated process control system for rail hardening machines of PJSC "IaSW "Azovstal" has a number of significant drawbacks. Among them: the lack of automated control of the induction heating of the rail, the lack of automated control of the process of joining and uncoupling the rails, manual input of the task into the water flow control system for the primary cooling zone, moral and physical obsolescence of the control system hardware. Elimination of these shortcomings should become a priority in the near future to improve production efficiency and competitiveness of manufactured products in the world market.

This article discusses the problem of the absence of a local automatic control system (LSAR) for heating the rail. In the work, a mathematical model of rail heating has been built, on the basis of which it is possible to create an effective ACS based on modern controllers. In this model, the optimal settings of the heating control regulator were calculated, and transient processes were built. The use of this model during the next modernization of production will improve the quality of products by eliminating possible human error and will stabilize the temperature of the rails in the heating zone with the required accuracy.

Keywords: rail hardening machine, REM, Matlab, regulator, rail heating, heating using high frequency current, heating ACS.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Кравченко В. П.

Стаття надійшла

УДК 620.172.251.282:621.771

Амурський Є. О., Кравченко В. П.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ ЗОН МЕТОДИЧНОЇ ПЕЧІ ПРИ КОЛИВАННЯХ ТИПУ (ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ) І ТЕМПУ ПРОКАТКИ НАГРІТИХ ЗАГОТІВОК

Розглядаються особливості роботи методичної печі великосортного прокатного стану в умовах значної кількості типів заготівок, сортаменту профілів і темпу прокатки. Поперечне січення заготівок в цих печах змінюються в значних межах – від самих легких (130x130мм), до важких (282 x320мм). Заготівки можуть також належати до одної із чотирьох груп марок сталі. Таке різноміття типів заготівок потребує відповідної зміни розподілення температури по зонам печі в процесі їх нагріву. Перед початком кампанії прокатки певного профілю заготівки потрібного січення поштучно завантажуються в піч, утворюючи безперервний потік. Їх кількість в печі визначається геометричними розмірами заготівок і довжиною активного поду печі

Окрім січення на температурний режим печі впливає також темп прокатки відповідних профілів і його коливання. Під темпом прокатки розуміють кількість виданих із печі і прокатаних заготівок в одиницю часу. Сумарна час прокатки заготівок, які знаходяться у печі визначає загальний час їх нагріву. Темп прокатки заготівок оперативно визначає коливання їх часу нагріву і тому широко використовується для своєчасної корекції температурного режиму печі.

Для своєчасної зміни цих температур пропонується існуючу систему автоматичного регулювання температури по зонам печі доповнити контурами корекції заданої температури опалювальних зон по типу заготівки і темпу прокатки. Представлена структура такої системи, яка містить термінал на посту оператора завантаження заготівок в піч, датчик кількості завантажених заготівок, встановлений на штовхачі і датчик видачі заготівок із печі. Всі ці засоби з'єднанні з контролером системи, який обробляє одержану інформацію і автоматично корегує задані значення температури зон печі.

Ключові слова: *Методична піч, сортамент профілів прокатки, параметри заготівок, темп прокатки, корекція температури зон, структура системи автоматизації.*

Постановка проблеми.

При широкому асортименті прокатної продукції великосортових станів виникає проблема ефективного керування температурним режимом методичних печей, для своєчасного і якісного нагріву заготівок (блємів). Кожний вид прокатної продукції (профіль) має певний тип (марка сталі і геометричні розміри) заготівок, а також темп їх прокатки. Зміна профілю прокатки і відповідно типу заготівки, в також темпу їх прокатки породжує необхідність автоматичного контролю цих величин і своєчасної автоматичної зміни температур по зонам печі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Роботі методичних печей і процесу нагріву в них заготівок присвячена значна кількість публікацій, що свідчить про актуальність теми. Так в статті [1] розглядається математична модель процесу нагріву квадратних і прямокутних заготівок в перехідному режимі, коли одночасно в печі нагріваються дві партії заготівок різного січення. Нагрівання великої партії заготовок однакового типорозміру і однієї марки сталі не викликає ускладнень при дотриманні заданої технології. Знаходження в робочому просторі заготовок різної товщини і хімічного складу, вимагає розробки такого перехідного режиму нагріву, який забезпечував би якість нагріву двох різних партій заготовок, близьке до технологічних вимог для цих партій.

Експериментальні дослідження динаміки нагріву металу у методичній показали [2], що найбільш оптимальним є режим плавного підігріву металу до температури початку пластичних деформацій і подальший інтенсивний нагрів його. При цьому час перебування металу в області високих температур скорочується до мінімально можливого, що мінімізує окалино-утворення.

Загальні відомості про процес нагріву заготовок в методичній нагрівальній печі математичний опис температурного профілю печі, статичні та динамічні моделі процесу нагрівання заготовок представлено в [3]. В роботі отримано математичний опис температурного профілю печі, статичні та динамічні моделі процесу нагрівання заготовок. Побудована структура моделі процесу нагрівання заготовок МНП з урахуванням продуктивності прокатного стану.

Робота [4] присвячена моделюванню процесу нагріву металу в методичній печі на основі кінцево-різницевої схеми. Розроблено прикладну програму для реалізації даної методики в середовищі Matlab, що дозволяє моделювати температурне поле по перерізу заготовки з плином часу. У статті [5] розроблено температурний режим методичної печі при одночасному нагріванні металу різного сортаменту. Технологія нагріву такої комбінації сортаменту призводить до того, що заготовки, які йдуть за попередньою партією повинні грітися той же самий час, що і попередня партія. Температурний режим в методичних печах зі струминними пальниками міняти складно, тому, наступна партія заготовок повинна грітися по температурному режиму попередньої партії до тих пір, поки заготовки іншого сортаменту повністю не заповнять весь робочий простір печі.

Проведений аналіз досягнень в цій області свідчить про наявність проблеми управління температурним режимом при одночасному нагріві заготівок різного січення, різних марок сталі і коливаннях темпу прокатки.

Мета дослідження.

Метою дослідження є вивчення зміни профілю (прокатної продукції), типу заготовок і коливань темпу прокатки в реальних умовах і розробка структури системи автоматичного контролю і регулювання температурного режиму методичної нагрівальної печі, яка б шляхом своєчасної зміни температурного режиму зон, забезпечувала якісний нагрів заготовок перед їх прокаткою.

Основний матеріал дослідження.

В методичних печах великосортного цеху, який розглядається, нагрівають заготовки чотирьох груп марок сталі. Профілі, на які прокатуються заготовки (блюми), і поперечне січення блюмів кожної марки сталі наведені у Таблиці 1.

Таблиця 1 – Групи марок сталей і типорозміри заготовок

Група марок сталі	Тип	Балка № 14, 16	Кутник	Кутник	Швелер	Квадрат	Коло
	I	профілю		100x100	200x200	№16у, №18у	60-150
	Заготовка (мм)	130x130 150x150	240x200	245x320	210x280	230x280	282x320
II	Тип профілю	Балка №16, 16У і 18	Кутник	Коло 60			
	Заготовка мм	210x280	210x245	210x280			
III	Тип профілю	Балка №14,16,16У,18, 20	Швелер №16У, 18У	Кутник 200x200			
	Заготовка мм	200x200	210x280	245x320			
IV	Тип профілю	Рейка Р24	Коло 80-120				
	Заготовка мм	270x280	282x320				

Із таблиці видно, що січення заготовок, які нагріваються в цих печах змінюються в значних межах – від самих легких - 130x130 мм до важких – 282x320 мм. Таке різноманіття розмірів заготовок потребує відповідної зміни розподілення температури по зонам печі в процесі їх нагріву. Перед початком кампанії прокатки відповідного профілю заготовки потрібного січення поштучно завантажуються в піч, утворюючи безперервний потік. Їх кількість в печі визначається геометричними розмірами заготовок і довжиною активного поду печі, а загальна кількість нагрітих і виданих у прокат – потрібним об'ємом прокатки даного профілю. Так при довжині активного поду печі 28960 мм в ній розміщується 90 заготовок 282x320 мм.

Окрім січення на температурний режим печі впливає також темп прокатки відповідних профілів і його коливання. Під темпом прокатки розуміють [6, 7] кількість виданих із печі і прокатаних заготовок в одиницю часу. Сумарна кількість часу прокатки заготовок, які знаходяться у печі визначає загальний час їх нагріву. Темп прокатки заготовок оперативно визначає коливання їх часу нагріву і тому широко використовується для своєчасної корекції температурного режиму печі [6]. Коливання темпу прокатки заготовок

різних профілів наведені в Таблиці 2. Найбільший розбіг має темп прокатки кутника 200x200мм від 50 до 100 штук за годину при роботі 3-х печей.

Таблиця 2 – Темп прокатки при роботі 3-х методичних печей

Група сталі	Профіль прокату	Перетин заготовок, мм	Темп прокатки, при роботі 3-х печей (шт/год.)	Інтервал видачі заготовок (хв)
1	2	3	4	5
I	Балка № 14, 16	Квадр. 130-150	90-70	2,0- 2,6
	Кутник 100 x 100	240 x 200	95-70	1,9-2,6
	Кутник 200 x 200	245 x 320	100-50	1,8-3,6
	Швелер №16У і 18У	210 x 280	80-50	2,3-3,5
	Квадрат 60-150	230 x 280	130-60	1,4-3,0
	Коло 80-120	282 x 320	120-60	1,5-3,0
II	Балка № 16, 16У і 18	210 x 280	85-60	2,1-3,0
	Кутник 160 x 100	210 x 245	85-65	2,1-2,8
	Коло 60	210 x 280	100-70	1,8-2,6
III	Балка № 14, 16, 16У, 18, 20	200 x 200	80-60	2,3-3,0
	Швелер №16У і 18У	210 x 280	90-60	2,0-3,0
	Кутник 200 x 200	245 x 320	90-50	2,0-3,5
IV	Рейки Р24	270 x 280	100-70	1,8-2,6
	Коло 80-120	282 x 320	120-80	1,5-2,3

При коливаннях темпу прокатки певного профілю треба відповідним чином змінювати температуру в опалювальних зонах печі. На даний час це робить вручну нагрівальник печі, причому не завжди вчасно. Рекомендоване розподілення температури по зонам печі, при прокатці з номінальним темпом відповідних профілів, представлено в Таблиці 3.

Таблиця 3 – Рекомендований температурний режим по зонам печі при нагріві заготовок з номінальним темпом прокатки

Група сталі	Температура на початку печі, °С, не вище	Температура в томильній зоні, °С, не вище	Температура в основний верхній і нижній зварювальних зонах, °С, не вище			Температура в додатковій зварювальній зоні, °С, не вище
			Холодний посад	Теплий посад	Гарячий посад	
I	Не обмежена	1230	1350	1340	1310	1250
II	Не вище 950	1220	1340	1330	1300	1230
III	Не вище 950	1220	1330	1320	1300	1200
IV	Не вище 950	1220	1330	1320	1300	1180

При зміні типу заготовок, профілю і темпу прокатки необхідно своєчасно змінювати розподілення заданих температур по зонам печі. Для оперативної зміни цих температур пропонується існуючу систему автоматичного регулювання температури по зонам печі доповнити контурами корекції заданої температури опалювальних зон по типу заготовки і темпу прокатки.

Структура такої системи представлена на рисунку 1.

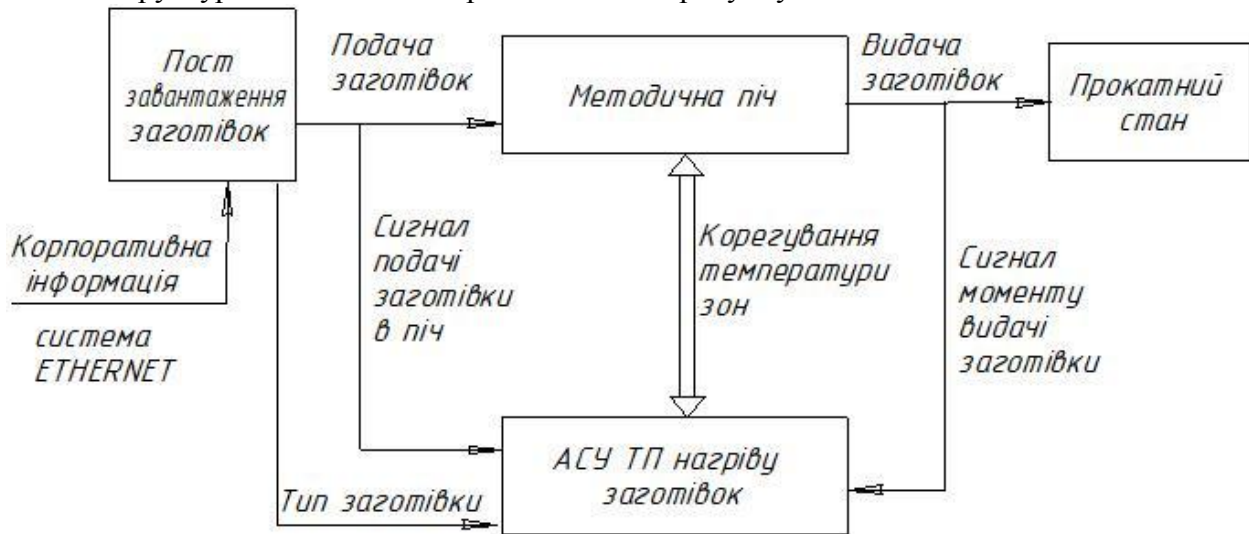


Рисунок 1 – Структура системи автоматичного регулювання температурного режиму в зонах печі з корекцією по типу заготовок і темпу їх прокатки

Корекція температур в зонах печі по параметрам заготовки відбувається наступним чином. На посту посаду заготовок в методичну піч перед подачею першої заготовки нового січення, оператор на своїй робочій станції встановлює тип профілю прокатки, січення, групу марок сталі і кількість заготовок, яка буде посаджена в піч.

Ця інформація по локальній мережі поступає в контролер системи. На штовхачі, який подає заготовки в піч встановлюється датчик дискретних сигналів. При кожній подачі заготовки в піч датчик видає в контролер системи відповідний сигнал. Кількість таких сигналів відповідає кількості поданих у піч заготовок. Контролер по кількості посаджених у піч заготовок і довжині поду визначає їх розташування у печі. При досягненні перших заготовок нового типу відповідної опалювальної зони, контролер поступово починає змінювати задану температуру зони таким чином, щоб при заповненні всієї зони заготовками заданого типу була встановлена задана, згідно технологічної інструкції, температура.

Зміна температур по зонам печі в залежності від темпу прокатки починає діяти при видачі із печі першої нагрітої заготовки нового типу. На рольгангу видачі заготовок встановлюється фотоелектричний датчик. Він контролює момент видачі заготовки і посилає дискретний сигнал в контролер системи. По кількості виданих заготовок за певний період часу, контролер визначає поточний темп прокатки. Порівнюючи його з номінальним (для заданого типу прокатного профілю), встановлює величину відхилення. Пропорційно цьому відхиленню контролер змінює задане значення температури в і-й зоні згідно виразу:

$$T_{i \text{ зад кор}} = T_{i \text{ зад ном}} \pm k_i \Delta P;$$

Інформаційні технології

де - $T_{i \text{ зад ном}}$ – номінальне задане значення температури в i -й зоні згідно технологічної інструкції;

$T_{i \text{ зад кор}}$ – зкореговане по темпу прокатки задане значення температури в i -й зоні;

k_i – коефіцієнт пропорційності для i -ї зони;

ΔP – відхилення поточного значення темпу прокатки від номінального.

Автоматична корекція заданих температур в зонах печі по типу заготовки і темпу прокатки підвищить якість нагріву і забезпечить стабільні умови прокатки.

ВИСНОВКИ

1. Для методичних печей одного з великосортних прокатних станів проаналізовані типи прокатних профілів, типи і об'єми нагріву заготовок для них.
2. Оцінені діапазони зміни темпу прокатки різних профілів із різних типів заготовок.
3. Запропонована структура системи автоматичного регулювання температури в зонах печі з корекцією по типу заготовки і темпу її прокатки.

Список використаних джерел:

1. Гинкул, С. І. Математичне моделювання температурного режиму нагрівальних печей прокатних станів при одночасному нагріванні металу різного сортаменту / С. І. Гинкул // Наукові праці ДонНТУ. Металургія. – 2012. – № 1 (14). – С. 178–184.
2. Котов, І. В. Досвід експлуатації методичних нагрівальних печей прокатного виробництва на РУП «БМЗ» / І. В. Котов // Лиття і металургія. – 2004. – № 3 (31). – С. 138–140.
3. Федюн, Р. В. Математична модель процесу нагріву заготовок в методичній нагрівальній печі / Р. В. Федюн // Наукові праці ДонНТУ. Металургія. – 2011. – № 21 (183). – С. 61–68.
4. Малков, П. С. Використання методів кінцевих різниць для дослідження нагріву металу в методичних печах / П. С. Малков // Наукові праці ДонНТУ. Металургія. – 2013. – № 14 (78). – С. 59–62.
5. Гинкул, С. І. Математическое моделирование температурного режима нагревательных печей прокатных станов при одновременном нагреве металла различного сортамента / С. И. Гинкул, А. И. Туяхов, Ю. С. Сибирицева // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Металургія. – 2012. – № 1. – С. 178–185.
6. Климовицкий, М. Д. Оптимизация работы нагревательных печей / М. Д. Климовицкий. – М. : Металлургия, 1965. – 165 с.
7. Малый, С. А. Автоматизация методических печей / С. А. Малый / – М. : Металлургиздат, 1962. – 104 с.

Амурский Э. А., Кравченко В. П.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗОН МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ ТИПА И ТЕМПА ПРОКАТКИ НАГРЕТЫХ ЗАГОТОВОК

Рассматриваются особенности работы методической печи крупносортового прокатного прокатного стана в условиях значительных колебаний количества типов заготовок, сортамента профилей и темпа прокатки. Поперечное сечение заготовок в этих печах изменяется в значительных пределах – от самых легких (130x130мм), до тяжелых (282x320мм). Заготовки также могут принадлежать одной из четырех групп марок стали. Такое разнообразие типов заготовок требует соответствующего изменения распределения температуры по зонам печи в процессе их нагрева. Перед началом кампании прокатки определенного профиля заготовки нужного сечения поштучно загружаются в печь, образуя непрерывный поток. Их количество в печи определяется геометрическими размерами заготовок и длиной активного пода печи.

Кроме сечения на температурный режим влияет также темп прокатки соответствующих профилей и его колебания. Под темпом прокатки понимают количество выданных из печи и прокатанных заготовок в единицу времени. Суммарное время прокатки заготовок, которые находятся в печи определяет общее время их нагрева. Темп прокатки оперативно определяет колебания их времени нагрева и потому широко используется для своевременной коррекции температурного режима печи.

Для своевременного изменения этих температур предлагается существующую систему автоматического регулирования температуры по зонам печи дополнить контурами коррекции заданной температуры отапливаемых зон по типу заготовки и темпу прокатки. Представлена структура такой системы, которая содержит терминал на посту оператора загрузки заготовок в печь, датчик количества загруженных заготовок, установленный на толкателе и датчик выдачи заготовок из печи. Все эти средства соединены с контроллером системы, который обрабатывает полученную информацию и автоматически корректирует заданные значения температуры зон печи.

Ключевые слова: *Методическая печь, сортамент профилей прокатки, параметры заготовок, темп прокатки, температура зон печи, коррекция температуры зон, структура системы автоматизации.*

Amursky E. O., Kravchenko V. P.

SYSTEM FOR AUTOMATIC CORRECTION OF THE TEMPERATURE OF THE ZONES OF THE CONTINUOUS FURNACE WITH FLUCTUATIONS IN THE TYPE AND RATE OF ROLLING OF HEATED BILLETS

The features of the operation of a continuous large-section rolling furnace are considered. rolling mill in conditions of significant fluctuations in the number of types of billets, assortment of profiles and rolling rate. The cross-section of the blanks in these furnaces varies considerably - from the lightest (130x130mm) to the heaviest (282x320mm). Blanks can also belong to one of four groups of steel grades. Such a variety of types of billets requires a corresponding change in the temperature distribution over the zones of the furnace during their heating. Before the start of the rolling campaign of a certain profile, the billets of the required section are loaded into the furnace piece by piece, forming a continuous flow. Their number in the furnace is determined by the geometric dimensions of the blanks and the length of the active hearth of the furnace.

In addition to the section, the temperature regime is also influenced by the rolling rate of the corresponding profiles and its fluctuations. The rolling rate is understood as the number of billets

discharged from the furnace and rolled per unit of time. The total rolling time of the billets that are in the furnace determines the total heating time. The rolling rate quickly determines the fluctuations in their heating time and therefore is widely used for timely correction of the furnace temperature.

To change these temperatures in a timely manner, it is proposed to supplement the existing system of automatic temperature control in the furnace zones with circuits for correcting the preset temperature of the heated zones by the type of workpiece and the rolling rate. The structure of such a system is presented, which contains a terminal at the operator's station for loading blanks into the furnace, a sensor for the number of loaded blanks mounted on a pusher and a sensor for dispensing blanks from the furnace. All these means are connected to the system controller, which processes the information received and automatically corrects the specified.

Key words: Continuous furnace, assortment of rolling profiles, billet parameters, rolling rate, furnace zone temperature, zone temperature correction, automation system structure.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С. С.
Стаття надійшла 11.11.2019 р.

УДК 004.896

Проніна О. І., Ховалець А. С.

ПРОФОРІЄНТАЦІЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСПЕРТНОГО СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

У статті розглядається проблема профорієнтаційної самовизначеності при виборі майбутньої професії. Метою даної статті є побудова експертної системи для перевірки спрямованості майбутньої професії випускників шкіл.

Представлені варіанти вирішення питання визначення майбутньої професії у вигляді аналіз літературних джерел. Оскільки завдання вибору професії не можливо задати в числовій формі та цілі дослідження не можна виразити в точно певній цільовій функції, та не існує алгоритмічного рішення то доцільним є використання побудови системи у вигляді експертної системи. Як для предметної галузі що не є формалізованою. В експертну систему було закладено експертні знання, що застосовуються при тестуванні на профорієнтацію в методиці професора Климова. При цьому було модифіковано процес розрахунку процентного співвідношення визначення напрямку підготовки. Було описано основні критерії, що лягли в основу розподілу навичок людини при виборі професії, що дозволяє визначити рівень мотивації людини до різних видів діяльності.

Розроблено експертну систему у вигляді веб-сервісу та наведено її інтерфейс та опис розрахунку процентного співвідношення до категорії майбутнього напрямку підготовки. Було проведено дослідження, яке показало, що співпадіння вибору студентів, що вже мають досвід роботи зі своєї спеціальністю та процент визначення спеціальності експертною системою полягає в одних діапазонах. Результати роботи експертної системи є адекватними. Система може бути корисною при тестуванні випускників шкіл, для більш

точного визначення напрямку своєї майбутньої професії та у разі зміни професії для дорослих.

Ключові слова: експертна система, база знань, профорієнтація, спеціальність.

Постановка проблеми. У сучасному світі вибір вищого навчального закладу відіграє важливу роль в процесі професійного самовизначення. Зробити цей вибір дуже непросто, тому що ринок освітніх послуг дуже широкий і різноманітний. З кожним роком з'являється все більше комерційних і державних вузів. Деякі з них щорічно зникають. Серед безлічі найважливіших проблем соціально-економічного розвитку країни однією з найбільш гострих представляється проблема підготовки висококваліфікованих фахівців у різних областях діяльності.

Проблема вибору найбільш підходящої спеціальності з урахуванням всіх бажань і потреб стоїть перед кожним вступником до навчального закладу. На сьогоднішній день лише мала кількість випускників проходять тестування для оцінки схильності до майбутньої професії. Можливість пройти тестування за допомогою системи, та отримати результати дозволить покращити усвідомлений вибір.

За результатами 2019 року [1] лише 50 % випускників працюють згідно професії яку отримали в університеті. Тобто великі суми бюджетних коштів, які держава витрачає на держзамовлення для університетів - витрачаються неефективно. А молоді українці витрачають час на навчання професіям, за якими вони ніколи не будуть працювати. У зв'язку з цим фактом усвідомлений вибір спеціальності яка буде не лише затребувана, а й підходити саме цьому випускнику є актуальною практичною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В області профорієнтації є безліч робіт, реалізованих за допомогою експертних систем, всі вони спираються на свої вузькі предметні галузі. Так в роботі [2] основна мета це оцінка студентської кар'єри на «Мові програмування JAVA». Для цього автори розробили експертну систему. На підставі розумових здібностей студента система оцінює сильні сторони студента і вирішує, чи підходить для нього професія JAVA розробника. Експертна система дозволяє вимірювати здібності студента, приймаючи деякі параметри від студента, такі як написання іспиту.

У цій статті [3] автори запропонували модель системи підтримки прийняття рішень в освіті, яка включає компоненти, тобто призначений для користувача інтерфейс, механізм виведення і базу знань. Розроблена модель підтримує методи активного машинного навчання, щоб надати шаблон виявлення знань, тому вона також включає в себе знання кількох експертів в предметній області. Пропонована модель генерує вихідні результати (вибір професії) на основі кількох досліджень.

Автори в своїй роботі [4] розглядають відсутність якісної профорієнтаційної роботи в африканських середніх школах, що викликане нестачею людських і часових ресурсів, необхідних для цієї дії, призвело до вибору невідповідних професій, що призвело до повсюдного зниження продуктивності на робочому місці.

Метою роботи [5] є розробка експертної системи консультантів з питань кар'єри на основі оцінки особистості Майєра-Бріггса. Розроблена система дає поради користувачеві, виходячи з його / її особистості.

Робота [6] спроектована і розроблена на основі інтелектуальної системи профорієнтації експертів. Ця система надає звіт про консультації з використанням навичок

учнів і області кар'єрних інтересів. Ця система дозволяє користувачам заповнювати свою особисту інформацію, область кар'єрних інтересів, предмет і оцінки. Після успішного заповнення необхідної інформації студент отримує докладні роз'яснення із зазначенням причини того, чому одна кар'єра краще для нього / неї, а чому інша ні.

Таким чином можна зробити висновок, що для неформалізованих задач прикладом якої є профорієнтація доцільно використовувати експертні системи.

Мета дослідження. Побудова експертної системи для перевірки спрямованості майбутньої професії випускників шкіл. Дана система може бути застосована при проведенні профорієнтаційної роботи зі школярами.

Виклад основного матеріалу. Основна методика, що використовується для тестування спирається на методику Є. Климова [7] для визначення напрямку підготовки та є модифікованою. В основу експертної системи покладено ідею про те, що всіх людей можна розділити на 5 типів, кожен з яких визначає майбутній напрямок професії:

1) Людина-природа. Вони прагнуть до поліпшення навколишнього середовища, з легкістю контактують з тваринним і рослинним світом. З них виходять хороші агрономи, хіміки, садівники, лісівники, ветеринари, біологи, зоологи, океанологи, ботаніки, нафтовики, геологи, флористи, картографи.

2) Людина-людина. Це люди, з радістю йдуть на взаємодію, схильні до комунікацій, взаємодопомоги, розуміння оточуючих. В такому випадку ідеальними будуть професії, які пов'язані безпосередньо з спілкуванням, навчанням, вихованням. Такі професії, як адвокат, поліцейський, лікар, менеджер, перукар, екскурсовод, слідчий.

3) Людина-художній образ. Люди цього типу з головою захоплені творчістю, мають схильностями до художньої, письменницької, музичної та архітектурної діяльності. Така особистість створює твори мистецтва і може працювати фотографом, режисером, актором, письменником, копірайтером, скульптором, музикантом.

4) Людина-знакова система. Ці люди мають математичним складом розуму і добре проявляють себе в професіях, що вимагають точності: бухгалтер, економіст, логіст, програміст, ревізор, математик, митник, штурман.

5) Людина-техніка. Люди з даним типом мають здатності до технічних видів професій, де потрібно виготовляти деталі техніки, механізмів, відновлювати і ремонтувати обладнання, винаходити, проводити технічні випробування та перевірочні роботи.

Для аналізу результатів згідно обраної методики використовуються продукційна модель знань. Після відповідей на всі питання користувачеві запропоновується процентне співвідношення згідно однієї з п'яти класифікацій майбутнього напрямку підготовки.

Розроблена експертна система реалізована у вигляді веб-сервісу, що дозволяє користувачеві швидко та без додаткових дій пройти тест для визначення рівня мотивації людини до різних видів діяльності. Користувач відповідає на тридцять питань, погоджуючись зі твердженням чи пропускаючи питання, не згоджуючись з твердженням.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30

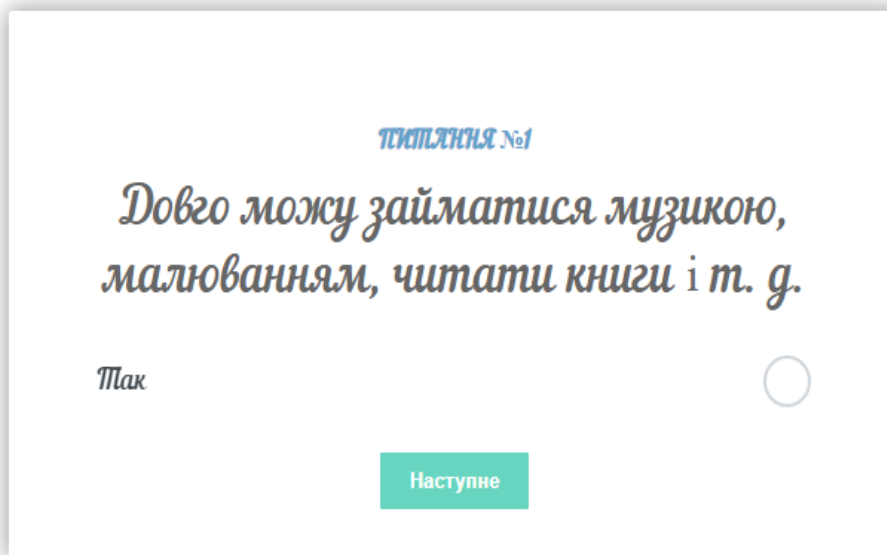


Рисунок 1 – Інтерфейс розробленої експертної системи

Модифікація обраної методики визначення професії складає в розрахунок значень по п'яти основним категоріям для цього використовується процентне співвідношення. Для кожної категорії є набір з восьми питанням, що чітко характеризують цю категорію. Деякі питання попадають до кількох категорії одночасно. У разі, якщо користувач відповів на всі вісім питань «так» то для цієї категорії його відсоток ставить 100 %; 7 питань – 87,5 %; 6 – 75; 5 – 62,5 %; 4 – 50 %; 3 – 37,5 %; 2 – 25 %; 1 – 12,5 %. Окрім набору, коли користувач вибрав всі питання з категорії вірно, ще є похибка у разі відповіді на протилежні питання. В такому випадку є відсотковий зсув, та значення розраховується згідно розробленої методики, коригування ваги питання.

Результати отримані після взаємодії з експертною системою проходять аналіз, згідно процентного розподілу та на виході користувач отримує галузь знань. Після чого відбувається передача даних на вхід до підсистеми, заснованій на нечіткій моделі, де на виході визначається спеціальність для абітурієнта з позначкою ступеня впевненості.

Для перевірки розробленої експертної системи проводилося дослідження. Для цього були обрані тридцять студентів, які вже навчаються на четвертому курсі, та пройшли виробничу практику, ознайомившись зі своєю майбутньою професією. Вони спочатку вказували на скільки відсотків вони вважають, що правильно обрали спеціальність, після чого проходили тестування та відбувалось порівняння отриманих результатів. Перевірялось чи дійсно спеціальність, яка обрана студентами відповідає напрямку підготовки з урахуванням найбільшого проценту відповідності до однієї з п'яти категорій. Результати було інтерпретовано в лінгвістичному вигляді, де відсоток від 0–25 % це низький збіг; 25-50 % середній збіг; 50-75 % середній збіг; 75-100 % високий збіг. Результати тестування наведено на рисунку 2.

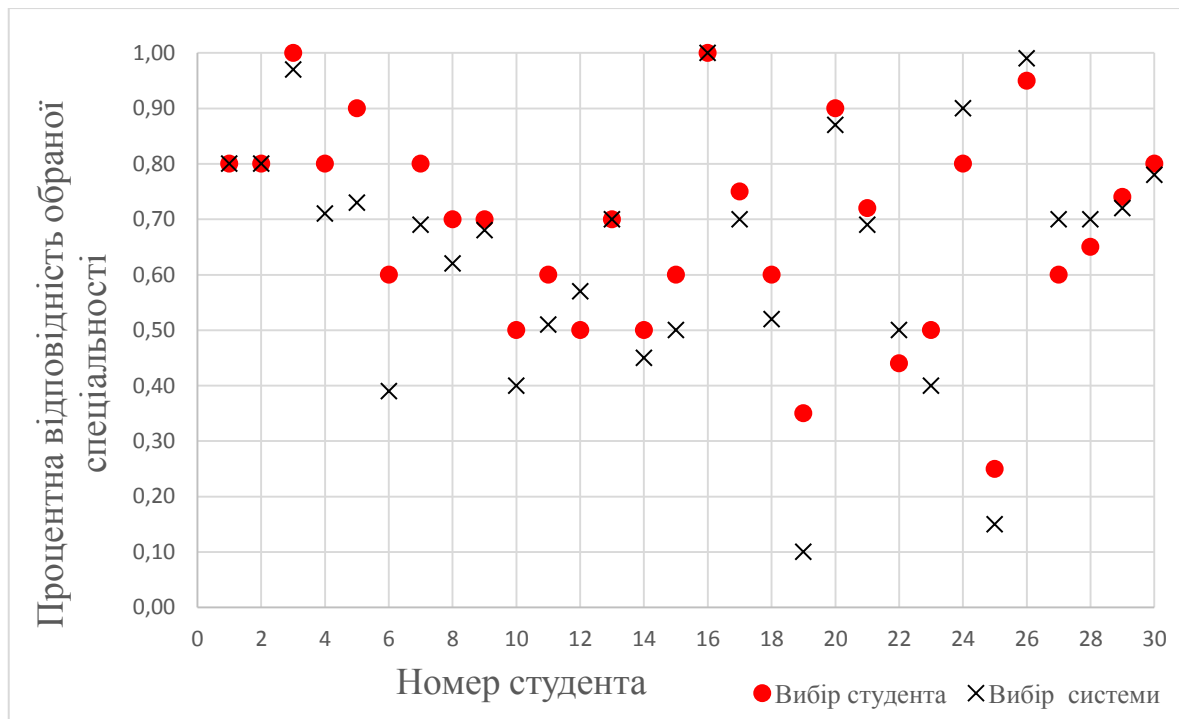


Рисунок 2 – Порівняння вибору спеціальності та системи

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що значення знаходяться в одних діапазонах. Спираючись на те, що студенти вже мають практичний досвід своєї професії можна вважати що дані майже збігаються. Результати отримані в наслідку роботи з експертною системою трохи нижчі за результати опитуванню студентів, це пов'язане з тим, що людина майже завжди має декілька можливих напрямків свого професійного розвитку. Та для цих студентів були ще проценти по іншим категоріям. Студенти підтверджують, що схильність до цих напрямків також помічали в собі, але не замислювались над цим. Оскільки піддослідні вже мали сформовані погляди на свою професію, та зробили висновки того вдало чи ні вони зробили вибір можна вважати, що система працює адекватно.

ВИСНОВКИ

Процес розробки експертної системи для оцінки вибору майбутньої професії є досить складним. Він включає в себе знання експертів та повинен орієнтуватися на різні потреби користувачів. Розроблена експертна система є частиною більшої інформаційної технології, що розробляється. Вона дозволяє скоротити час при виборі майбутньої професії та уникнути невірному вибору. Результати у вигляді категорії з процентним співпадінням користувач отримує після того як відповідь на всі питання. Експертну систему можна використовувати при профорієнтації підлітків і дорослих. Майбутнім розвиток даної системи є вибір спеціальності на основі нечіткого висновку, згідно проведеного тестування та визначення напрямку підготовки.

Список використаних джерел:

1. Выпускники украинских университетов не работают по специальности: главные причины и последствия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://education.24tv.ua/ru/vypuskniki_ukrainskih_universitetov_ne_rabotajut_po_specialnosti_glavnye_prichiny_i_posledstviya_n1249157
2. *Kommineni Dileep Kumar* Development of an expert system for student career assessment in java based on cognitive models / *Kommineni Dileep Kumar, Kurra Harsha Vardhan, Mallavajhala Gayathri* // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2017. – Vol. 115, N 8. – P. 169–174.
3. Decision Support System for Determining: Right Education Career Choice / *Mundra Ankit [et al.]* // ICC 2014-Computer Networks and Security. – 2014. – P. 8–17.
4. *Winston, O.* Career Guidance Using Expert System Approach / *O. Winston, M. Lawrence* // Strengthening the Role of ICT in Development : Special Topics in Computing and ICT Research. – Kampala, 2008. – Vol. IV. – P. 123–131.
5. *Iwayemi, A.* Career Advisor Expert System Based on Myers Briggs Personality Assessment / *A. Iwayemi, B. F. Oladejo, D. S. Adeleke* // *OcRI'16* (Ibadan, Sept 7–9, 2016 y.). – [S. l.], 2016. – P. 207–211.
6. *Kabari, L. G.* An Intelligent Career Advisor Expert System / *L. G. Kabari, F. Agaba* // International Journal of Advanced Research and Publications. – 2019. – Vol. 3, N 4, April. – P. 91–94.
7. *Климов, Е. А.* Психология и профессиональный путь человека / *Е. А. Климов* // Школа и производство. – 2000. – № 7. – С. 77–80.

Пронина О. І., Ховалец А. С.

ПРОФОРИЕНТАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНОГО СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

В статье рассматривается проблема профориентационного самоопределения при выборе будущей профессии. Целью данной статьи является построение экспертной системы для проверки направленности будущей профессии выпускников школ.

Представленные варианты решения вопроса определения будущей профессии в виде анализ литературных источников. Поскольку задачу выбора профессии невозможно задать в числовой форме и цели исследования нельзя выразить в точно определенной целевой функции, и не существует алгоритмического решения то целесообразно использование построения системы в виде экспертной системы. Как для предметной области не являющиеся формализованной. В экспертную систему были заложены экспертные знания, применяемые при тестировании на профориентацию в методике профессора Климова. При этом было модифицировано процесс расчета процентного соотношения определения направления подготовки. Были описаны основные критерии, которые легли в основу распределения навыков человека при выборе профессии, что позволяет определить уровень мотивации человека к различным видам деятельности.

Разработана экспертная система в виде веб-сервиса и приведены ее интерфейс и описание расчета процентного соотношения к категории будущего направления подготовки.

Было проведено исследование, которое показало, что совпадение выбора студентов, уже имеющих опыт работы по своей специальности и процент определения специальности экспертной системой заключается в одних диапазонах. Результаты работы экспертной системы являются адекватными. Система может быть полезной при тестировании выпускников школ, для более точного определения направления своей будущей профессии и в случае смены профессии для взрослых.

Ключевые слова: экспертная система, база знаний, профориентация, специальность.

Pronina O. I., Khovalets A. S.

CAREER GUIDANCE USING AN EXPERT SYSTEM APPROACH

The article deals with the problem of career guidance self-determination when choosing a future profession. The purpose of this article is to build an expert system to test the direction of the future profession of school graduates.

The presented options for solving the issue of determining the future profession in the form of an analysis of literary sources. Since the task of choosing a profession cannot be set in numerical form and the objectives of the study cannot be expressed in a well-defined objective function, and there is no algorithmic solution, it is advisable to use the construction of the system in the form of an expert system. As for a subject area that is not formalized. The expert system was based on expert knowledge used in testing for career guidance in the methodology of Professor Klimov. At the same time, the process of calculating the percentage of determining the direction of training was modified. The main criteria were described that formed the basis for the distribution of a person's skills when choosing a profession, it allows you to determine the level of a person's motivation for various types of activity.

An expert system has been developed in the form of a web service and its interface and a description of the calculation of the percentage of the category of the future direction of training are presented. A study was conducted that showed that the coincidence of the choice of students who already have experience in their specialty and the percentage of determining the specialty by the expert system lies in the same ranges. The results of the expert system are adequate. The system can be useful when testing school graduates, to more accurately determine the direction of their future profession and in the case of a change of profession for adults.

Keywords: expert system, knowledge base, career guidance, specialty.

Рецензент: доцент, канд. техн. наук Левицкая Т. О.

Стаття надійшла 29.10.2020 р.

УДК 004.738

Федосова І. В., Бухаров Д. В.

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ Wi-Fi - ДАТЧИКІВ

В наш час методи визначення місця розташування використовуються повсюдно для вирішення безлічі повсякденних завдань. Система глобального позиціонування GPS практично повністю вирішила проблему зовнішнього позиціонування. Однак цей метод не підходить для вирішення завдань позиціонування всередині приміщень, де він показує вкрай низьку точність, або повністю непрацездатний. Це призвело до звернення уваги на проблему позиціонування усередині приміщенні. Було розпочато пошук найбільш ефективних методів визначення позиції пристрою в умовах знаходження у будівлі. Дана стаття присвячена розробці програмного забезпечення для мобільного пристрою на базі ОС Android для визначення місцезнаходження пристрою на основі даних з Wi-Fi-датчиків.

Геолокація пристрою на основі даних з Wi-Fi - датчиків полягає у визначенні відстані до точок доступу на основі даних, одержуваних за допомогою датчиків пристрою і подальше використання математичних методів для розрахунку відносного положення пристрою. У процесі визначення відстані від джерела сигналу використовуються дані про силу отриманого сигналу, RSS з датчиків, які присутні в кожному пристрої, здатному працювати з бездротовими Wi-Fi - мережами. Для безпосереднього розрахунку відносної позиції пристрою використовується метод, який не потребує тренувального періоду, трилатерація.

У ході роботи розглянуті існуючі методи що призначені для визначення місцезнаходження пристрою, етапи визначення місця розташування, побудована математична модель, розроблено програмне забезпечення для мобільного пристрою на базі ОС Android. У висновках представлені вимірювання, що були проведені за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Ключові слова: позиціонування всередині приміщення, Angle of Arrival, Time of Arrival, Time Difference of Arrival, Received Signal Strength, трилатерація, триангуляція, метод відбитків, модель втрат сигналу у просторі.

Вступ. Геолокація – це визначення реального географічного місцезнаходження електронного пристрою, наприклад мобільного телефону або комп'ютера, підключеного до Інтернету.

У сучасному світі майже всі мобільні пристрої оснащуються великою кількістю датчиків, які можна використовувати для визначення місцезнаходження пристрою. Однак різні типи датчиків показують високу ефективність тільки в певних умовах роботи.

Найбільш поширеним методом визначення місця розташування пристрою на сьогоднішній день є GPS-навігація. Цей метод геолокації показує себе з найкращого боку на відкритих просторах, бо пристрій потребує обмінюватися сигналом з GPS-супутниками. Однак в закритих приміщеннях даний метод не тільки не демонструє точних результатів а й часто повністю непрацездатний.

Усередині приміщень Wi-Fi є хорошою альтернативою GPS, сигнали якого недоступні. У більшості випадків Wi-Fi система позиціонування є легкою в установці, так як Wi-Fi точки доступу вже доступні в багатьох приміщеннях.

Метою даної роботи є розробка програмного засобу для визначення місцезнаходження пристрою за допомогою даних з Wi-Fi - датчиків. Даний програмний засіб дозволить визначати місцезнаходження користувача у приміщенні, в якому є активні точки доступу Wi-Fi, а також відомі їх координати.

Розроблений програмний засіб для пристроїв на базі ОС Android, засновуючись на даних про рівень сигналу, отриманого з точок доступу, має надавати інформацію про поточне місцезнаходження пристрою.

Вибір методу і розробка алгоритму визначення місцезнаходження проводилася на основі інформації, що була отримана з існуючих статей та публікацій за темою геолокації на основі датчиків мобільного пристрою. У статті наведена таблиця результатів визначення місцезнаходження, що була отримана за допомогою розробленого додатку на основі обраного методу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасному світі дуже поширені технології для визначення місцезнаходження. Майже у кожної людини у наявності є мобільний пристрій, оснащений багатьма датчиками.

Серед багатьох датчиків, для визначення місцезнаходження пристрою у приміщенні найбільш часто використовуються Wi-Fi - датчики. Вони дозволяють визначати місцезнаходження у будівлях, тоді як GPS-датчики дають дуже неточні результати, або навіть взагалі непрацездатні у таких умовах.

Визначення місцезнаходження у приміщенні за допомогою Wi-Fi - датчиків включає вирішення двох основних завдань:

- вимірювання сигналу,
- безпосередньо розрахунок місцезнаходження.

Перше завдання можна вирішити, вимірювання сигналу вирішуються декількома різними методами. Основні з них – сила отриманого сигналу (RSS), кутовий метод (AOA), а також методи, що базуються на часі [1].

У статті [2] описується метод RSS – метод, який доступний тільки для радіосигналів. Він дозволяє виміряти відстань до невідомого вузла до іншого. Дані RSS може використовуватися для двох видів визначення місцезнаходження, для методу відбитків, що потребує тренувальної стадії для створення карти відбитків, або у методі трилатерації. Модель розмноження сигналу встановлює зв'язок між силою отриманого сигналу та відстанню. Для визначення відстані до точки доступу у статті [2] наводиться наступна формула:

$$PL(d) = P_t - P(d) = PL(d_0) + n10lg \frac{d}{d_0}, \quad (1)$$

де d – відстань до пристрою, $PL(d)$ – втрата потужності сигналу на відстані d , P_t – потужність передатчика, $P(d)$ – потужність сигналу на пристрої-приймачі на відстані d , d_0 – відстань 1 метр, n – коефіцієнт розповсюдження сигналу у середовищі.

AOA, техніка, що також зветься кутом прибуття завдяки використанню кутів. Вона визначає кут надходження мобільного сигналу, що надходить з відомого місця, в якому він

приймається на декількох базових станціях. Для визначення місцезнаходження на двумірній площині за цією технікою, потрібні лише два маяки, однак для підвищення точності методу, можна використовувати три або більше маяки. Для пошуку напрямку потрібні високоспрямовані антени або антенні решітки. Автори відзначають, що у даного метода є свої обмеження. АOA вимагає додаткових антен, здатних вимірювати кути, які збільшують вартість впровадження системи на базі цієї технології [2].

TOA (Time of Arrival) – це час, що знадобився сигналу, щоб пройти відстань між передавачем та приймачем. Помноживши час у дорозі на швидкість світла можна розрахувати відстань. Для вимірювання часу руху у повітрі цей підхід зазвичай вимагає синхронізації між передавачами та приймачами [3].

TDOA (Time Difference of Arrival). Основна ідея цього підходу полягає в оцінці інформації про дальність вимірювання різниці часу прийняття двох сигналів на приймачі. Оскільки в цій техніці не вимірюється час подорожі сигналу, і, отже, не потрібні дані з початкових позначок часу, недоліки методу TOA вже неактуальні. Цей підхід часто використовується для додатків що реалізують велику кількість вузлів. Для методу вимагається повна або часткова синхронізація вузлів [4].

Щоб вирішити друге завдання використовується один з методів, що були наведені у статті [5]. Автори наступним чином описують основні методи:

Алгоритми трилатерації. Цей метод вимірює відстань до станції від мобільних пристроїв. Автори вказують, що в цьому методі можуть використовуватися RSS, ToA, TDoA, що були описані вище. Для використання цього метода необхідні якнайменше три точки доступу, для яких відоме їх місцезнаходження.

Алгоритми триангуляції. Для цього методу найбільш часто використовуються виміри кута прибуття (AoA) або кута вильоту (AoD). Місце розташування визначається за допомогою кута сигналів користувача і опорних вузлів.

Аналіз сцени. Один з найбільш поширених алгоритмів цього типу – метод відбитків. Даний метод має два основних етапів – навчальний і локалізацію. Фазу навчання зазвичай розглядають як офлайн, а фазу локалізації – як онлайн. У фазі навчання збираються певні дані про місцезнаходження. На онлайн-фазі відбувається безпосередньо визначення місцезнаходження. Для визначення місцезнаходження відбувається порівняння сили сигналу, отриманої на офлайн фазі, з отриманою на онлайн фазі.

На основі вивчених даних було вирішено використовувати метод трилатерації. Цей метод має досить високу точність, при цьому маючи помірну розрахункову складність, дозволяє працювати з метрикою RSS, яку можна отримати за допомогою розповсюджених смартфонів, а отже не потребує додаткового технічного обладнання, а також дозволяє одразу працювати в онлайн-режимі, без попередніх етапів для підготовки даних про місцезнаходження.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої на початку роботи мети необхідно виконати наступні завдання:

- розглянути методи визначення місцезнаходження, що використовують Wi-Fi - датчики, а також їх ефективність і недоліки;
- підготувати набір точок доступу, що будуть використовуватися для роботи алгоритму і визначити їх місцезнаходження;
- визначити метод розрахунку відстані від точки доступу з відомими координатами до пристрою-приймача на основі отриманої сили сигналу, RSS;

- визначити метод розрахунку позиції пристрою;
- розробити додаток для мобільних пристроїв на базі ОС Android, з реалізацією обраного методу визначення позиції;
- провести виміри за допомогою отриманого додатку.

Основний матеріал дослідження. У ході вивчення матеріалів на тему визначення місцезнаходження у приміщенні за допомогою Wi-Fi - датчиків було знайдено багато методів, що дозволяють вирішити поставлене завдання. Однак деякі з них потребують спеціального обладнання або стадії попередньої підготовки даних, як наприклад показано у статті [6]. Автори у цій статті створюють карту відбитків, що характеризує приміщення.

У статті [7] наведені декілька варіантів розрахунку відстані від точки доступу до пристрою на основі даних про силу отриманого сигналу. Модель втрат з логарифмічною відстанню – це модель розповсюдження радіоволн, що прогнозує втрати на трасі, з якими стикається сигнал у приміщенні. Модель застосовується для моделювання розповсюдження сигналу у приміщенні. Дана модель базується на законі відстані-потужності і виражається наступною формулою:

$$PL(d) = P_t - P(d) = PL(d_0) + n10lg \frac{d}{d_0}, \quad (2)$$

де d – відстань до пристрою, $PL(d)$ – втрата потужності сигналу на відстані d , P_t – потужність передатчика, $P(d)$ – потужність сигналу на пристрої-приймачі на відстані d , d_0 – відстань 1 метр, n – коефіцієнт розповсюдження сигналу у середовищі.

Далі, отримані дані для кожної точки доступу використовуються у методі трилатерації.

Метод трилатерації дозволяє позиціонувати мобільний пристрій у приміщенні. Це досягається за допомогою визначення відносного місцезнаходження пристрою за допомогою геометричного розрахунку відстані.

Як сказано у статті [8], для розрахунку необхідні три точки доступу, для яких відомі їх координати. Тоді ми можемо побудувати рівняння кіл:

$$d_1^2 = (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 \quad (3)$$

$$d_2^2 = (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 \quad (4)$$

$$d_n^2 = (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 \quad (5)$$

де $x_1, x_2, x_n, y_1, y_2, y_n$ являють собою координати точок доступу.

d_1, d_2, d_n – дистанції від точок доступу до пристрою-приймача.

Отже точка перетину, цих трьох кіл і є відносне місцезнаходження пристрою-приймача. Схематично це можна показати так:

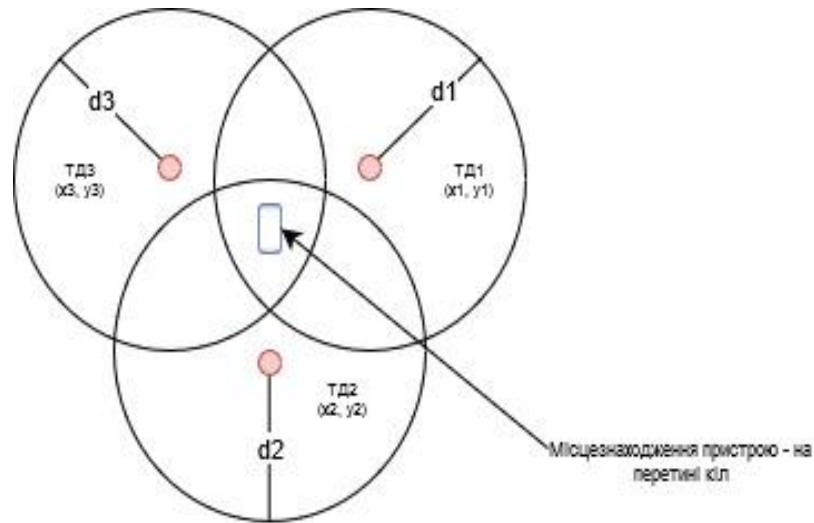


Рисунок 1 – Схематичне зображення методу трилатерації

Для проведення замірів були встановлені три точки доступу з координатами: (5.16, 3.0), (0.9, 5.5), (5.35, 4.7). Заміри проводилися за допомогою додатку, що був розроблений у процесі роботи. Вікно додатку показано на рисунку 2:

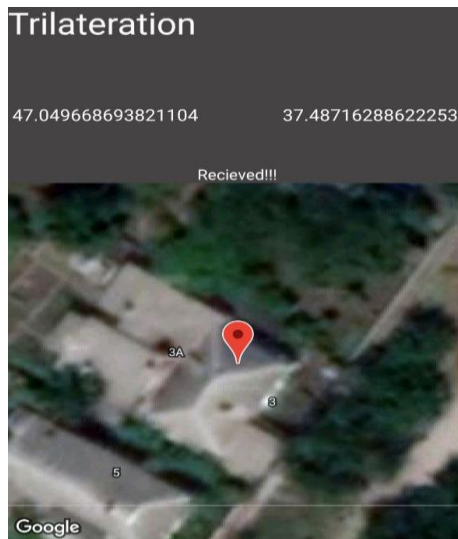


Рисунок 2 – Вікно розробленого додатку

Далі у різних місцях будівлі були проведені заміри місцезнаходження за алгоритмом трилатерації. Для більш наглядного порівняння реального місцезнаходження з розрахунковим у якості одиниць виміру замість координат карт Google будемо використовувати метри. Результати проведеного тестування наведені у таблиці 1:

Таблиця 1 – Реальне місцезнаходження і заміри

№ заміру	Реальне місцезнаходження(м)	Виміряне місцезнаходження (м)
1	(1.7, 2.7)	(1.9, 1.4)
2	(3.0, 4.3)	(2.9, 5.1)
3	(3.2, 7.3)	(4.0, 6.1)
4	(1.5, 5.0)	(2.8, 4.8)
5	(1.7, 5.2)	(2.4, 5.1)
6	(2.1, 5.0)	(3.0, 5.6)

У таблиці 1 можна побачити виміряне за алгоритмом місцезнаходження і реальну позицію пристрою.

ВИСНОВКИ

Таким чином, у роботі були розглянуті методи визначення місцезнаходження у приміщенні. Було розроблено додаток для мобільних пристроїв на ОС Android. Для визначення місцезнаходження у додатку використано алгоритм трилатерації, а також модель втрат з логарифмічною відстанню для визначення відстані до точок доступу. У якості метрики для розрахунку відстані використано RSS. У майбутньому планується доопрацювання додатку для використання мультитлатерації на основі методу лінійних найменших квадратів для покращення результатів розрахунків.

Список використаних джерел:

1. Evolution of in-door positioning technologies: A survey [Electronic resource] / *R. F. Brena [et al.]* // Journal of Sensors. – 2017. – Vol. 2017. – Article ID 2630413. – P. 1–21. – Mode of access: <https://downloads.hindawi.com/journals/js/2017/2630413.pdf>
2. Wireless Indoor Localization Systems and Techniques: Survey and Comparative Study [Electronic resource] / *Ahmed Azeez Khudhair, Saba Qasim Jabbar, Mohammed Qasim Sulttan, Desheng Wang* // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2016. – Vol. 3, N 2, August. – P. 392–409. – Mode of access: <http://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/view/4096/868>
3. *Yang, C.* WiFi-based indoor positioning [Electronic resource] / *C. Yang, H. Shao* // IEEE Communications Magazine. – Vol. 53, N 3, March. – P. 150–157. – Mode of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7060497>
4. *Zandian, R.* Ultra-wideband Based Indoor Localization of Mobile Nodes in ToA and TDoA Configurations [Electronic resource]: E-Dissertation / *Zandian Reza*. – [S.l.], 2019. – 255 p. – Mode of access: <https://pub.uni-bielefeld.de/download/2934897/2934898/PhD%20Thesis.pdf>
5. *Turgut, Z.* Indoor localization techniques for smart building environment [Electronic resource] / *Z. Turgut, G.Z.G. Aydin, A. Sertbas* // Procedia Computer Science. – Vol. 83. – P. 1176–1181. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.242>
6. *Luo, J.* A Smartphone Indoor Localization Algorithm Based on WLAN Location Fingerprinting with Feature Extraction and Clustering [Electronic resource] / *J. Luo, L. Fu* //

Sensors. – 2017. – Vol. 17, N 6. – 1339. – P. 1–18. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/s17061339>

7. Patel, K. R. Indoor Radio Propagation Model Analysis Wireless Node Distance and Free Space Path Loss Measurements and Using Ultra-wideband (UWB) Technology [Electronic resource] / K. R. Patel, R. Kulkarni // Journal of Engineering Research and Applications. – Vol. 5, N 6. – P. 20–32. – Mode of access: http://www.ijera.com/papers/Vol5_issue6/Part%20-%204/D56042032.pdf

8. Trilateration Technique for WiFi-Based Indoor Localization / Veli Ilci, V. E. Güllal, R. M. Alkan, H. Çizmeçi // ICWMC 2015 : The Eleventh International Conference on Wireless and Mobile Communications (St. Julians, October 11–16, 2015 y.). – [S. l.], 2015. – P. 25–28.

Федосова И. В., Бухаров Д. В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ УСТРОЙСТВА С ПОМОЩЬЮ WI-FI - ДАТЧИКОВ

В настоящее время методы определения местоположения используются повсеместно для решения множества повседневных задач. Система глобального позиционирования GPS практически полностью решила проблему внешнего позиционирования. Однако этот метод не подходит для решения задач позиционирования внутри помещений, где он показывает крайне низкую точность, или полностью неработоспособен. Это привело к обращению внимания на проблему позиционирования внутри помещения. Был начат поиск наиболее эффективных методов определения позиции устройства в условиях нахождения в здании. Данная статья посвящена разработке программного обеспечения для мобильных устройств на базе ОС Android для определения местоположения устройства на основе данных с Wi-Fi-датчиков.

Геолокация устройства на основе данных с Wi-Fi-датчиков заключается в определении расстояния до точек доступа на основе данных, получаемых с помощью датчиков устройства и дальнейшее использование математических методов для расчета относительного положения устройства. В процессе определения расстояния от источника сигнала используются данные о силе полученного сигнала, RSS с датчиков, которые присутствуют в каждом устройстве, способном работать с беспроводными Wi-Fi - сетями. Для непосредственного расчета относительной позиции устройства используется метод, не требующий тренировочного периода, трилатерация.

В ходе работы рассмотрены существующие методы предназначенные для определения местоположения устройства, этапы определения местоположения, построена математическая модель, разработано программное обеспечение для мобильного устройства на базе ОС Android. В выводах представлены измерения, проведенные с помощью разработанного программного обеспечения.

Ключевые слова: *позиционирование внутри помещения, Angle of Arrival, Time of Arrival, Time Difference of Arrival, Received Signal Strength, трилатерация, триангуляция, метод отпечатков, модель потерь сигнала в пространстве.*

Fedosova I. V., Bukharov D. V.

DETERMINING THE LOCATION OF THE DEVICE USING WI-FI - SENSORS

Nowadays, location methods are widely used to solve many everyday problems. The GPS global positioning system has almost completely solved the problem of external positioning. However, this method is not suitable for solving positioning problems indoors, where it shows extremely low accuracy, or is completely inoperable. This has led to attention to the problem of positioning indoors. The search for the most effective methods of determining the position of the device in the conditions of being in the building was started. This article focuses on the development of software for a mobile device based on Android OS to determine the location of the device based on data from Wi-Fi sensors.

Geolocation of the device based on data from Wi-Fi sensors is to determine the distance to the access points based on the data obtained by the device sensors and then use mathematical methods to calculate the relative position of the device. In the process of determining the distance from the signal source using data on the strength of the received signal, RSS from the sensors that are present in each device capable of working with wireless Wi-Fi - networks. To directly calculate the relative position of the device using a method that does not require a training period, trilateration.

In the course of work the existing methods intended for determination of a location of the device, stages of determination of a location are considered, the mathematical model is constructed, the software for the mobile device on the basis of OS Android is developed. The conclusions present the measurements that were performed using the developed software.

Keywords: indoor positioning, Angle of Arrival, Time of Arrival, Time Difference of Arrival, Received Signal Strength, trilateration, triangulation, path loss model.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С. С.

Стаття надійшла 11.11.2019 р.

УДК 004.891.3

Федосова І. В., Сметаннікова Є. А.

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАХВОРИЮВАННЯ ЗА АНАЛІЗОМ КРОВІ

Використання інтелектуальних інформаційних систем (ІС) в сфері охорони здоров'я стає все більш актуальним. З їх допомогою можна систематизувати знання фахівців, щоб надалі використовувати їх для допомоги в прийнятті рішень в складних завданнях або небезпечних ситуаціях. Проблема медицини полягає в тому, що, найчастіше, дані для постановки діагнозу представлені заплутаними клінічними показаннями. Тому використання ІС стає необхідним, адже від швидкості реакції лікаря залежить життя і здоров'я пацієнта, а системи допоможуть йому швидше і впевненіше поставити вірний діагноз або направити його в правильному напрямку.

У рамках даної роботи були досліджені існуючі експертні системи (ЕС) в медичній галузі. У даний час ЕС допомагають лікарям-фахівцям діагностувати захворювання

сполучних тканин, депресивні стани, захворювання очей, інфекційні захворювання, легеневих захворювань, кислотних і електролітних захворювань та ін. Але жодна з них не допомагає експертам в постановці діагнозу за аналізом крові. Це допомогло б заощадити багато часу молодим лікарям і допомогти їм у навчанні.

Дана стаття присвячена розробці медичної експертної системи (МЕС), яка буде ставити попередній діагноз, ґрунтуючись на аналізі крові. У ході дослідження були вивчені різні архітектури експертних систем і методології представлення знань. Для реалізації МЕС була обрана статична структура ЕС, а для моделювання бази знань (БЗ) використовувалися продукційні правила і бінарне дерево рішень. Правила склалися на основі систематизації знань отриманих від лікарів міста Маріуполя. Розробка БЗ проводилася з використанням «Малої експертної системи», після чого був реалізований прототип експертної системи на мові програмування C++.

Ключові слова: медична експертна система, база знань, аналіз крові, діагноз, дерево рішень, продукційні правила.

Вступ. Інтелектуальні інформаційні технології поступово проникають в усі сфери діяльності людини. Їх основна мета це виявлення і систематизація отриманих знань від висококваліфікованих фахівців з подальшим застосуванням їх для вирішення складних завдань, які виникають на практиці. Окремим випадком систем заснованих на знаннях є експертні системи (ЕС).

Вже довгий час в усьому світі ЕС грають важливу роль в розвитку охорони здоров'я. Вони дозволяють надавати систематичну допомогу медичному персоналу. У більшості випадків експертні системи використовуються для постановки діагнозу і вибору найкращого методу лікування.

Кров реагує на найменші зміни в організмі людини. У здорової людини клітинний склад крові є постійним, а незначні відхилення від норм говорять про можливі захворювання. Тому один з найпоширеніших методів для постановки діагнозу – аналіз крові.

Аналізи крові дають важливу картину загального стану здоров'я. Вони також є хорошим способом раннього виявлення хвороби або перевірки того, наскільки добре тіло реагує на лікування різних захворювань. Хоча вміння дати грамотний висновок за аналізом крові і є базовим навиком будь-якого лікаря, не всі, у силу своєї недосвідченості, можуть це зробити.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Експертні системи застосовуються в тій ситуації, коли вихідні дані, представлені експертам, неоднозначні або суперечливі; неможливо визначити алгоритм однозначного рішення задачі класичними методами; задача не може бути представлена в числовій формі. Завдання медицини має саме такі властивості, так як вихідні дані представлені найчастіше великою кількістю заплутаних і, швидше за все, суперечливих клінічних даних.

У цій статті [1] досліджується проблема смертності пацієнтів через повільні реакції тесту. Дослідження показали, що при використанні інформаційних технологій в медичній сфері значно знижується смертність. Автори вирішили розробити експертну систему з діагностики захворювань крові, так як більшість створених останнім часом систем залишили питання діагностики захворювань крові і зосередилися на інших більш важливих і складних галузях медицини. Автори використовували підхід на основі правил IF, IF THEN ELSE, так як вони можуть дати програмістам таку ж гнучкість як і нечітка логіка. Вони зібрали всі

симптоми і причини захворювань крові, дозволивши системі навчитися. Після цього процесу система може пристосуватися до різних діагнозів.

У статті [2] автори вивчали прогнозування стадії діабетичної ретинопатії на підставі аналізу дисфункції тромбоцитів за допомогою чотирьохфакторної нелінійної нейромережевої MLP-моделі. Головною проблемою в цьому напрямку була своєчасна діагностика змін на очному дні. Навіть у разі появи морфологічних змін діагностика залишається складною, оскільки критерії оцінки є недостатньо інформативними. На першому етапі використовували генетичний алгоритм відбору, в результаті якого відібрали дві ознаки. На виділеному наборі ознак побудували лінійну нейромережеву модель. Вона дозволила з 99 випадків прогнозування помилитися лише 18 разів, тобто точність прогнозу склала 81,8 %. Облік нелінійних зв'язків дозволив збільшити точність прогнозування до 93,9 %.

У ході дослідження [3] було з'ясовано, що існує гостра нестача фахівців-акушерів у відділі репродуктивного здоров'я. Основна мета дослідження полягала в розробці медичної експертної системи діагностики і лікування артеріальної гіпертензії під час вагітності. Авторів вивчили медичні протоколи, які діють в лікарнях. За допомогою стратифікованої вибірки було відібрано вибіркова сукупність, до якої увійшли: акушери-фахівці, реєстратори, інтерни-медики, клінічні співробітники і медсестри. Використані інструменти вилучення знань включали: інтерв'ю, аналіз документів, спостереження та анкети. У результаті система могла використовуватися цільовими користувачами в передбачуваному середовищі, але перш за все користувачів потрібно було навчити, перш ніж вони зможуть використовувати систему, але вони відзначили, що її було легко використовувати, коли користувач знав як працювати з системою. Система також виявилася точною і швидкою при постановці діагнозу.

У дослідженні [4] пропонується експертна система для вирішення проблем діагностики захворювань. Пропонована система заснована на правилах і робить висновки за допомогою символів, які вимагають перекладу специфічних знань про захворювання в стандартну символічну форму. На першому етапі реєструється медичний фон захворювань шляхом проведення особистих інтерв'ю з лікарями та пацієнтами. На другому етапі створюється набір правил, в якому кожне правило міститься в частині ЯКЩО, що має симптоми, і частини ТО, яка має захворювання, яке має бути реалізовано. Механізм виведення заснований на алгоритмі зіставлення зі зразком, основна мета якого – зв'язати факти з застосовними правилами з бази правил.

У статті [5] представлена експертна система діагностики рахіту, яка надає пацієнтам діагноз, рекомендації і лікування на основі бази знань експертної системи і даних, отриманих від пацієнтів. Метою цієї експертної системи було розпізнавання користувачем симптомів захворювання, щоб він міг визначити захворювання і причини рахіту. Ця система дозволяє заощаджувати час і сили пацієнта, дозволяючи легко діагностувати рахіт через простий інтерфейс користувача. Ця експертна система була розроблена з використанням об'єктної мови SL5. Пацієнти з рахітом, що випробували експертну систему, були вражені точністю, легкістю і швидкістю діагностики, тому що система містить всі причини, види рахіту і легко отримує дані від пацієнта для діагностики його стану.

У статті [6] автори розробляли експертну систему, засновану на гібридному алгоритмі виведення і всеосяжних інтегрованих знаннях, щоб допомогти експертам у швидкій і якісній діагностиці захворювань хребта. Для кожної аномалії точні і комплексні знання були отримані від відповідних експертів і ресурсів. На основі розподілів ймовірностей і залежностей між симптомами аномалій кожному симптому було присвоєно унікальне

числове значення, відоме як значення ефекту достовірності. Був розроблений новий гібридний алгоритм виведення для отримання чудової продуктивності, який включав в себе висновок зворотного ланцюжка і теорію невизначеності.

У статті [7] автори розробили систему, засновану на знаннях, яка використовує об'єктний мову SL5 для подання проблем із зубами і яснами. У програмі описана множина з 13 питань, на які пацієнт відповів «так» або «ні». Через них здійснюється контроль захворювання і якості лікування. Пропонована експертна система здатна діагностувати кілька захворювань зубів і ясен на різних етапах життя людини, починаючи з того, що пацієнтові ставлять безліч запитань на основі його больових симптомів. У кінці пропонована система дає рекомендації, як лікувати захворювання. Пацієнти можуть отримати діагноз швидше, ніж при традиційному методі, тому вони можуть заощадити свій час і сили.

Таким чином, з урахуванням поставленого завдання і області застосування, було прийнято рішення розробити експертну систему на основі бінарного дерева рішень і продукційних правил.

Метою даної роботи є розробка експертної системи для визначення захворювання за аналізом крові. Дана система буде служити додатковою експертною допомогою для досвідчених лікарів і фахівців початківців, які в діалоговому режимі зможуть отримати необхідну інформацію.

Медична експертна система, виходячи з показань крові, повинна поставити попередній діагноз і дати лікарям-фахівцям рекомендації по уточненню діагнозу на основі правил, які закладені в базу знань.

У рамках реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розглянути існуючі рішення в медичній галузі;
- визначити цілі розробки, експертів і типи користувачів;
- провести змістовний аналіз проблемної області, виявити використовувані поняття і їх взаємозв'язки;
- вибрати інструментальні засоби і методи представлення всіх видів знань;
- здійснити наповнення бази знань правилами;
- створити попередню версію експертної системи;
- провести оцінку обраного представлення знань.

Основний матеріал дослідження. Для розробки експертної системи для діагностики захворювань за аналізом крові була обрана статична ЕС. Вона складається з таких основних компонентів: модуль прийняття рішень (вирішувач), робочої пам'яті, бази онтологічних знань, модуль оновлення бази знань (компонент придбання знань), блок пояснень (пояснювальний компонент), модуль інтерфейсу системи (діалоговий компонент) [8].

Структура статичної експертної системи для діагностики захворювань за аналізом крові зображена на рисунку 1.

У наведеній архітектурі ЕС компонент придбання знань служить для отримання експертних даних, її систематизацію і поповнення існуючої бази знань. Інтерфейс служить для обміну інформацією між користувачем і експертною системою. Модуль робочої пам'яті служить для обробки отриманих даних і видачі діагнозу користувачеві-експерту. Пояснювальний компонент служить для пояснення причини, по якій ЕС видає той чи інший діагноз, з огляду на вхідні параметри стану крові. Вирішувач робить аналіз даних, які надходять від користувача, і приймає рішення щодо діагнозу [8].

Інформаційні технології



Рисунок 1 – Структура статичної експертної системи

Для реалізації експертної системи визначення захворювання за аналізом крові була обрана продукційна модель. Дерева рішень – один із способів оцінювання і обробки медичної інформації. Цілі виходять з об'єктивних потреб і мають ієрархічний характер [8]. Побудова дерева рішень ЕС обумовлена зображенням послідовності прийняття рішення лікарем при розшифровці аналізу крові.

Було прийнято рішення візуалізувати процес постановки діагнозу, де безліч продукцій і вихідних даних представлено у вигляді бінарного дерева рішень. Приклад такого дерева представлений на рисунку 2.

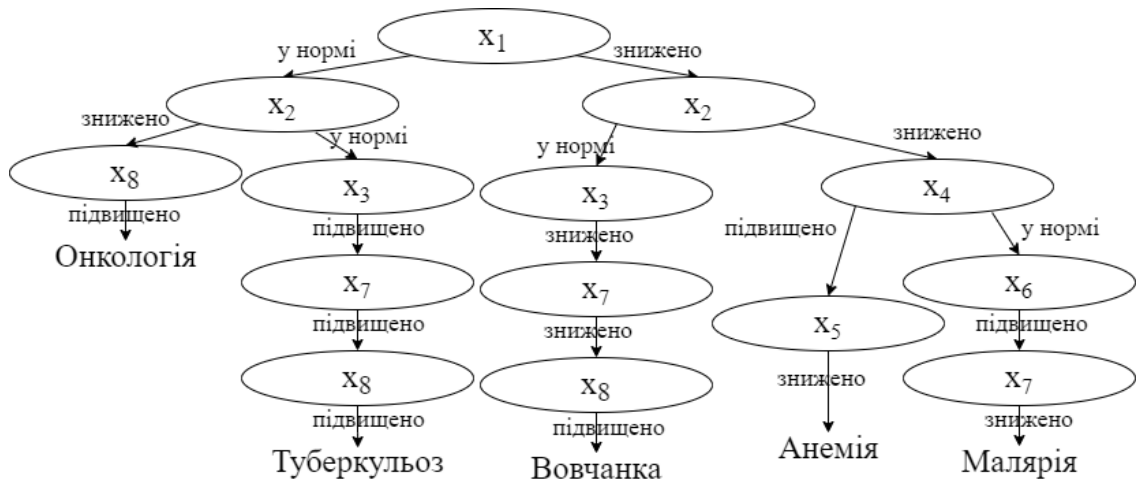


Рисунок 2 – Дерево прийняття рішень при постановці діагнозу за аналізом крові

Для бінарного дерева рішень на рисунку 2 множина правил буде мати наступний вигляд:

1. Якщо $x_1 = \text{знижено}$ та $x_2 = \text{знижено}$ та $x_4 = \text{знижено}$ та $x_5 = \text{знижено}$ то $y = \text{анемія}$.
2. Якщо $x_2 = \text{знижено}$ та $x_8 = \text{підвищено}$ то $y = \text{онкологія}$.

3. Якщо $x_3 =$ підвищено та $x_7 =$ підвищено та $x_8 =$ підвищено то $y =$ туберкульоз.
4. Якщо $x_1 =$ знижено та $x_2 =$ знижено та $x_6 =$ підвищено та $x_7 =$ знижено то $y =$ малярія.
5. Якщо $x_1 =$ знижено та $x_3 =$ знижено та $x_7 =$ знижено та $x_8 =$ підвищено то $y =$ системна червона вовчанка.

Де $x_1 - RBC$ – еритроцити, $x_2 - HGB$ – гемоглобін, $x_3 - WBC$ – лейкоцити, $x_4 - ЦП$ – колірний показник, $x_5 - HCT$ – гематокрит, $x_6 - RET$ – ретикулоцити, $x_7 - PLT$ – тромбоцити, $x_8 - ESR$ – ШОЕ, y – діагноз.

Усі знання були отримані від лікарів терапевтів в Обласній лікарні інтенсивного лікування та Маріупольської міської лікарні №9, а також від приватного лікаря невропатолога.

Моделювання і тестування бази знань проводилося на основі «Малої експертної системи». Це дозволило добитися задовільної точності в постановці діагнозу. На основі отриманої БЗ був розроблений прототип експертної системи. Його робота представлена на рисунку 3.

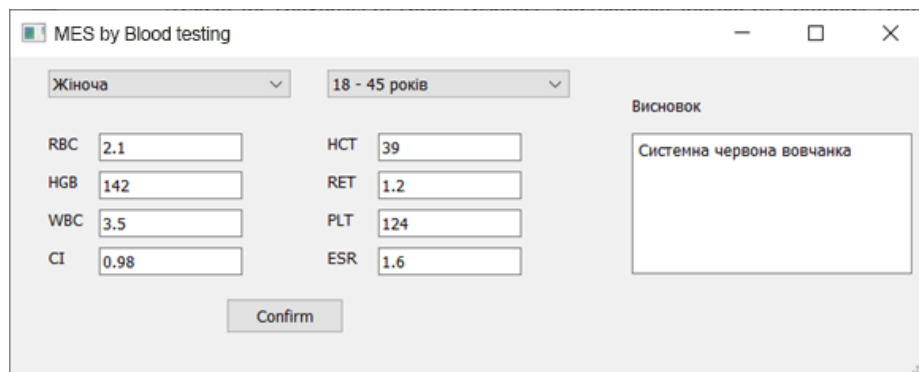


Рисунок 3 – Демонстрація роботи прототипу медичної експертної системи

Даний прототип був розроблений на мові програмування C++, використовуючи кросплатформовий інструментарій розробки програмного забезпечення Qt.

ВИСНОВКИ

У ході проведення дослідження було з'ясовано, що в даний час не існує інтелектуальної системи, яка могла б поставити діагноз за аналізом крові. Тому було прийнято рішення отримати і систематизувати знання лікарів-фахівців для розробки медичної експертної системи.

На основі отриманих знань була створена БЗ у вигляді правил продукції. Для візуалізації процесу постановки діагнозу було вибрано бінарне дерево рішень.

Підсумком роботи є прототип експертної системи визначення захворювання за аналізом крові. У майбутньому планується збільшення бази знань і додавання в систему нових клінічних досліджень для більш широкого використання ЕС.

Список використаних джерел:

1. Ayangbekun O. J. An Expert System for Diagnosis of Blood Disorder [Electronic resource] / O. J. Ayangbekun, A. I. Olatunde, F. O. Bankole // International Journal of Computer

Applications. – 2014. – Vol. 100, N 3. – P. 36–40. – Mode of access: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume100/number3/17509-8061>

2. Експертна система прогнозування стадії діабетичної ретинопатії на основі аналізу дисфункції тромбоцитів / А. С. Гудзь [та ін.] // Клінічна ендокринологія та ендокринна хірургія. – 2018. – № 2 (62). – С. 46–52.

3. Development of a Medical Expert System as an Expert Knowledge Sharing Tool on Diagnosis and Treatment of Hypertension [Electronic resource] / J. Gudu, D. Gichoya, P. Nyongesa, A. Mumbo // International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics. – 2012. – Vol. 2, N 5. – P. 297–300. – Mode of access: <http://www.ijbbb.org/papers/120-CB301.pdf>

4. Santosh Kumar Patra, P. An Expert System for Diagnosis of Human Diseases [Electronic resource] / P. Santosh Kumar Patra, Dipti Prava Sahu, Indrajit Mandal // International Journal of Computer Applications. – 2010. – Vol. 1, N 13. – P. 70–73. – Mode of access: <https://www.ijcaonline.org/journal/number13/pxc387439.pdf>

5. Hazem Awni Al Rekhawi Rickets Expert System Diagnoses and Treatment [Electronic resource] / Hazem Awni Al Rekhawi, Abdullah A. Ayyad, Samy S. Abu Naser // International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS). – 2017. – Vol. 1, N 4, June. – P. 149–159. – Mode of access: <http://dstore.alazhar.edu.ps/xmlui/bitstream/handle/123456789/373/IJEAIS170613.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

6. Dashti, Seyed M. S. An Expert System to Diagnose Spinal Disorders [Electronic resource] / Seyed M. S. Dashti, Seyedeh F. Dashti // The Open Bioinformatics Journal. – 2020. – Vol. 13. – P. 57–73. – Mode of access: <http://www.openbioinformaticsjournal.com/contents/volumes/V13/TOBIOJ-13-57/TOBIOJ-13-57.pdf>

7. Expert System for Problems of Teeth and Gums [Electronic resource] / Mahmoud J. Abu Ghali, Mohammed N. Mukhaimer, Mohammed K. Abu Yousef, Samy S. Abu Naser // International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS). – 2017. – Vol. 1, N 4, June. – P. 198–206. – Mode of access: <http://dstore.alazhar.edu.ps/xmlui/bitstream/handle/123456789/375/IJEAIS170616.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

8. Мельникова, Н. І. Особливості проектування систем підтримки лікувальних рішень / Н. І. Мельникова, К. В. Стебліна // Математичні машини і системи. – 2014. – № 1. – С. 92–100.

Федосова І. В., Сметанникова Е. А.

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЯ ПО АНАЛИЗУ КРОВИ

Использование интеллектуальных информационных систем (ИИС) в сфере охраны здоровья становится все более актуальным. С их помощью можно систематизировать знания специалистов, чтобы в дальнейшем использовать их для помощи в принятии решений в сложных задачах или опасных ситуациях. Проблема медицины заключается в том, что, чаще всего, данные для постановки диагноза представлены запутанными клиническими показаниями. Поэтому использование ИИС становится необходимым, ведь от скорости реакции врача зависит жизнь и здоровье пациента, а системы помогут ему быстрее и уверенней поставить верный диагноз или подтолкнуть его в верном направлении.

В рамках данной работы были исследованы существующие экспертные системы в медицинской отрасли. В настоящее время ЭС помогают врачам-специалистам диагностировать заболевания соединительных тканей, депрессивные состояния,

заболевания глаз, инфекционные заболевания, легочных заболеваний и пр. Но ни одна из них не помогает экспертам в постановке диагноза по анализу крови. Это помогло бы сэкономить много времени молодым врачам и помочь им в обучении.

Данная статья посвящена разработке медицинской экспертной системы (МЭС), которая будет ставить предварительный диагноз, основываясь на анализе крови. В ходе исследования были изучены разные архитектуры экспертных систем и методологии представления знаний. Для реализации МЭС была выбрана статическая структура ЭС, а для моделирования базы знаний (БЗ) использовались продукционные правила и бинарное дерево решений. Правила составлялись на основе систематизации знаний полученных от врачей города Мариуполя. Разработка БЗ проводилась с использованием "Малой экспертной системы", после чего был реализован прототип экспертной системы на языке программирования C++.

Ключевые слова: медицинская экспертная система, база знаний, анализ крови, диагноз, дерево решений, продукционные правила.

Fedosova I. V., Smetannikova Y. A.

EXPERT SYSTEM FOR DETERMINATION OF DISEASE BY BLOOD ANALYSIS

The use of intelligent information systems (IIS) in health care is becoming more and more relevant. With their help, it is possible to systematize the knowledge of specialists in order to further use it to help in making decisions in difficult tasks or dangerous situations. The problem with medicine is that, most often, the data for making a diagnosis are presented with confusing clinical indications. Therefore, the use of IIS becomes necessary, because the patient's life and health depend on the speed of the doctor's reaction, and the systems will help him to make the correct diagnosis faster and more confidently or to push him in the right direction.

As part of this work, the existing expert systems in the medical industry were investigated. Currently, ES help specialist doctors diagnose connective tissue diseases, depressive conditions, eye diseases, infectious diseases, pulmonary diseases, etc. But none of them helps experts in making a diagnosis based on blood tests. This would save a lot of time for young doctors and help them learn.

This article is devoted to the development of a medical expert system (MES), which will make a preliminary diagnosis based on a blood test. In the course of the study, various architectures of expert systems and methodologies of knowledge representation were studied. For the implementation of the MES, a static structure of the ES was chosen, and for modeling the knowledge base (KB), production rules and a binary decision tree were used. The rules were drawn up on the basis of the systematization of knowledge received from the doctors of the city of Mariupol. The knowledge base was developed using the "Small Expert System", after which a prototype of the expert system was implemented in the C++ programming language.

Keywords: medical expert system, knowledge base, blood test, diagnosis, decision tree, production rules.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С. С.

Стаття надійшла 11.11.2019 р.

УДК 669.162.23:004:658.011.56

Койфман О. О., Горобченко М. О., Клімов Є. Г., Доля Д. Т.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ АРХІВНОЇ БАЗИ ДАНИХ АСУТП В УПРАВЛІННІ БЛОКОМ ДОМЕННИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ

Огляд наукових публікацій за останні кілька десятиліть, що стосуються автоматизації роботи доменних повітрянагрівачів, показує, що однією з основних тенденцій у розвитку систем управління є використання інтелектуального аналізу даних з метою виявлення нових залежностей між технологічними параметрами.

Більшість блоків повітрянагрівачів обладнані системами автоматичного управління, в яких значення технологічних параметрів записуються в поточну базу даних, а далі - в архівну, що дає можливість для вивчення стану повітрянагрівача під час зміни режимів його роботи.

При управлінні нагріванням насадки повітрянагрівача не враховується його тепловий стан при різній тривалості перемикання і втрати тепла в навколишнє середовище.

Розроблено програму для вилучення з архівної бази даних значень параметрів технологічного процесу нагріву доменного дуття про стан повітрянагрівача під час перемикань. Зроблено аналіз зміни температури куполу і низу насадки під час перемикання повітрянагрівача і вплив перемикань на температуру дуття. Перемикання з дуття на нагрів мають однаковий характер для всіх повітрянагрівачів блоку, тривають в середньому 5 хв, при цьому температура куполу знижується на 15 - 20 °С. Перемикання з нагріву на дуття мають однаковий характер, при цьому для двох повітрянагрівачів тривають 8 хв, а для одного - 14 хв, температура куполу знижується на 20 - 25 °С.

Розроблено програму розрахунку втрат теплоти під час перемикання повітрянагрівачів з режиму на режим.

Запропоновано структуру системи автоматичного керування нагріванням доменного дуття з використанням підсистеми інтелектуального аналізу даних, яка на підставі поточної технологічної інформації відстежує зміну режимів роботи повітрянагрівачів, аналізує стан повітрянагрівачів під час перемикань, порівнює з архівною інформацією та вносить коригування в режими роботи блоку повітрянагрівачів.

Ключові слова: *Інтелектуальний аналіз даних, повітрянагрівач, перемикання, втрати тепла, алгоритм, система автоматизації, програма.*

Постановка проблеми.

Рівний хід доменної плавки в великій мірі залежить від стабільних температури і тиску доменного дуття. Стабілізація тиску і витрати дуття забезпечується на турбоповітродувних установках. Нагрівання ж дуття проводиться в блоці повітрянагрівачів, при цьому коливання температури дуття залежить від моменту і тривалості перемикання доменних повітрянагрівачів з режиму нагріву насадки на режим нагріву дуття і навпаки.

У свою чергу скорочення тривалості перемикань дозволяє підвищити температуру дуття і знизити втрати теплоти з повітрянагрівача в навколишнє середовище.

При регулюванні нагріву насадки повітрянагрівача не враховуються його тепловий стан при різній тривалості перемикання і втрати тепла в навколишнє середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Для нагріву гарячого дуття, що подається в доменну піч, застосовується блок повітрянагрівачів, що складається з 3-4 регенераторів, що працюють в наступних технологічних режимах: нагрів насадки, нагрів дуття, відділення та тяга. У зв'язку з тим, що регенератори представляють собою агрегати періодичної дії, перемикання з режиму на режим може тривати 15-20 хв і безпосередньо впливає на температуру дуття. У той же час скорочення часу перемикання дозволяє підвищити температуру гарячого дуття на 10-25 ° С [1, 2].

Огляд наукових публікацій за останні кілька десятиліть [3], що стосується автоматизації роботи доменних повітрянагрівачів, показує, що однією з основних тенденцій у розвитку систем управління є використання інтелектуального аналізу даних з метою виявлення нових залежностей між технологічними параметрами.

Пропонується безліч підходів для оптимізації режимів роботи блоку повітрянагрівачів з метою підвищення температури гарячого дуття [4-6], але не акцентується увага на дослідженні стану насадки під час перемикань: як змінюються температура купола і піднасадочного пристрою, які втрати теплоти?

Більшість блоків повітрянагрівачів оснащені системами автоматичного регулювання температури купола, співвідношення «паливо-повітря», стабілізації температури гарячого дуття [7], але в більшості випадків перемикання режимів проводиться газівниками дистанційно за допомогою відповідних перемикачів на пульті управління. Також значення технологічних параметрів записуються в поточну базу даних, а далі - в архівну, що дає можливість для вивчення стану повітрянагрівача під час зміни режимів його роботи.

Мета дослідження.

Застосування інтелектуального аналізу архівної інформації про стан повітрянагрівача в періоди його перемикання з режиму на режим на підставі інтелектуального аналізу архівної бази даних, що містить значення температури купола, температури відхідних з насадки продуктів згоряння, температури гарячого дуття, режимів роботи повітрянагрівача, в системах автоматичного управління повітрянагрівачами.

Основний матеріал дослідження.

Для дослідження стану повітрянагрівачів авторами були розширені можливості раніше розробленого програмного забезпечення, призначеного для обробки архівної бази даних системи автоматичного управління блоком доменних повітрянагрівачів [8].

Значення основних технологічних параметрів повітрянагрівачів вилучаються з архівних баз даних автоматизованої системи управління. Програма (рис. 1) має можливість працювати з двома типами баз даних формату .dbf. У файл першого типу за добу кожні 10 секунд записується 175 значень технологічних параметрів чотирьох повітрянагрівачів блоку. У одному файлі подано понад 1,5 мільйона записів. Дані зберігаються у доволі незручному вигляді – в стовпчик. Файл другого типу, так звана «широка база», має вже декілька десятків стовпчиків з даними, що значною мірою спрощує роботу з ним, але період запису даних – 20 секунд.

Складність обробки інформації полягає в тому, що в базах даних різного типу через недосконалість контрольно-вимірювальних приладів, встановлених на повітрянагрівачі, за один і той самий проміжок часу наявні не всі параметри, а інші параметри записуються з періодом, який не співпадає з періодом запису в іншій базі даних, тому для обробки настільки великого та складного за сприйняттям об'єму інформації було вирішено створити

спеціалізований програмний засіб, який повинен відкривати обидві бази даних, вилучати з них необхідні дані, екстраполювати значення записів з однієї бази даних для синхронізації проміжків часу із записами іншої бази даних, у результаті на основі отриманого масиву даних можна судити про параметри та режим роботи повітрянагрівача (рис. 1).

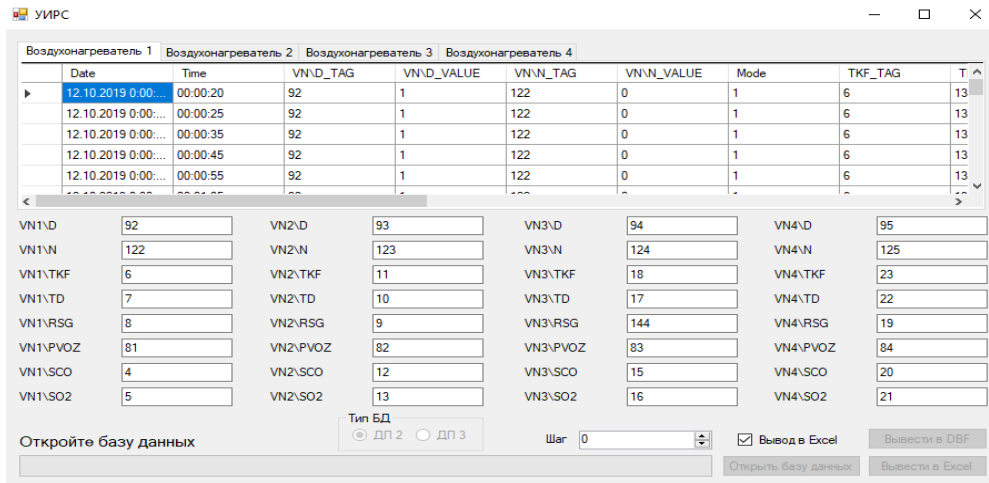


Рисунок 1 – Розроблене програмне забезпечення

Реалізацію програми було вирішено виконувати в сучасному середовищі програмування IDE MS Visual Studio 2019 на об'єктно-орієнтованій мові програмування C# (C Sharp), яка доволі проста, але з великою кількістю зручних можливостей та розширень для найрізноманітніших задач. Програма підключається до каталогу, у якому зберігаються файли бази даних, вилучає з неї потрібну інформацію та подає її в зручному для сприйняття вигляді в нову за структурою базу даних або у файл формату MS Excel для подальшої статистичної обробки.

При розробці програми в якості провайдера для підключення до бази даних та вилучення з неї необхідних записів було використано систему управління базами даних Microsoft Visual FoxPro - середу розробки систем баз даних, яка включає об'єктно-орієнтовані реляційну СУБД та мову програмування для розробки додатків баз даних і систему побудови звітів [9].

Для створення файлу Excel та виведення у нього результатів обробки баз даних було використано ClosedXML – бібліотеку для читання, обробки та запису файлів Excel [10]. Вона має величезний набір потужних функцій для створення та обробки файлів Excel, тому з її допомогою робота з файлами через код програми майже не відрізняється від роботи у програмі Microsoft Excel.

За закладеним в програму алгоритмом інформація з бази даних розподіляється по файлах формату .xlsx, кожен з яких містить інформацію про повітрянагрівачі блоку, відповідну режиму нагріву насадки, режиму нагріву дуття і перемикання з режиму на режим. В якості досліджуваних параметрів, що характеризують тепловий стан насадки повітрянагрівача, були обрані значення температури купола і піднасадочного пристрою, а також, температура гарячого дуття. На рис. 2 представлені графіки зміни температури купола повітрянагрівача № 1 в період перемикання з режиму дуття на нагрів (рис. 1, а, в) і з режиму нагрів на дуття (рис. 1, б, г).

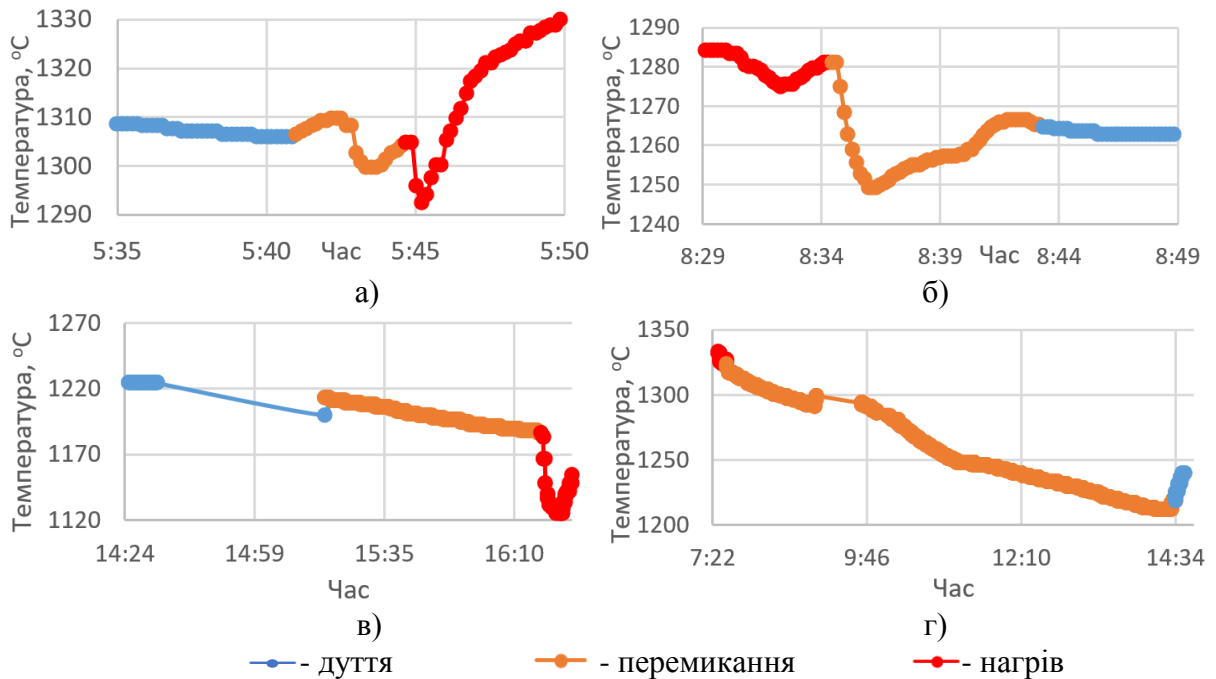


Рисунок 2 – Зміна температури куполу в періоди перемикання з дугтя на нагрів (а, в) і перемикання з нагріву на дугтя (б, г)

При обробці бази даних була виявлена складність в точній ідентифікації перемикань: крім типових перемикань (рис. 2, а, б), які відповідають правильній послідовності дій газівника при перемиканні, присутні нетипові перемикання (рис. 2, в, г). Наприклад, спостерігається відсутність записів значень температури куполу в базу даних протягом 50 хв (рис. 2, в), або знаходження повітрянагрівача в режимі відділення (рис. 2, в і г).

Аналіз декількох місяців роботи блоку з трьох повітрянагрівачів дозволив визначити наступне: перемикання з дугтя на нагрів мають однаковий характер для всіх повітрянагрівачів блоку, тривають в середньому 5 хв, при цьому температура купола знижується на 15 - 20 °С; перемикання з нагріву на дугтя мають однаковий характер, для двох повітрянагрівачів тривають 8 хв, а для одного - 14 хв, температура купола знижується на 20 - 25 °С; - при перемиканні температура дугтя коливається в межах 30-40 °С, в рідкісних випадках - до 50 °С.

Особливий інтерес представляє вплив перемикань режимів роботи повітрянагрівачів на температуру гарячого дугтя (рис. 3).

Досліджуваний блок (рис. 3) з чотирьох повітрянагрівачів перед перемиканнями знаходився в паралельному режимі роботи [11]: ПН1 і ПН4 працювали в режимі нагріву насадки, ПН2 і ПН3 - в режимі нагріву дугтя.

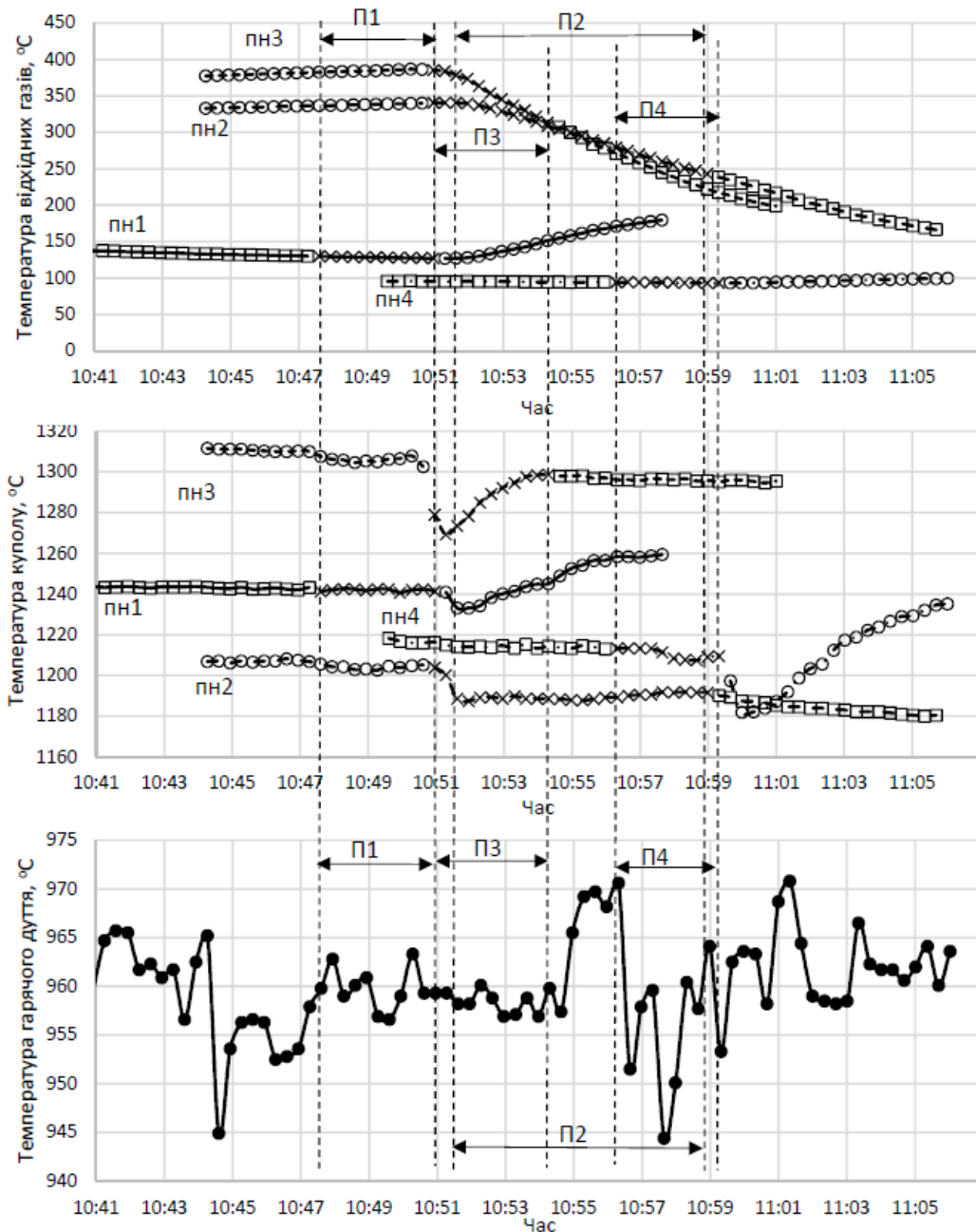


Рисунок 3 – Вплив перемикачів повітрянагрівачів на температуру гарячого дуття:
 —○— - ПН1 Нагрів; —×— - ПН1 Перемикання; —□— - ПН1 Дуття; --□-- - ПН2 Дуття; --×-- - ПН2 Перемикання; --○-- - ПН2 Нагрів;□..... - ПН3 Дуття;×..... - ПН3 Перемикання;○..... - ПН3 Нагрів; П1 - перемикання ПН1 з дуття на нагрів, П2 - перемикання ПН2 з нагріву на дуття, П3 - перемикання ПН3 з нагріву на дуття, П4 - перемикання ПН4 з дуття на нагрів

Розглянемо більш детально послідовність перемикачів (рис. 3):

- першим перемикається ПН1 в режим нагріву насадки - коливаний температури дуття не спостерігається;

- далі перемикаються ПН2 і ПН3 в режим нагріву дуття - спостерігається різкий стрибок температури дуття тривалістю 2 хв;
- останнім перемикається ПН4 на режим нагріву насадки - при цьому спостерігається різке падіння температури дуття на 35 °С;
- після закінчення перемикань спостерігається стабілізація температури гарячого дуття.

Стабілізація температури дуття під час перемикань є однією з найважливіших задач в автоматизації доменного виробництва на сьогоднішній день, тому що коливання температури дуття негативно впливають на хід доменної плавки [12], отже, інформація про характер коливання температури гарячого дуття повинна передаватися в систему автоматичного регулювання.

У той же час на підставі архівних даних визначалися втрати теплоти насадки і куполу в навколишнє середовище під час перемикань повітрянагрівачів (рис. 4) з використанням розробленого алгоритму [13]. Теплові втрати обчислюються через рівняння теплопередачі для багатошарових стінок циліндричної форми (стінки повітрянагрівачів) і кулястої (купол повітрянагрівача).

Програма розрахунку втрат теплоти ПН у навколишнє середовище

Циліндричні поверхні ПН		Купол ПН	
Час перемикання, с	600	Час перемикання, с	600
Висота циліндричної частини, м	40	Діаметр куполу, м	10,468
Зовнішній D циліндричної частини, м	10,468	Товщина кожуху, мм	65
Товщина кожуху, мм	65	Товщина футеровки (шамоту), мм	1019
Товщина футеровки (шамоту), мм	1019	T° куполу, °C	1350
Товщина насадки, мм	1000	T° навколишнього середовища, °C	20
T° верху насадки, °C	1350	Тепловіддача a1, Вт/(м²К)	10
T° низу насадки, °C	400	Теплопередача футеровки b2, Вт/(м²К)	0,04
T° навколишнього середовища, °C	20	Теплопередача кожуху b3, Вт/(м²К)	47
Тепловіддача a1, Вт/(м²К)	12		
Теплопередача насадки b1, Вт/(м²К)	0,04		
Теплопередача футеровки b2, Вт/(м²К)	0,04		
Теплопередача кожуху b3, Вт/(м²К)	47		
<input type="button" value="Розрахувати"/>		<input type="button" value="Розрахувати"/>	
Втрати теплоти, МДж		Втрати теплоти, МДж	
185,935712		4,20893	

Рисунок 4 – Програма розрахунку втрат при перемиканні

На підставі інформації (температури куполу і газів, що відходять, температури гарячого дуття, положеннях клапанів), отриманої з архівної бази даних, і результатів проведених досліджень авторами пропонується нова структура системи автоматичного управління повітрянагрівачами на базі підсистеми інтелектуального аналізу даних (рис. 5).

Поточні значення температур куполу (T_1), димових газів (T_2) і гарячого дуття (T_3), витрати (F) і тиску змішаного газу (P_1), тиск повітря горіння (P_2), інформація про положення клапанів зі схеми управління клапанами контролюються в локальній системі автоматичного регулювання (ЛСАР) і записуються в поточну і архівну бази даних.

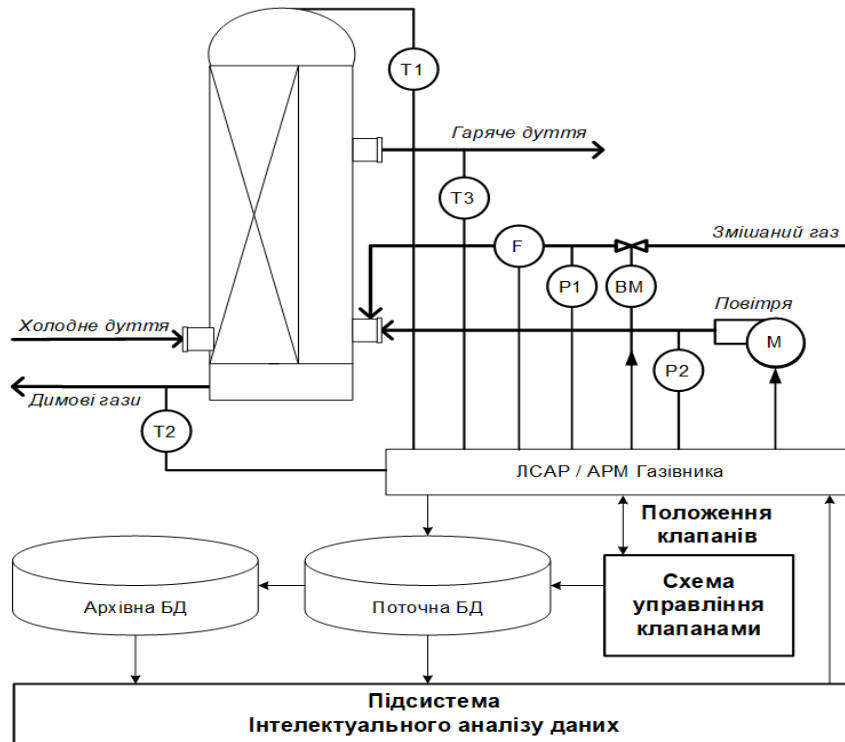


Рисунок 5 – Структура локальної системи автоматичного управління нагріву насадки доменного повітрянагрівача на базі підсистеми інтелектуального аналізу даних

Підсистема інтелектуального аналізу даних на підставі поточної технологічної інформації відстежує зміну режимів роботи повітрянагрівачів, аналізує стан повітрянагрівачів під час перемикань, порівнює з архівною інформацією та вносить коригування в режими роботи блоку повітрянагрівачів.

При виявленні збільшення тривалості перемикання повітрянагрівача на режим нагріву насадки (зниження температури купола і збільшення втрат теплоти в навколишнє середовище), що тягне за собою збільшення тривалості нагрівання, підсистемою інтелектуального аналізу даних в систему ЛСАР буде видано коригування заданої витрати змішаного газу, яка забезпечить досягнення заданої тривалості нагріву.

При наявності математичної моделі в системі управління на підставі інформації про перемикання та використання інтелектуального аналізу тривалості періодів нагріву насадки та нагріву дуття [14] з'являється можливість коригувати режимну карту блоку повітрянагрівачів за заданий проміжок часу роботи блоку повітрянагрівачів.

ВИСНОВКИ

Розроблено програму для вилучення необхідної інформації з архівної бази даних значень параметрів технологічного процесу нагріву доменного дуття.

Зроблено аналіз зміни температури купола і низу насадки під час перемикання повітрянагрівача з режиму на режим і вплив перемикачів на температуру дуття.

Розроблено програму розрахунку втрат теплоти під час перемикання повітрянагрівачів з режиму на режим.

Запропоновано структуру системи автоматичного керування нагріванням доменного дуття з використанням підсистеми інтелектуального аналізу даних.

Інтелектуальний аналіз бази даних, що містить поточну і архівну інформацію про технологічний процес нагрівання доменного дуття, можна використовувати в системах автоматичного регулювання. Наприклад, за отриманими характеристиками перемикачів можна вносити коригування в карту перемикачів; передавати отриману інформацію в математичні моделі в якості уточнених початкових значень для моделювання.

Перелік використаних джерел:

1. Койфман, О. О. Огляд сучасних систем управління блоком доменних повітрянагрівачів [Електронний ресурс] / О. О. Койфман, М. О. Горобченко, О. І. Сімкін // Перспективи розвитку сучасної науки і техніки : зб. тез доп. Всеукр. інтернет-конференції (Маріуполь, 20–21 лютого 2020 р.) / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – С. 16–19. – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/25262>

2. Грес, Л. П. Оптимизация периодов работы воздухонагревателей доменных печей / Л. П. Грес, А. Е. Миленина, Ю. М. Флейшман // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – 2008. – № 3Е (14). – С. 40–42.

3. Исследование влияния длительности паузы и периодов работы доменных воздухонагревателей на эффективность нагрева дутья / Л. П. Грес, Т. В. Самойленко, Ю. М. Флейшман, Н. И. Щурова // Металургійна теплотехніка : зб. наук праць / Нац. металургійна академія України. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 118–128.

4. Тепловой расчет доменных воздухонагревателей для различных режимов их работы. Сообщ. 1 / В. М. Малкин, Б. Б. Вегнер, Ф. Р. Шкляр, В. Л. Советкин // Известия вузов. Черная металлургия. – 1982. – № 2. С. 94–96.

5. Соломенцев, С. Л. Рациональные типы насадок и доменных воздухонагревателей / С. Л. Соломенцев. – Липецк : ЛГТУ, 2001. – 432 с.

6. Койфман, А. А. Особенности определения параметров блока воздухонагревателей с нагревом насадки под давлением / А. А. Койфман, А. И. Симкин // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2015. – Вип. 31. – С. 192–202. – (Серія : Технічні науки).

7. Глинков, Г. М. АСУТП в черной металлургии: учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / Г. М. Глинков, М. А. Маковский. – М. : Металлургия, 1999. – 310 с.

8. Клімов, Є. Обробка архівної бази даних системи автоматичного управління [Електронний ресурс] / Є. Клімов // Наука – перші кроки : тези доп. XIV регіон. студент. наук.-техн. конф. (Маріуполь, 21–24 квітня 2020 р.) : в 4 т. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – Т. 1. – С. 235–236. Режим доступу : <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/28962>

9. Microsoft Visual FoxPro (VFP) [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_FoxPro
10. ClosedXML [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/ClosedXML/ClosedXML>
11. Доменные воздухонагреватели / Ф. Р. Шкляр [и др.]. – М. : Metallurgiya, 1982. – 176 с.
12. Товаровский, И. Г. Доменная плавка. Эволюция, ход процессов, проблемы и перспективы / И. Г. Товаровский. – Днепропетровск: Пороги, 2003. – 596 с.
13. Комп'ютерна програма «Розрахунок втрат теплоти доменного повітря нагрівача у навколишнє середовище під час перемикання з режиму на режим» / О. О. Койфман, Д. Т. Доля. – Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 95897 від 07.02. 2020; заявл. 97409 от 04.02.2020, опубл. 31.03.2020, Бюл. № 57.
14. Koifman, A. Development and Software Implementation of the Hot Blast Stove Computer Model / A. \ Koifman, A. Simkin [Electronic resource] // Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020) : Proceedings of the Third International Workshop (Zaporizhzhia, April 27 – May 1, 2020 y.). – Zaporizhzhia, 2020. – Vol. I–2608. – P. 102–117. – Mode of access: <http://ceur-ws.org/Vol-2608/paper9.pdf>

Койфман А. А., Горобченко М. А., Климов Е. Г., Доля Д. Т.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА АРХИВНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ АСУТП В УПРАВЛЕНИИ БЛОКОМ ДОМЕННЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Обзор научных публикаций за последние несколько десятилетий, касающийся автоматизации работы доменных воздухонагревателей, показывает, что одной из основных тенденций в развитии систем управления является использование интеллектуального анализа данных с целью выявления новых зависимостей между технологическими параметрами.

Большинство блоков воздухонагревателей оснащены системами автоматического управления, в которых значения технологических параметров записываются в текущую базу данных, а далее – в архивную, что дает возможность для изучения состояния воздухонагревателя во время изменения режимов его работы.

При управлении нагревом насадки воздухонагревателя не учитывается его состояние при различных продолжительностях переключений между режимами и потери тепла в окружающую среду.

Разработана программа для извлечения информации из архивной базы данных значений параметров технологического процесса нагрева доменного дутья о состоянии воздухонагревателя во время переключений. Произведен анализ изменения температуры купола и низа насадки во время переключения и их влияние на температуру дутья. Переключения с дутья на нагрев имеют одинаковый характер для всех воздухонагревателей блока, продолжаются в среднем 5 мин, при этом температура купола снижается на 15 – 20 °С. Переключения с нагрева на дутье имеют одинаковый характер, при этом для двух воздухонагревателей длятся 8 мин, а для одного – 14 мин, температура купола снижается на 20 - 25 °С.

Разработана программа расчета потерь теплоты во время переключения воздухонагревателей с режима на режим.

Предложена структура системы автоматического управления нагревом доменного дутья с использованием подсистемы интеллектуального анализа данных, которая на основании текущей технологической информации отслеживает изменение режимов работы воздухонагревателя, анализирует состояние воздухонагревателей во время переключений, сравнивает с архивной информацией и вносит корректировки в режимы работы блока воздухонагревателей.

Ключевые слова: *Интеллектуальный анализ данных, воздухонагреватель, переключения, потери тепла, алгоритм, система автоматизации, программа.*

Koysman O. O., Horobchenko M. O., Klimov Ye. G., Dolya D. T.

APPLICATION OF THE ACS ARCHIVE DATABASE MINING IN MANAGING OF A HOT BLAST STOVES BLOCK

A review of scientific publications over the past few decades concerning the automation of the operation of hot-blast stoves shows that one of the main trends in the development of control systems is the use of data mining in order to identify new dependencies between technological parameters.

Most of the hot-blast stoves blocks are equipped with automatic control systems, in which the values of technological parameters are recorded in the current database, and then in the archive, which makes it possible to study the state of the hot-blast stove during changes in its operating modes.

In controlling the heating of the hot-blast stove checkerwork, its state is not taken into account at various durations of switching between modes and heat losses to the environment.

A program has been developed to retrieve information from the archive database about the state of the hot-blast stove during the switching. The analysis of the change in the temperature of the dome and the bottom of the checkerwork during the switching and their influence on the blast temperature has been carried out. The shifts from the on-gas mode to on-blast mode have the same nature for all hot-blast stoves of the block, and last 5 minutes on average, while the dome temperature decreases by 15-20°C. The shifts from the on-blast mode to on-gas mode have the same nature, and last 8 minutes for two hot-blast stoves, and 14 minutes for one, the dome temperature decreases by 20-25 °C.

A program for calculating heat losses during the switching of the hot-blast stoves from one mode to another mode has been developed.

The structure of the automatic control system for the blast-furnace air heating using a data mining subsystem has been proposed, which, based on the current technological information, monitors the change in the operating modes of the hot-blast stove, analyzes the state of the hot-blast stoves during the switching, compares it with the archived information and makes adjustments to the operating modes of the hot-blast stoves block.

Keywords: *Data mining, hot-blast stove, switching, heat losses, algorithm, automatic control systems, program.*

Рецензент: доц., канд. техн. наук, Черевко О. О.

Стаття надійшла 29.11.2020 р.

УДК 669.162.23:662.6

Койфман О. О., Орехов М. В., Солдатов Д. В., Будур В. С., Голоядов А. В.

УПРАВЛІННЯ НАГРІВАННЯМ НАСАДКИ ДОМЕННОГО ПОВІТРОНАГРІВАЧА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ ГОРІННЯ ПАЛИВА

Проведено огляд розрахунків температури горіння газоподібного палива. Для розрахунку часто використовуються спрощені методики, в яких не враховуються залежності теплофізичних властивостей складових газу від температури і тиску, визначення значень яких в більшості випадків зводиться до середніх значень теплоємності та ентальпії, використання номограм або табличних значень при нормальних умовах.

На підставі табличних значень теплофізичних властивостей компонентів газоподібного палива, представлених в довідниках, і застосовуючи методи нелінійної багатопараметричної регресії отримані залежності ентальпії і теплоємності від температури і тиску для кисню, азоту, водню, чадного газу, метану, монооксиду вуглецю.

Авторами розроблена програма розрахунку температури горіння природно-коксодоменної суміші, в якій значення ентальпії і теплоємності газів визначаються на підставі отриманих залежностей.

Дослідження даних вимірювань показали, що калорійність доменного газу за 24 години може змінюватися на 10-25 %, в окремих випадках - до 40 %, що призводить до коливання температури горіння газу до 100 °С.

На вітчизняних металургійних комбінатах не застосовується автоматичний контроль калорійності доменного газу в зв'язку з дорожнечою газоаналітичного обладнання. При цьому застосування розробленого програмного забезпечення та періодичних вимірів калорійності в системах автоматичного управління дозволить підвищити якість регулювання температури купола за рахунок своєчасної корекції калорійності змішаного газу, і витрат змішаного газу і повітря.

Запропоновано структуру системи автоматичного керування температурою купола з можливістю регулювання калорійності змішаного газу з використанням запропонованої програми розрахунку горіння суміші газів.

Ключові слова: Багатопараметрична апроксимація, теплофізичні властивості, алгоритм, система автоматизації, програма, температура горіння, змішаний газ.

Постановка проблеми.

Нагрівання гарячого дуття, що надходить в доменну піч, і стабілізація його температури здійснюються в блоці повітронагрівачів. При цьому основним завданням системи автоматичного управління є оптимальний нагрів насадки повітронагрівача, який здійснюється за рахунок спалювання газоподібного палива.

Якість нагріву гарячого дуття залежить від ефективного спалювання палива (доменного газу або суміші доменного та природного газів) в пальнику повітронагрівача при нагріванні його насадки.

Температура горіння палива залежить від безлічі факторів, зокрема калорійності горючої суміші, температури і тиску палива і повітря, що йдуть на горіння, надлишку повітря та інших параметрів, які не враховуються при регулюванні температури купола.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У типовій автоматизованій системі управління регулювання температури купола повітрянагрівача здійснюється за рахунок зміни витрат змішаного паливного газу і повітря горіння [1]. У більшості випадків в процесі тривалої експлуатації блоку співвідношення «паливо-повітря» не коригується і залишається постійним. У той же час температура купола залежить від теплотворної здатності змішаного газу, основним компонентом якого є доменний газ. Аналіз калорійності доменного газу за тривалий проміжок часу показав, що вона може коливатися, протягом доби в межах 10-25 %, що обумовлено технологією доменної плавки.

У нагрівальних печах застосовуються системи регулювання горіння палива з корекцією за складом газів, що відходять [2]. Недоліком таких систем є установка газоаналізаторів в димових трактах, які часто мають нещільності, що ведуть до підмішуванню повітря в димові гази. У будь-якому випадку, застосування таких систем на повітрянагрівачах неможливо, тому що димової тракт загальний для всіх повітрянагрівачів блоку.

Для розрахунку температури горіння газоподібного палива використовуються спрощені методики, в яких не враховуються залежності теплофізичних властивостей складових газу від температури і тиску, визначення значень яких в більшості випадків зводиться до середніх значень теплоємності та ентальпії [3], використання номограм [4] або табличних значень при нормальних умовах [5].

Зміна температури і тиску компонентів газу тягне за собою зміну температури горіння палива, наприклад, їх збільшення призводить до зростання температури [6].

Авторами [7] розроблена методика і програма розрахунку горіння палива з заданим хімічним складом з урахуванням конструктивних особливостей камер згорання газотурбінних двигунів. При розрахунку температури горіння газів враховується вплив дисоціації продуктів згорання від температури і тиску у вигляді залежностей, представлених поліномами 4-го ступеню.

Пропонується спрощена методика визначення розрахунку температури горіння вуглеводневого газоподібного палива з наперед відомими середніми значеннями ентальпії складових палива і продуктів згорання [8].

У статті [9] розроблена методика і прикладна програма для дослідження впливу збагачення киснем повітря горіння на температуру горіння палива і обсяг продуктів згорання.

Мета дослідження.

Розробка розрахунку горіння палива з урахуванням залежності теплофізичних властивостей компонентів газів від їх початкових температури і тиску і обґрунтування його використання в системі управління нагріванням насадки доменного повітрянагрівача.

Основний матеріал дослідження.

На підставі табличних значень теплофізичних властивостей компонентів газоподібного палива, представлених в довідниках [10-12], і застосовуючи методи нелінійної багатопараметричної регресії отримані залежності параметрів газів (CH_4 , C_2H_6 , CO , H_2 , CO_2 , H_2O , N_2 , O_2) от температури та тиску [13], наприклад:

1. Теплоємність метану CH_4 при тиску $P = 0,5 \div 2,0$ б а р і температурі

$T = 280 \div 1000$ К (рис. 1):

$$C_p = 6,00 \cdot 10^{-3}P^2 + 1,48 \cdot 10^{-6}T^2 + 9,13 \cdot 10^{-4}P + 2,15 \cdot 10^{-3}T + 1,45$$

2. Ентальпія метану CH_4 при тиску $P = 0,5 \div 2,0$ бар і температурі $T = 280 \div 1000$ К (рис. 2):

$$i = 4,00 \cdot 10^{-2}P^2 + 2,05 \cdot 10^{-3}T^2 - 5,96 \cdot 10^{-2}P + 0,872T + 1190$$

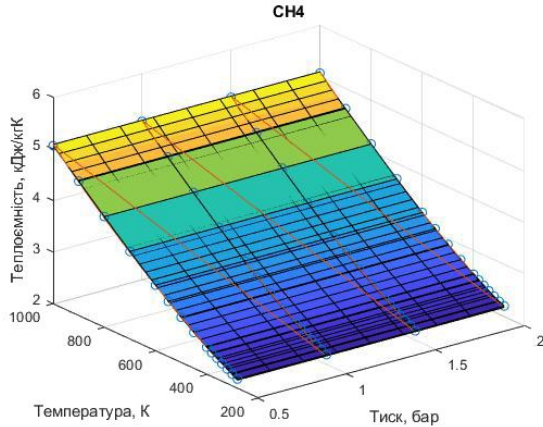
3. Теплоємність монооксиду вуглецю CO при тиску $P = 0,1 \div 10$, атм і температурі $T = 270 \div 1500$ К (рис. 3):

$$C_p = 1,59 \cdot 10^{-3}P + 2,03 \cdot 10^{-4}T - 1,55 \cdot 10^{-6}PT + 0,970$$

4. Ентальпія монооксиду вуглецю CO при тиску $P = 0,1 \div 10$, атм і температурі $T = 270 \div 1500$ К (рис. 4):

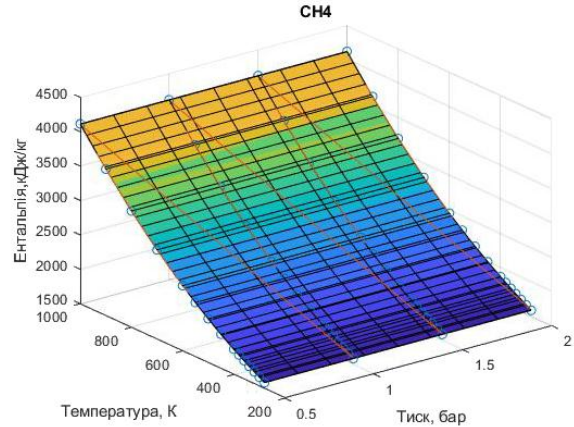
$$i = 6,39 \cdot 10^{-4}P^2 + 1,07 \cdot 10^{-4}T^2 - 0,059P + 0,965T + 12,2$$

Отримані залежності дозволяють визначати значення параметрів в різних діапазонах температури і тиску з достатньо високою точністю.



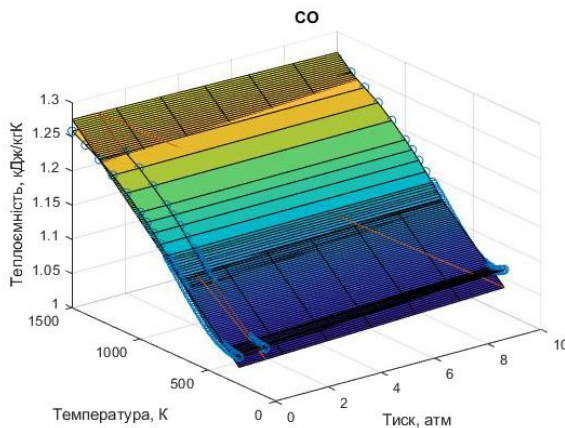
$$R^2 = 1$$

Рисунок 1 – Теплоємність метану CH_4



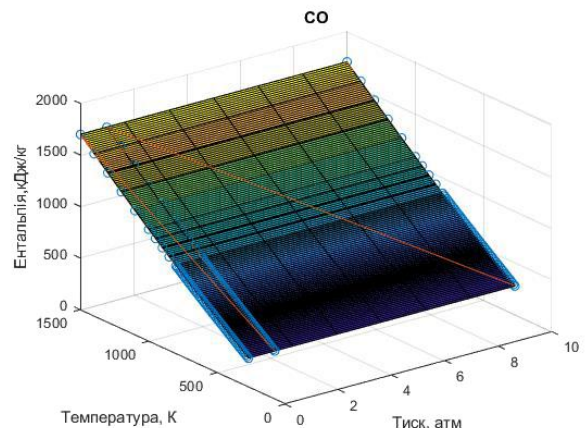
$$R^2 = 0,993$$

Рисунок 2 – Ентальпія метану CH_4



$$R^2 = 0,815$$

Рисунок 3 – Теплоємність монооксиду вуглецю CO



$$R^2 = 0,999$$

Рисунок 4 – Ентальпія монооксиду вуглецю CO

Авторами розроблена програма (рис. 5) розрахунку температури горіння природно-кокс-доменної суміші, в якій ентальпія і теплоємність газів визначаються на підставі отриманих раніше залежностей. Дану програму так само можна використовувати для розрахунку горіння доменної або природно-доменної суміші, використовуюваної для нагріву насадки повітрянагрівачів, в системі автоматичного регулювання нагріву насадки доменного повітрянагрівача.

В якості вихідних даних в програмі є: склади доменного, природного і коксового газів, вміст вологи кожного і процентне співвідношення в суміші, тиск і температура суміші, коефіцієнт надлишку повітря, кількість кисню в повітрі горіння. Порівняння результатів розрахунків температури горіння для природного, доменного і коксового газів окремо з результатами розрахунків довідника [14] показали високу точність збіжності.

На одному з металургійних комбінатів газовий аналіз доменного газу здійснюється хімічною лабораторією 6 разів на добу. Вивчення даних вимірювань показали, що калорійність доменного газу за 24 години може змінюватися на 10-25 % (рис. 6, а), в окремих випадках - до 40 %. Розрахована за допомогою розробленої програми температура горіння доменного газу коливається в межах 40-60 °С протягом доби (рис. 6, б). Така зміна температури вимагає коригувань заданих значень в автоматизованій системі управління повітрянагрівачем при регулюванні температури купола.

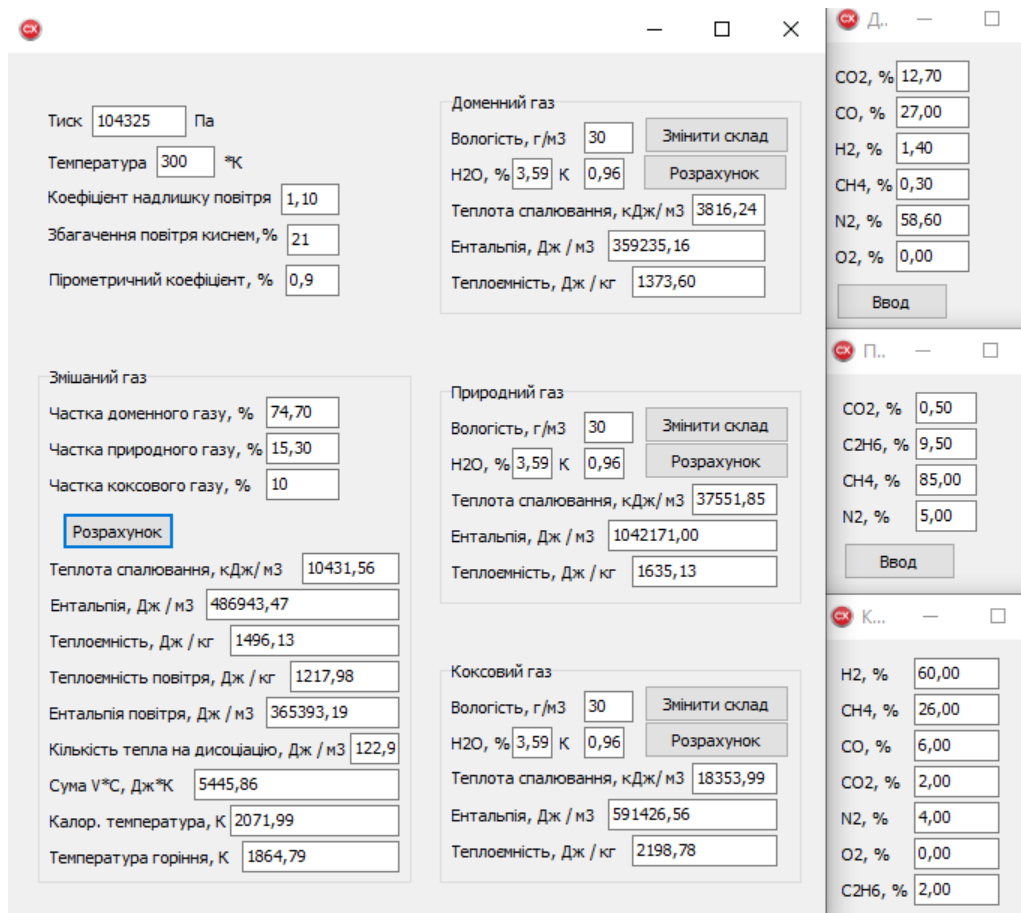


Рисунок 5 – Програма розрахунку температури горіння змішаного газу

Інформаційні технології

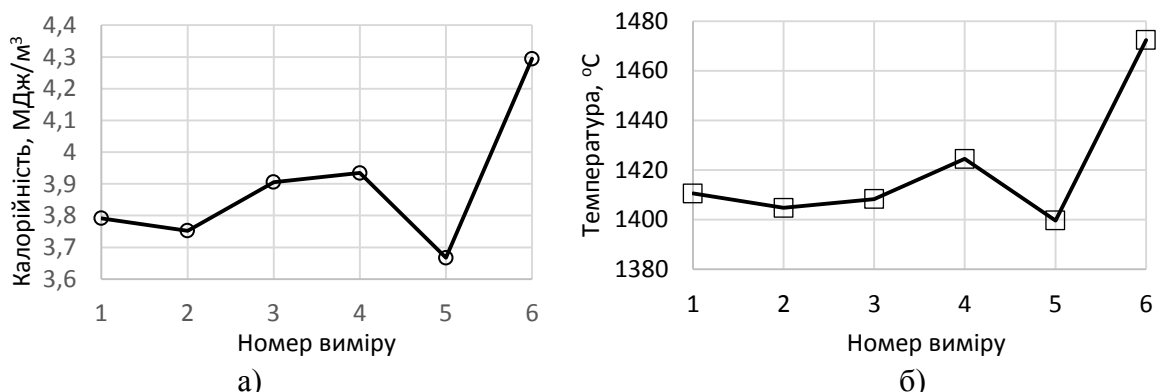


Рисунок 6 – Калорійність доменного газу (а) і розрахункова температура горіння доменного газу (б)

З використанням математичної моделі роботи повітрянагрівача [15], доповненої пропонуваним розрахунком температури горіння суміші газів, було проведено дослідження повітрянагрівача, що працює в режимі нагріву насадки, при різних значеннях калорійності (рис. 6, а). Всі інші вихідні параметри моделювання були прийняті постійними. При зміні калорійності на 25 % (рис. 6, а, заміри 5 і 6) спостерігається скорочення часу нагріву насадки більш ніж на 12 хв (рис. 7).

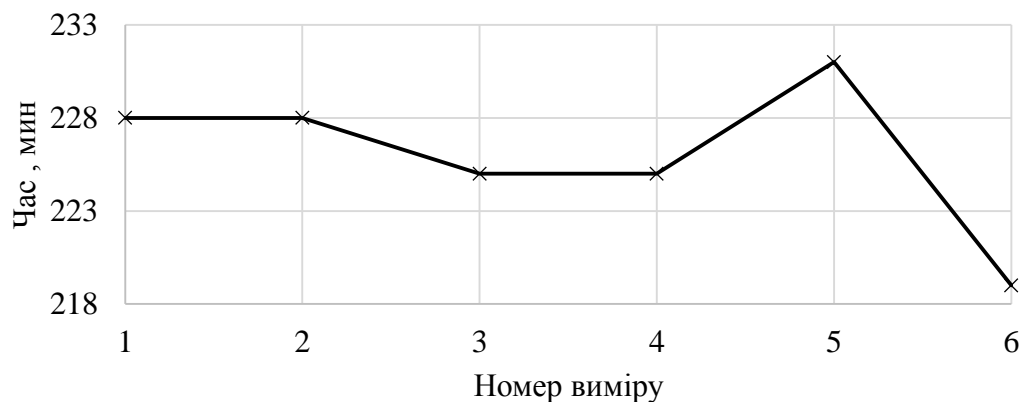


Рисунок 7 – Час нагріву насадки

На вітчизняних металургійних комбінатах не застосовується автоматичний контроль калорійності доменного газу в зв'язку з дорожнечою газоаналітичного обладнання. При цьому застосування розробленого програмного забезпечення та періодичних вимірів калорійності в системах автоматичного управління дозволить підвищити якість регулювання температури купола за рахунок своєчасної корекції калорійності змішаного газу, і витрат змішаного газу і повітря.

Запропоновано структуру системи автоматичного керування температурою купола з можливістю регулювання калорійності змішаного газу (рис. 8).

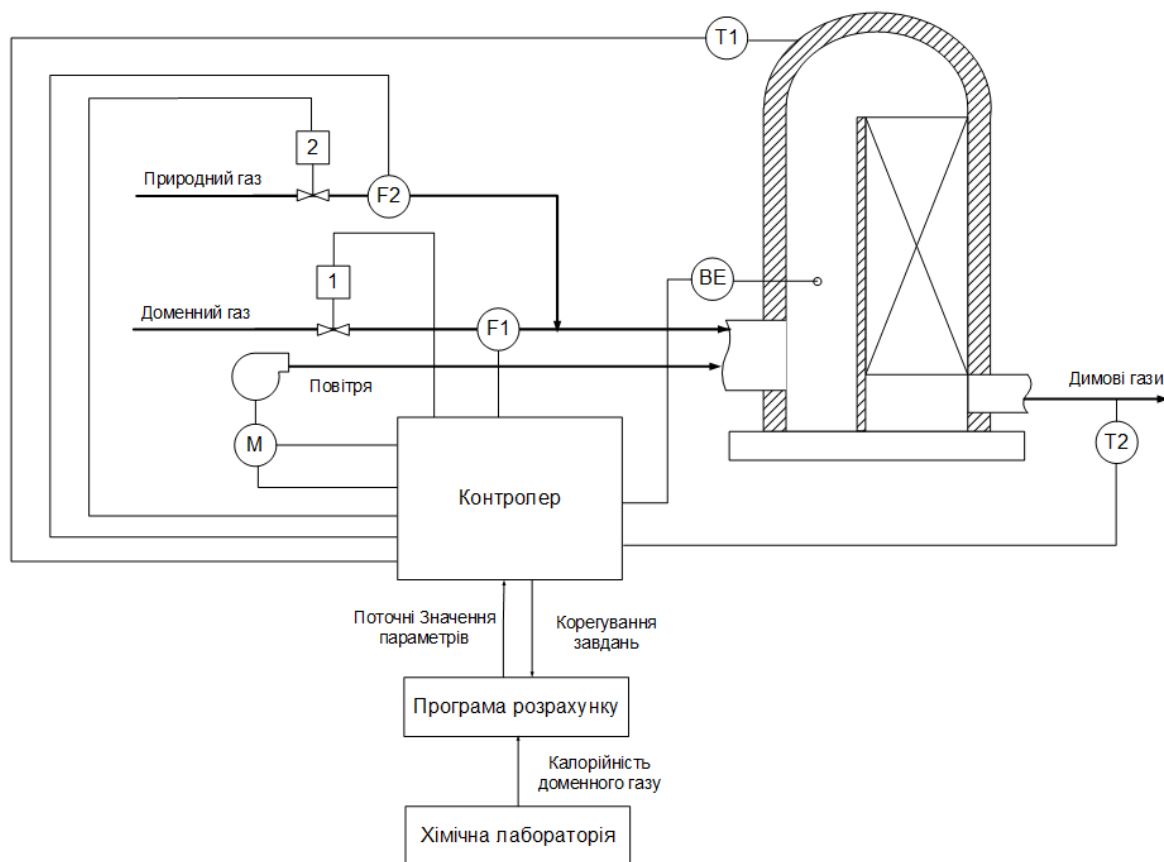


Рисунок 8 – Структура системи управління нагрівом купола повітрянагрівача з коригуванням за поточною калорійністю доменного газу

У контролер надходять поточні значення з датчиків температури купола T1 і димових газів T2, витрат доменного газу F1 і природного газу F2, швидкість обертів двигуна вентилятора. Контроль наявності факелу в камері горіння здійснюється датчиком VE. На підставі отриманих поточних даних контролер змінює завдання на витрати і склад змішаного газу підсистемами 1 і 2 відповідно, а також на мотор M для регулювання витрати повітря.

Підсистема 1 та 2 регулюють вміст доменного та природного газу в складі змішаного. Задане значення температури купола з контролера і результати періодичних вимірів калорійності доменного газу надходять з хімічної лабораторії в програму розрахунку горіння змішаного газу. У результаті розрахунків програми, коригуються керуючі впливи витрат доменного і природного газів і витрати повітря горіння, для забезпечення якісного згорання змішаного газу. Необхідність додавання природного газу обумовлено тим, що калорійність доменного газу змінюється протягом доби.

ВИСНОВКИ

Отримані поліноміальні залежності теплотехнічних властивостей газів від температури і тиску дозволяють розраховувати температуру горіння суміші газів з різними складами і початковими параметрами, відмінними від нормальних умов.

Математичне моделювання роботи певного повітрянагрівача показало, що при збільшенні калорійності на 15 %, температура згоряння доменного газу підвищується на 60 °С, а час нагріву насадки зменшується на 12 хв.

Розроблено структуру системи управління нагрівом купола повітрянагрівача з коригуванням за поточною калорійністю доменного газу.

Застосування розробленого програмного забезпечення в системах автоматичного регулювання блоком повітрянагрівачів дозволить підвищити якість регулювання температури купола за рахунок своєчасної корекції витрат газу і повітря з урахуванням коливання калорійності доменного або косового газів.

Перелік використаних джерел:

1. Глинков, Г. М. АСУТП в черной металлургии : учебник для вузов / Г. М. Глинков, М. А. Маковский. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1999. – 310 с.
2. Бойко, В. И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами в черной металлургии: учебное пособие / В. И. Бойко, В. А. Смоляк. – Днепропетровск : ДГТУ, 1997. – 576 с.
3. Доменные воздухонагреватели / Ф. Р. Шкляр [и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
4. Топливо и расчеты его горения : учеб. пособие / С. Н. Гуцин [и др.]; под ред. Ю. Г. Ярошенко. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2007. – 105 с.
5. Маслов, В. А. Теория горения и химико-термической переработки топлива : учеб. пособ. для вузов / В. А. Маслов. – 2-е изд. – Мариуполь : ПГТУ, 2015. – 244 с.
6. Зельдович, Я.Б. Математическая теория горения и взрыва / Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблатт, В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе. – М. : Наука, 1980. – 478 с.
7. Крушневич, С. П. Методика и программа для расчета температуры горения природного газа / С. П. Крушневич // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2010. – № 5. – С. 28–31.
8. Давыдов, В. О. Метод расчета температуры горения произвольной смеси газообразного углеводородного топлива при произвольном избытке воздуха / В. О. Давыдов, А. В. Бондаренко // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2013. – Вып. 3 (42). – С. 98–102.
9. Койфман, А. А. Автоматизированная система управления нагревом насадки воздухонагревателя доменной печи с возможностью регулирования содержания кислорода в воздухе горения [Электронный ресурс] / А. А. Койфман, М. О. Король, А. И. Симкин // Наука та виробництво : зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – Вип. 22, спецвип. – С. 83–90. – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/28063>
10. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. – М. : Наука, 2006. – 721 с.

11. Tables of thermal properties of gases / *J. Hilsenrath [et al.]*. – Washington : Government Printing Office, 1955. – 408 p. – (Series : National Bureau of Standards circular; 564).
12. *Ривкин, С. Л.* Термодинамические свойства воды и водяного пара : справочник / *С. Л. Ривкин, А. А. Александров*. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.
13. *Койфман, О. О.* Розрахунок значень теплофізичних властивостей газів для уточненого розрахунку доменного повітрянагрівача / *О. О. Койфман, М. В. Орехов, О. І. Сімкін* // Перспективи розвитку сучасної науки і техніки : зб. тез доп. Всеукр. інтернет-конференції (Маріуполь, 20–21 лютого 2020 р.) / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – С. 20–22.
14. *Александров, А. А.* Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики [Электронный ресурс] : Web-версия справочника / *А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков*. – Режим доступа: <http://twf.mpei.ac.ru/rbtpp/>
15. *Koifman, A.* Development and Software Implementation of the Hot Blast Stove Computer Model / *A. Koifman, A. Simkin* [Electronic resource] // Computer Modeling and Intelligent Systems : Proceedings of the Second International Workshop (CMIS-2019) (Zaporizhzhia, April 15–19, 2019 y.). – [S. l.], 2019. – Vol. 2353. – P. 440–454. – Mode of access: <http://ceur-ws.org/Vol-2353/paper35.pdf>

Койфман А. А., Орехов М. В., Солдатов Д. В., Будур В. С., Голядов А. В.

УПРАВЛЕНИЕ НАГРЕВОМ НАСАДКИ ДОМЕННОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА

Проведен обзор расчетов температуры горения газообразного топлива. Для расчета зачастую используются упрощенные методики, в которых не учитываются зависимости теплофизических свойств составляющих газа от температуры и давления, определение значений которых в большинстве случаев сводится к средним значениям теплоемкости и энтальпии, использованию номограмм или табличным значениям при нормальных условиях.

На основании табличных значений теплофизических свойств компонентов газообразного топлива, представленных в справочниках, и применяя методы нелинейной многопараметрической регрессии получены зависимости энтальпии и теплоемкости от температуры и давления для кислорода, азота, водорода, угарного газа, метана, монооксида углерода.

Авторами разработана программа расчета температуры горения природно-коксо-доменной смеси, в которой значения энтальпии и теплоемкость газов определяются на основании полученных зависимостей.

Изучение данных измерений показали, что калорийность доменного газа за 24 часа может изменяться на 10-25 %, в редких случаях – до 40 %, что приводит к колебанию температуры горения газа до 100 °С.

На отечественных металлургических комбинатах не применяется автоматический контроль калорийности доменного газа в связи с дороговизной газоаналитического оборудования. При этом применение разработанного программного обеспечения и периодических замеров калорийности в системах автоматического управления позволит

повысить качество регулирования температуры купола за счет своевременной коррекции calorificity смешанного газа, и расходов смешанного газа и воздуха.

Предложена структура системы автоматического управления температуры купола с возможностью регулирования calorificity смешанного газа с использованием предложенной программы расчета горения смеси газов.

Ключевые слова: *Многопараметрическая аппроксимация, теплофизические свойства, алгоритм, система автоматизации, программа, температура горения, смешанный газ.*

Koifman O. O., Oriekhov M. B., Soldatov D. V., Budur V. S., Holoiadov A. V.

CONTROL OF HEATING OF THE HOT BLAST STOVE CHECKERWORK WITH THE PROGRAM FOR CALCULATION OF FUEL COMBUSTION

Calculations of the calorificity of the fuel gas is reviewed. For the calculation the simplified methods are widely used, which do not consider the dependences of the thermophysical properties of the gas components on temperature and pressure, the determination of the values of which in most cases comes to the average values of heat capacity and enthalpy, to the use of nomograms or tabular values under normal conditions.

Based on the tabular values of the thermophysical properties of the fuel gas components presented in the reference books, and using the methods of nonlinear multivariable regression, the dependences of enthalpy and heat capacity on temperature and pressure for oxygen, nitrogen, hydrogen, carbon monoxide, methane, carbon dioxide were obtained.

The authors have developed a program for calculating the combustion temperature of a natural coke-oven and blast-furnace mixture gases, in which the values of enthalpy and heat capacity of gases are determined based on the obtained dependences.

The study of these measurements showed that the calorific value of the blast-furnace gas in 24 hours can change by 10-25 %, in rare cases - up to 40 %, which leads to fluctuations in the combustion temperature of the gas up to 100 ° C.

Domestic iron and steel plants do not use automatic control of the calorific value of the blast furnace gas due to the high cost of the gas analysis equipment. At the same time, the use of the developed software and periodic measurements of the calorific value in automatic control systems will allow to improve the quality of the dome temperature regulation due to the timely correction of the calorific value of the mixed gas, and the consumption of mixed gas and air.

The structure of the automatic control system of the dome temperature with the option of regulating the calorific value of the mixed gas by applying the proposed program for the calculation of the combustion of the gas mixture is proposed.

Keywords: *nonlinear multivariable regression, thermophysical properties, algorithm, automatic control system, program, automatic control system, mixed gas.*

Рецензент: доц., канд. техн. наук, Кравченко В. П.

Стаття надійшла 29.11.2020 р.

УДК 656.131

Федосова І. В., Осадчий М. С.

СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ АВТОМОБІЛЯ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ДІАГНОСТИЧНОГО РОЗ'ЄМУ OBD-II

Визначення стану автомобіля полягає в знаходженні несправностей в роботі окремих вузлів на основі корелюючих показників, що надаються роз'ємом OBD-II і на основі отриманої інформації робити висновок про несправності агрегату. Робота транспортних засобів постійно контролюється за фізичними параметрами, такі вимірювання отримуються електронними датчиками і передаються через внутрішній протокол зв'язку автомобіля до головного блоку управління для подальшої обробки. Ґрунтуючись на даних показниках можлива побудова інтелектуально-статистичної моделі, яка може визначати і прогнозувати стан автомобільного вузла в часі. Робота присвячена створенню інтелектуально-статистичної моделі та візуалізації кореляції значень з використанням сучасних методів машинного навчання (метод інтегрованої моделі авторегресії ARIMA) і застосування даних знань для побудови алгоритму. Проведено огляд основних статей які відносяться до теми роботи. Розглянуто основні етапи побудови моделі і візуалізації для більш точного результату. Проведено моделювання на вибірці даних з роз'єму OBD-II за певний проміжок часу, для перевірки гіпотези, а також побудована математична модель. Моделювання проводилося на реальних даних отриманих з автомобіля. Розроблено багатоплатформовий додаток який використовує результати моделювання для визначення несправності автомобільного агрегату за допомогою проаналізованих даних отриманих з роз'єму OBD-II. Наведено результати роботи додатку, інформацією для якого було взято з часового ряду, який використовувався для побудови моделі. Зроблено висновок про можливість застосування методу прогнозування часових рядів для побудови комплексної системи оцінки стану агрегату за отриманими даними через протокол з'єднання з автомобілем, яка буде застосовна в більшості випадків.

Ключові слова: машинне навчання, кореляція, прогнозування, інтелектуально-статистична модель, OBD-II, метод Arima, транспортний засіб.

Вступ. Техобслуговування (ТО) - це заходи профілактики різних поломок з метою завчасно замінити деталь або вузол авто який в іншому випадку вийшов би з ладу. Періодичний огляд допоможе попередити можливі неполадки на початкових стадіях.

Під час руху автомобіль відчуває дію механічних сил: вібрації, тиску, нагрівання, тертя. Деталі зношуються і деформуються. Важливим є вплив оточуючих чинників: пилу, води, сонячних променів, перепадів температури. Тому так важливо завчасно проводити діагностику авто і володіти інформацією про можливі несправності.

Сучасні автомобілі масово оснащуються різними електронними системами. Дані системи працюють на основі технології CAN. CAN є комплексом стандартів для побудови розподілених мереж, який використовує послідовну передачу даних в реальному часі з дуже високим ступенем надійності і захищеності.

Найбільш зручним і швидким способом отримання даних з електронних блоків автомобіля на даний момент є роз'єм OBD [1]. OBD (система бортової діагностики) - це діагностика різних систем автомобіля, що виробляються блоком управління автомобіля. Результати діагностики відображаються для власника автомобіля, наприклад у вигляді сигналу про несправності на приладовій панелі.

Метою даної роботи є вивчення можливості протоколу OBD-II и отримання статистичних Даних, побудова моделі для прогнозу часових рядів і отримання залежностей і закономірностей різних показників даних отриманих з роз'єму OBD, для визначення необхідності проведення ТО. Також необхідно забезпечити високу точність при побудові моделі, в зв'язку з чим будуть використовуватися сучасні програмно-апаратні пристосування, які реалізовані за допомогою ЯП Python.

Моделювання відбувалося на основі сигналів отриманих з автомобіля, що реєструються через інтерфейс OBD-II. Автомобіль з якого були отримані дані здійснював поїздки в перебігу декількох годин кожен день.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [2] автори реєстрували дані OBD-моніторингу і передавали їх в телеметричний центр через мобільну мережу. Ці дані використовуються для побудови моделі для прогнозу (на мові Python), заснованої на кореляції між кодами несправностей (попередження від датчиків в автомобілі), щоб запобігти потенційну поломку компонентів.

У роботі [3] описана рекомендована система яка здатна діагностувати транспортні засоби, збирати, зберігати, а також отримувати команду з мобільного додатку.

Вона виглядає так:

- дані діагностики автомобіля збираються за допомогою сканера Bluetooth iSaddle OBD-II і надсилаються на Raspberry Pi через Bluetooth. Raspberry Pi потребує Nano Bluetooth Dongle як додаткові інструменти, що дозволяють отримувати та надсилати дані за допомогою Bluetooth.

- після отримання даних діагностики до Raspberry Pi pyOBD відобразить інтерфейс діагностичних даних на основі кодів несправностей діагностики OBD-II та обробить їх. Для обробки даних діагностики ця програма використовує Node.JS як мову на сервері.

- дані інкапсулюються в JSON об'єкти, вони зберігатимуться у MongoDB (система управління базами даних, орієнтована на документи NoSQL). Підключившись до Інтернет-з'єднання, об'єкти JSON, що зберігаються в MongoDB можна проаналізувати на смартфоні користувача за допомогою цієї програми. Користувачам також надається можливість надсилати власну команду до свого автомобіля.

- для цього користувач повинен ввести свою команду в цьому додатку. Далі програма генеруватиме вхідні дані в JSON і зберігатиметься в MongoDB. API Node.JS обробляє об'єкти JSON у список команд ELM-USB. Ці списки команд ELM-USB надсилаються на сканер Bluetooth iSaddle OBD-II, і це спричинить транспортний засіб виконати команду від користувача [4].

Окрім рекомендованої системи збору даних в роботі [5] проводять моделювання споживання палива з урахуванням показників TPS (throttle position sensor) та RPM (Revolutions per minute). Одним із типових методів є використання технік машинного навчання. Іноді під час проектування графіків зв'язків між двома змінними можна візуально спостерігати за зв'язку між змінними; однак такі співвідношення не можуть бути не смодельовані у заданному рівнянні. SVM - це один класифікатор, який використовується для

створення лінійної функції відображення на нелінійній функції для даного набору даних, що називається навчальним набором. Враховуючи набір тренувань, кожен набір присвоюється одній категорії, яка називається класом даних. SVM намагається розділити ці класи категорій рівномірно, використовуючи рівне та максимальне поле, зване гіперпланом. Початкова форма SVM - це двійкова класифікація, яка класифікує дані на дві категорії. Для реалізації багатокласової класифікації можна використовувати кілька двійкових класифікаторів для інтеграції однієї або декількох категорій.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої на початку мети необхідно виконати наступне:

- розглянути методи отримання показників про автомобільних вузлах використовуючи протокол OBD-II;
- підготувати набір даних на основі якого буде проводитися моделювання;
- побудувати модель ARIMA, для подальшого аналізу;
- розробити багатоплатформовий додаток для мобільних пристроїв з реалізацією методів, представлених в цій роботі;
- протестувати додаток використовуючи дані отримані з автомобільних вузлів.

Математична модель. ARIMA можна визначити як комбінацію двох авторегресійних (AR) моделей, які інтегровані з моделлю ковзної середньої (MA).

AR-модель - це модель авторегресії, де передбачається деяка лінійна залежність між поточними значеннями ряду і попередніми його значеннями, і дана модель дозволяє прогнозувати. MA-модель - тобто просто ковзне середнє, це деякі моделі, які дозволяють нам побачити деякі тенденції сезонності, циклічності в нашому ряді, тобто певний аналіз нашого ряду. Запис позначення Autoregressive Integrated Moving Average - це ARIMA (p, d, q). p - ступінь процесу AR, d - порядок диференціювання, q - ступінь MA. Модель авторегресії з порядком AR (p) моделі ARIMA (p, 0,0) формулюється так [6]:

$$Y_t = \theta_0 + \theta_1 Y_{t-1} + \theta_2 Y_{t-2} + \dots + \theta_p Y_{t-p} + e_t \quad (1)$$

де:

Y_t = Стаціонарний тимчасової ряд

θ_0 = Константа

θ_p = Параметр авторегресійної моделі

e_t = Залишковий час (t)

Модель ковзної середньої з порядком q або ARIMA (0,0, q) формулюється таким чином.

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_q Y_{t-q} + e_t \quad (2)$$

де:

Y_t = Стаціонарний тимчасової ряд

ϕ_0 = Константа

ϕ_q = Коефіцієнт моделі, який показує ваги змінного середнього

e_t = Залишковий час

Ця робота представляє собою приклад оцінки, моделі і прогнозованих показників даних.

На цьому етапі аналізуються проблеми верифікації та валідації даних з метою визначення часових рядів і параметрів оцінки на основі даних, була отримана найкраща модель, відповідна реальним обставинам.

Моделювання. Процес побудови моделі складається з декількох основних етапів. На етапі підготовки робочої вибірки потрібно провести первинну оцінку наявних даних з подальшим відбором якісно значущих об'єктів. Однак, для оцінки залежності цільової функції від вихідних факторів необхідно не тільки спиратися на математичну модель, але і враховувати інші закономірності числових параметрів. Для цього побудуємо матрицю чутливості, яка відображає ступінь кореляції між усіма ознаками (рис. 1). Моделювання буде проводитися на основі даних отриманих за одну поїздку, а саме зміна показників "Air Flow Rate from Mass Flow Sensor [g / s]" (витрати Повітря від датчика масового потоку [г/с]) в часі.

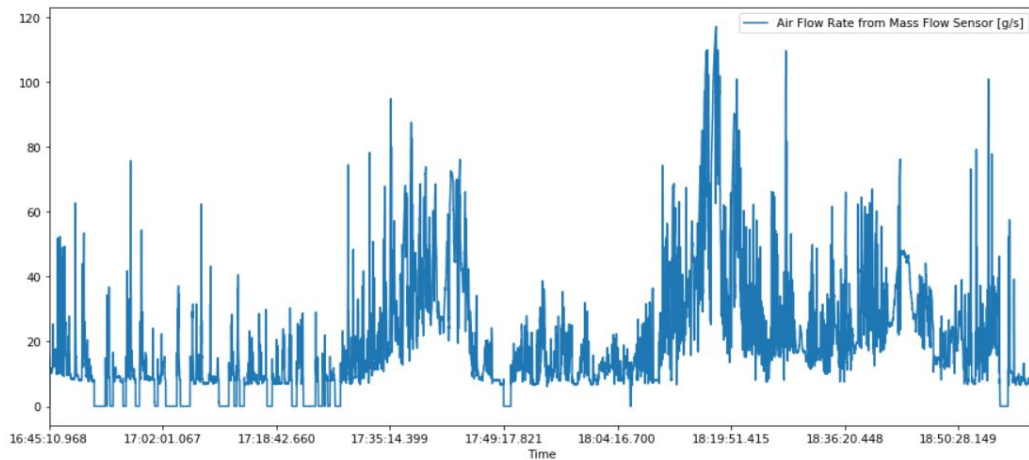


Рисунок 1 – Графік зміни показника “Air Flow Rate from Mass Flow Sensor [g/s]” у часі

На графіку ми бачимо, що набір даних не має чіткої тенденції, а мають чітку сезонність. Це свідчить про те, що часовий ряд не є стаціонарним і потребуватиме диференціації, щоб зробити його нерухомим, принаймні, різницевого порядку 1. На рис. 2 показаний графік автокореляції часового ряду. У наведеному нижче прикладі зображено автокореляцію для великої кількості лагів у часових рядах.

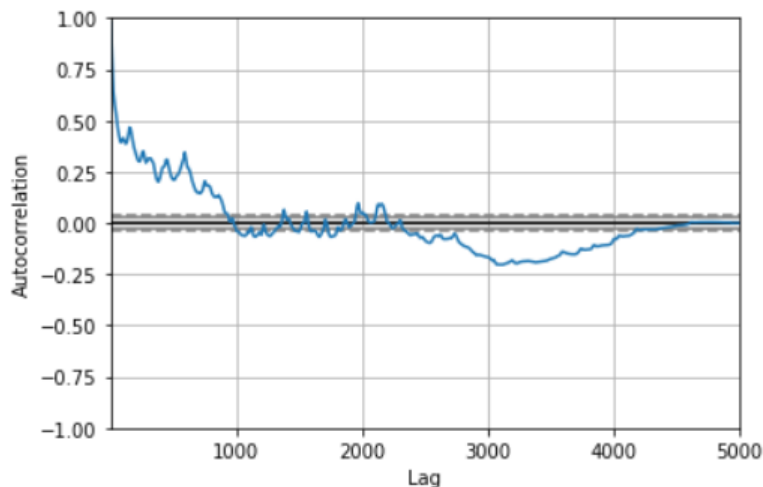


Рисунок 2 – Графік автокореляції

Подивившись на графік видно, що існує позитивна і значуща кореляція з першого до, приблизно, 400 лагу.

Далі побудуємо модель ARIMA. Модель ARIMA можна створити за допомогою бібліотеки statsmodels язику програмування python наступним чином: підберемо модель ARIMA до всього набору даних про витрату повітря від датчика масового потоку. Побудуємо модель ARIMA (5,1,0). Це встановлює значення відставання до 5 для авторегресії, використовує порядок різниці 1, щоб зробити часовий ряд нерухомим, і використовує модель ковзного середнього 0.

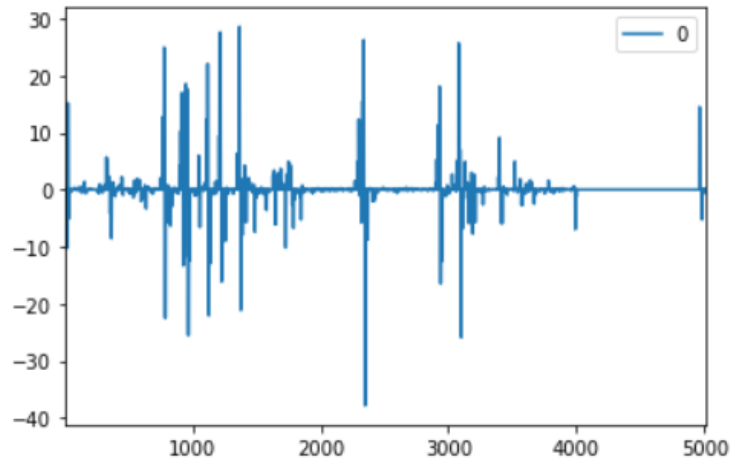


Рисунок 3 – Графік залишкової помилки моделі ARIMA

Ця процедура узагальнює значення коефіцієнтів, що використовуються, а також кваліфікацію пристосованості під час спостережень у вибірці.

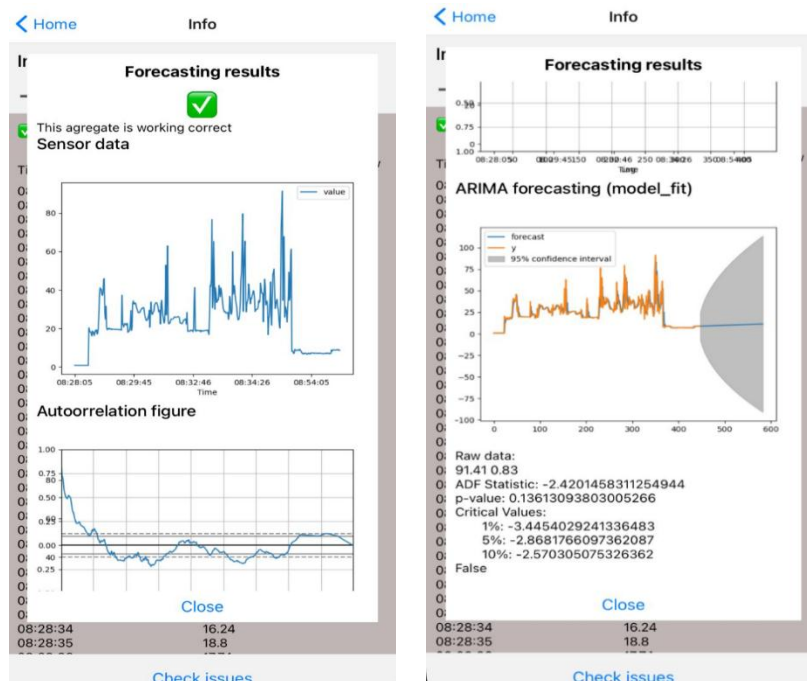


Рисунок 4 – Вікно додатку з результатами роботи

Для перевірки роботи розробленої моделі необхідно отримати дані достовірні дані з роз'єму OBD-II за деякий тривалий проміжок часу і записати їх в розроблений додаток. Як пристрою, що зчитує було використано адаптер ELM 327. В додаток було передано показники з датчику який показує швидкість потоку повітря від датчика масового потоку [г/с]. На рис. 4 показаний результат роботи програми - аналіз і прогноз часового ряду, а також висновок, а також висновок, зроблений на основі прогнозованого часового ряду.

ВИСНОВКИ

Таким чином в роботі було розглянуто метод прогнозування часового ряду ARIMA, а також була побудована модель для передбачення показників отриманих з роз'єму OBD-II. З урахуванням отриманих даних було розроблено багатоплатформовий додаток для прогнозування стану конкретного автомобільного агрегату. В майбутньому планується уніфікація методів для можливості їх застосування до всіх показників, одержуваних з роз'єму OBD-II, а також побудування автоматично прогнозування показників в майбутньому.

Список використаних джерел:

1. *Sung hyun Baek* Implementation of integrated OBD-II connector with external network / *Sung hyun Baek, Jong-Wook Jang* // Information Systems. – 2015. – Vol. 50, June. – P. 69–75.
2. Diagnostics vehicle's condition using OBD-II and raspberry pi technology: study literature [Electronic resource] / *J. V. Moniaga1, S. R. Manalu1, D. A. Hadipurnawan, F. Sahidi* // 2nd International Conference on Computing and Applied Informatics 2017 (Medan, 28–30 November 2017 y.). – [S. l.], 2018. – 012011. – (IOP Conf. Series : Journal of Physics: Conference Series, vol. 978). – Mode of access: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/978/1/012011/pdf>
3. Fuel Consumption Using OBD-II and Support Vector Machine Model [Electronic resource] / *Tamer Abukhalil, Harbi AlMahafzah, Malek Alksasbeh, Bassam A. Y. Alqaralleh* // Journal of Robotics. – Vol. 2020. – Article ID 9450178. – P. [1–9]. – Mode of access: <https://www.hindawi.com/journals/jr/2020/9450178/>
4. Sales forecasting newspaper with ARIMA: A case study [Electronic resource] / *Carina Intan Permatasaria, Wahyudi Sutopob and Muh. Hisjamc* // The 3rd International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering. AIP Conference Proceedings 1931. – [S. l.], 2018. – P. 030017-1–030017-10. – Mode of access: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5024076>
5. Forecasting of demand using ARIMA model [Electronic resource] / *J. Fattah, L. Ezzine, Z. Aman, H. El Moussami, A. Lachhab* // International Journal of Engineering Business Management. – 2018. – Vol. 10. – P. 1–9. – Mode of access: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1847979018808673>

Федосова И. В., Осадчий Н. С.

СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЯ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО РАЗЪЕМА OBD-II

Определение состояния автомобиля заключается в нахождении неисправностей в работе отдельных узлов на основе коррелирующих показателей, предоставляемых разъемом

OBD-II и на основе полученной информации предоставит вывод о неисправности агрегата. Работа транспортных средств постоянно контролируется по физическим параметрам, такие измерения получают электронными датчиками и передаются через внутренний протокол связи автомобиля к главному блоку управления для дальнейшей обработки. Основываясь на данных показателях возможно построение интеллектуально-статистической модели, которая может определять и прогнозировать состояние автомобильного узла во времени. Работа посвящена созданию интеллектуально-статистической модели и визуализации корреляции значений с использованием современных методов машинного обучения (метод интегрированной модели авторегрессии ARIMA) и применения данных знаний для построения алгоритма. Проведен обзор основных статей относящиеся к теме работы. Рассмотрены основные этапы построения модели и визуализации для более точного результата. Проведено моделирование на выборке данных из разъема OBD-II за определенный промежуток времени, для проверки гипотезы, а также построена математическая модель. Моделирование проводилось на реальных данных полученных из автомобиля. Разработано кроссплатформенное приложение которое использует результаты моделирования для определения неисправности автомобильного агрегата с помощью проанализированных данных полученных из разъема OBD-II. Приведены результаты работы приложения, данные для которого были взяты из временного ряда, использующиеся для построения модели. Сделан вывод о возможности применения метода прогнозирования временных рядов для построения комплексной системы оценки состояния агрегата используя полученные данные по протоколу соединения с автомобилем, которая будет применима в большинстве случаев.

Ключевые слова: машинное обучение, корреляция, прогнозирование, интеллектуально-статистическая модель, OBD-II, метод Arima, транспортное средство.

Fedosova I. V., Osadchyi M. S.

SYSTEM FOR PREDICTING THE CONDITION OF THE VEHICLE BASED ON THE STATISTICAL DATA OF THE OBD-II DIAGNOSTIC CONNECTOR

Determining the state of the car consists in finding faults in the operation of individual components based on the correlated indicators provided by the OBD-II connector and, based on the information received, provide a conclusion about the unit's malfunction. The operation of vehicles is constantly monitored by physical parameters, such measurements are obtained by electronic sensors and transmitted through the vehicle's internal communication protocol to the main control unit for further processing. Based on these indicators, it is possible to build an intelligent statistical model that can determine and predict the state of an automobile unit in time. The work is devoted to the creation of an intelligent-statistical model and visualization of the correlation of values using modern machine learning methods (the method of the integrated autoregressive model ARIMA) and the use of knowledge data to build an algorithm. A review of the main articles related to the topic of work is carried out. The main stages of building a model and visualization for a more accurate result are considered. Simulation was carried out on a sample of data from the OBD-II connector for a certain period of time to test the hypothesis, and a mathematical model was also built. The simulation was carried out on real data obtained from a car. A cross-platform application has been developed that uses the simulation results to determine the malfunction of the automotive unit using

the analyzed data obtained from the OBD-II connector. The results of the application are presented, the data for which were taken from the time series, used to build the model. The conclusion is made about the possibility of applying the method of forecasting time series to build a comprehensive system for assessing the state of the unit using the data obtained by the protocol of connection with the car, which will be applicable in most cases.

Keywords: *machine learning, correlation, forecast, intelligent statistical model, OBD-II, Arima method, Vehicle.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С. С.

Стаття надійшла 11.11.2019 р.

УДК 004.93

Кривенко О. В., Лемещенко М. І.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

В теперішній час широко застосовують безпілотні літальні апарати (БПЛА) при вирішенні завдань цивільного та мілітаризованого характеру. Такий літальний апарат здійснює політ за допомогою віддаленого керування або автономно по попередньо розрахованих траєкторіях польоту.

Однією з основних задач забезпечення безпечного польоту БПЛА є задача побудови траєкторії руху його переміщення згідно реальних умов. Традиційно задача побудови траєкторії, за якою буде рухатися БПЛА розглядається як задача пошуку шляху на графі: вершинам графа відповідають точки положення об'єкта у просторі, а ребрам – елементарні траєкторії, проходження БПЛА за якими вважається тривіальною задачею. Таким чином, задача планування траєкторії зводиться до двох підзадач: побудови графа, що моделює навколишнє середовище БПЛА, і пошуку шляху на цьому графі. Методи пошуку шляху на графі зазвичай базуються на ітераційному обході вершин графа за принципом Дейкстри.

Об'єктом дослідження в роботі є процес побудови послідовності точок простору, що уявляє з себе траєкторію руху та забезпечує безпечне переміщення по них безпілотного літального апарату. Предметом дослідження є методи побудови маршрутів на графах, уявлення та програмна обробка просторових карт середовища.

Мета роботи полягає у розробці методу побудови безпечної траєкторії руху безпілотного літального апарату між двома заданими точками простору. Методи досліджень базуються на методах и основних положеннях теорії інформації та теорії графів.

Наукова новизна полягає у нових підходах до обробки даних просторових мап, уявлення їх у вигляді програмних та графових моделей та побудови на їх основі траєкторії руху безпілотного літального апарату.

Практичне значення полягає в підвищенні ефективності та використання програмних систем при вирішенні завдань побудови, обчислення характеристик та візуалізації траєкторії руху безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: *безпілотний летальний апарат, просторова мапа, модель, параметри, траєкторія, маршрут, алгоритм, координати, система координат, комп'ютерна система, граф.*

Постановка проблеми. В результаті дослідження технологій побудови, обладнання та керування *безпілотними летальними апаратами* (БПЛА), їх класифікації та використання у сучасному житті отримано, що найбільш популярними та широко поширеними є невеликі безпілотні летальні апарати. Такі БПЛА найбільш використовуються для задач спостереження або доставки невеликого вантажу. Для цього необхідно побудова траєкторій руху БПЛА з урахуванням перешкод та обмежень, які накладаються специфікою конкретної мети переміщення та нормативно-правовими документами.

Дослідження алгоритмів пошуку шляхів на графах та алгоритмів для побудови траєкторії руху БПЛА на базі графових моделей довів, що найбільш зручним та широко поширеним методом є алгоритм Дейкстри та його модифікації для побудови траєкторії руху між двома точками простору. Даний метод обраний для побудови послідовності точок простору, з яких складається траєкторія руху БПЛА.

Дослідження програмних засобів для отримання реальних даних, їх обробки та використання для побудови програмних моделей просторового середовища показав, що найбільш поширеним сервісом є OpenStreetMap, у якого формат опису графічних даних OBJ.

Актуальність роботи полягає в розробці методу побудови траєкторії руху безпілотного літального апарату просторового середовища.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. БПЛА є безпілотним авіаційним комплексом, призначеним для реалізації дій, які представляють істотну небезпеку для людей, а також мають невинуватену велику витрату ресурсів на виконання примітивних дій [1, 2].

Найбільш прийнятним варіантом оснащення існуючих та перспективних БПЛА є інтегрований інформаційно-керуючий комплекс, що забезпечує вирішення завдань навігації, управління рухом і наведення та є результатом сучасних досягнень в області інформаційних технологій.

Для автономного функціонування БПЛА містить цілий комплекс різних елементів. До основних елементів належать:

- керуюча апаратура;
- трьохосової гіроскоп і акселерометр;
- ГЛОНАСС/GPS - приймач;
- барометричний датчик тиску для визначення висоти і повітряної швидкості;
- радіо-модем.

Для забезпечення польотів однією з найбільш вагомих задач є планування траєкторії руху БПЛА: визначення набору точок в просторі. На розрахунок траєкторії руху впливають такі чинники як обмежений час та безпека.

Аналіз найбільш популярних алгоритмів для вирішення задачі пошуку найкоротшого шляху представлений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Аналіз найбільш популярних алгоритмів для вирішення задачі пошуку найкоротшого шляху

Назва алгоритму	Суть алгоритму	Складність алгоритму
Алгоритм Дейкстри	Знаходить найкоротший шлях від однієї з вершин графа до всіх інших. Працює тільки для графів без ребер від'ємної ваги.	$O(V^2)$
Алгоритм Беллмана-Форда	Знаходить найкоротші шляхи від однієї вершини графа до всіх інших в підвішеному графі. Вага ребер може бути від'ємною. Застосування алгоритму - в програмуванні і технологіях. Наприклад, протоколи маршрутизації.	$O(V^2)$
Алгоритм пошуку A*	Знаходить маршрут з найменшою вартістю від однієї вершини (початкової) до іншої (цільової, кінцевої). Алгоритм пошуку по першому найкращому збігу на графі.	$O(\log V)$
Алгоритм Флойда-Воршелла	Знаходить найкоротші шляхи між усіма вершинами зваженого орієнтованого графа.	$O(V^3)$
Алгоритм Джонсона	Знаходить найкоротші шляхи між усіма парами вершин зваженого орієнтованого графа.	$O(V^2 + \log V + VE)$
Алгоритм Лі (хвильовий алгоритм)	Заснований на методі пошуку в ширину. Знаходить шлях між вершинами s і t графа (s не збігається з t), містить мінімальну кількість проміжних вершин (ребер).	Близька до $O(V^2)$.

Завдання дослідження. Метою роботи є розробка методу побудови безпечної траєкторії руху безпілотного літального апарату. Для цього поставлені завдання:

- аналіз сучасного стану розвитку технологій безпілотних летальних апаратів, програмного забезпечення та ресурсів отримання, обробки та уявлення у зручних для програмної обробки форматах картографічних даних місцевості, методів побудови маршрутів на основі графових моделей;
- вибір параметрів та обмежень фізичної моделі БПЛА для розрахунку траєкторії руху, розробка методу та програмної моделі побудови траєкторії руху;
- отримання характеристик, аналіз та візуалізація траєкторії руху БПЛА;
- дослідження результатів застосування розроблених моделей і методів з використанням реальних картографічних даних місцевості.

Основний матеріал дослідження. Найбільш поширеними для використання форматами надання мап є наступні:

- 1) OSM XML – XML-формат, наданий API;
- 2) PBF – високо стислий, оптимізований двійковий формат, подібний до API;
- 3) o5m – формат для високошвидкісної обробки, використовує кодування PBF, має ту ж структуру, що і формат XML;
- 4) Overpass JSON – варіант формату JSON OSM XML;
- 5) Level0L – більш людсько-читабельний формат OSM XML зниженої надмірності.

Для отримання реальної мапи середовища використовується веб-картографічний проект OpenStreetMap (OSM), який надає детальну вільну і безкоштовну географічну карту світу [3].

Для методу побудови траєкторії руху БПЛА використані наступні початкові дані:

- 1) просторова карта середовища польоту з перешкодами, надана у файлі формату OBJ;
- 2) розмір БПЛА, що задається вказанням радіусу сфери, що його вміщує;
- 3) діапазон висот польоту стабільного робочого польоту БПЛА, що задається мінімальною та максимальною значеннями висот;
- 4) мінімальна відстань від перешкод до БПЛА при його переміщенні;
- 5) тривимірні координати у просторі початкової та кінцевої точок, між якими визначається траєкторія руху;
- 6) швидкість польоту БПЛА;
- 7) дальність польоту БПЛА.

При побудові траєкторії руху вихідними даними є:

- 1) множина тривимірних координат простору, у вигляді послідовності точок, в які БПЛА буде переміщуватися при польоті або її відсутність у разі недосяжності переміщення БПЛА по заданим характеристикам з початкової точки до кінцевої;
- 2) довжина траєкторії;
- 3) затрачений час БПЛА для переміщення по обраній траєкторії;
- 4) затрачений час на побудову траєкторії руху з урахуванням усіх початкових даних.

Модель середовища – це модель, яка містить інформацію про вершини, що містяться в файлі моделі OBJ і об'єктах–перешкодах на можливому шляху переміщення БПЛА.

Використання моделі середовища для побудови траєкторії руху графовими методами побудови маршрутів потребує подальшу її обробку та перетворення даних у вигляд, який можливо інтерпретувати як граф, що забезпечить можливість застосування графових алгоритмів. Для цього необхідна модель мапи середовища.

Модель мапи середовища – це модель середовища у вигляді тривимірної булевої матриці (мапи), кожен осередок якої має логічне значення false (0) або true (1). Певне значення залежить від наявності (false) або відсутності (true) в даному місці простору перешкоди та позначає недоступність або доступність точки простору для БПЛА.

Середовище дискретизується згідно заданого кроку розбиття згідно наступних формул:

$$X = \text{div} \left(\frac{\left(x + \frac{\text{step}}{2}\right)}{\text{step}} \right),$$

$$Y = \text{div} \left(\frac{\left(y + \frac{\text{step}}{2}\right)}{\text{step}} \right),$$

$$Z = \text{div} \left(\frac{\left(z + \frac{\text{step}}{2}\right)}{\text{step}} \right),$$

де x, y, z – координати точки простору;

X, Y, Z – координати точки в сітці простору;

$step$ – крок розбиття простору середовища.

Тобто, кожна точка простору відноситься до вузла умовної сітки простору (рис. 1).

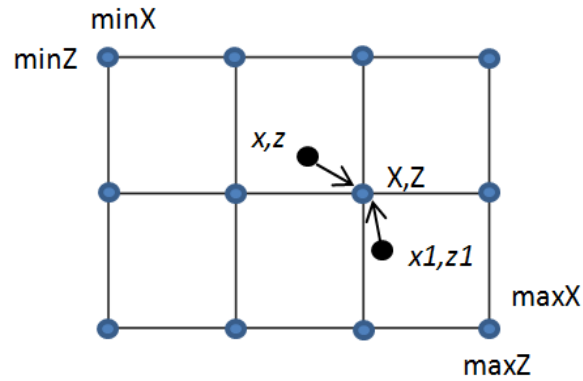


Рисунок 1 – Дискретизація точок простору проекції на площину xOz

На рисунку 2(а) показано розташування похідного трикутника пунктирною лінією, трикутника з урахуванням мінімальної відстані та розмірів БПЛА суцільною лінією відповідно до вузлів сітки простору. На рисунку 2(б) наведено відповідний стан фрагменту матриці середовища, де сірим позначені осередки матриці зі значеннями false (перешкоди).

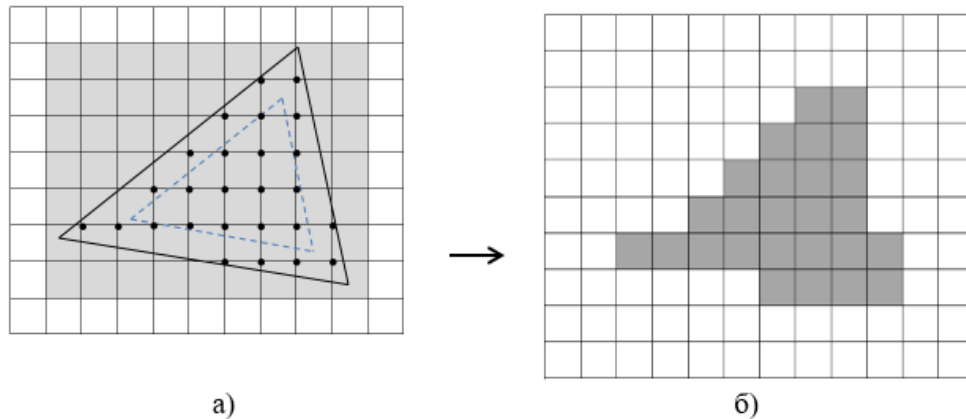


Рисунок 2 – Приклад заповнення матриці середовища
(а – недоступні вузли сітки, б – матриця середовища з false осередками)

На рисунку 3 наведена узагальнена блок-схема алгоритму побудови моделі мапи середовища.

Інформаційні технології



Рисунок 3 – Узагальнена блок-схема алгоритму побудови моделі мапи середовища

Для побудови траєкторії руху БПЛА на основі даних моделі мапи середовища використаний алгоритм Дейкстри.

ВИСНОВКИ

1. Обрано початкові та вихідні дані для побудови траєкторії руху БПЛА у середовищі, що є характеристиками БПЛА, середовища та зовнішні картографічні дані, обґрунтовано їх використання та необхідність обмеження діапазону числових значень.

2. Запропонована модель середовища на основі даних картографічного ресурсу про об'єкти-перешкоди для руху БПЛА, що зберігає мінімальний набір даних для подальшої обробки.

3. Запропонована модель мапи середовища на основі побудованої моделі середовища. Модель – це фрагмент середовища у вигляді тривимірної булевої матриці, що дозволяє використовувати дані про фрагмент середовища у якості графу для застосування до неї графових методів побудови маршрутів.

4. Представлена узагальнена блок-схема алгоритму побудови моделі мапи середовища.

Список використаних джерел:

1. Корченко, А. Г. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов / А. Г. Корченко, О. С. Ильин // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2012. – № 4 (33). – С. 27–36.

2. Кошкин, Р. П. Беспилотные авиационные системы / Р. П. Кошкин. – М.: Стратегические приоритеты, 2016. – 676 с.

3. JOSM [Electronic resource]. – Mode of access: <https://josm.openstreetmap.de/wiki/Ru%20%3AWikiStart>

Кривенко О. В., Лемещенко Н. И.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В настоящее время широко применяют беспилотные летательные аппараты (БПЛА) при решении задач гражданского и милитаризованного характера. Такой летательный аппарат совершает полет с помощью удаленного управления или автономно по предварительно рассчитанных траекториях полета.

Одной из основных задач обеспечения безопасного полета БПЛА является задача построения траектории движения его перемещения в реальных условиях. Традиционно задача построения траектории, по которой будет двигаться БПЛА рассматривается как задача поиска пути на графе: вершинам графа соответствуют точки положения объекта в пространстве, а ребрам - элементарные траектории, прохождения БПЛА по которым считается тривиальной задачей. Таким образом, задача планирования траектории сводится к двум подзадачам: построению графа, моделирующего окружающую среду БПЛА, и поиску пути на этом графе. Методы поиска пути на графе обычно базируются на итерационном обходе вершин графа по принципу Дейкстры.

Объектом исследования в работе является процесс построения последовательности точек пространства, представляет из себя траекторию движения и обеспечивает

безопасное перемещение по ним беспилотного летательного аппарата. Предметом исследования являются методы построения маршрутов на графах, представления и программная обработка пространственных карт среды.

Цель работы заключается в разработке метода построения безопасной траектории движения беспилотного летательного аппарата между двумя заданными точками пространства. Методы исследований базируются на методах и основных положениях теории информации и теории графов.

Научная новизна заключается в новых подходах к обработке данных пространственных карт, представление их в виде программных и графов моделей и построения на их основе траектории движения беспилотного летательного аппарата.

Практическое значение состоит в повышении эффективности и использования программных систем при решении задач построения, вычисления характеристик и визуализации траектории движения беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, пространственная карта, модель, параметры, траектория, маршрут, алгоритм координаты система координат, компьютерная система, граф.

Kryvenko O. V., Lemeshchenko M. I.

INVESTIGATION OF METHODS OF MODELING THE TRACTION OF THE MOVEMENT OF AN UNMANNED AIRCRAFT

Currently, unmanned aerial vehicles (UAVs) are widely used in solving problems of a civil and militarized nature. Such an aircraft flies by remote control or autonomously along pre-calculated flight paths.

One of the main tasks of ensuring the safe flight of the UAV is the task of constructing the trajectory of its movement in real conditions. Traditionally, the task of constructing a trajectory along which the UAV will move is considered as a task of finding a path on a graph: the vertices of the graph correspond to the points of the object's position in space, and the edges correspond to elementary trajectories, the passage of the UAV along which is considered a trivial task. Thus, the trajectory planning task is reduced to two subtasks: building a graph that simulates the UAV environment, and finding a path along this graph. Graph pathfinding methods are usually based on iterative traversal of graph vertices according to Dijkstra's principle.

The object of research in this work is the process of constructing a sequence of points in space, it is a trajectory of movement and ensures the safe movement of an unmanned aerial vehicle along them. The subject of research is methods of constructing routes on graphs, representation and software processing of spatial maps of the environment.

The purpose of the work is to develop a method for constructing a safe trajectory of movement of an unmanned aerial vehicle between two given points in space. Research methods are based on the methods and fundamentals of information theory and graph theory.

Scientific novelty lies in new approaches to the processing of spatial maps data, their representation in the form of software and graphs of models and building on their basis the trajectory of the movement of an unmanned aerial vehicle.

The practical value lies in increasing the efficiency and use of software systems in solving problems of constructing, calculating characteristics and visualizing the trajectory of movement of unmanned aerial vehicles.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, spatial map, model, parameters, trajectory, route, coordinate algorithm coordinate system, computer system, graph*

Рецензент: доц., канд. техн. наук Левицька Т. О.

Стаття надійшла 30.11.2020 р.

УДК 004.42

Абдулалімов В. Є., Дубовкіна М. Ю., Левицька Т. О., Хохлова К. Ю.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОВОЇ РОБОТИ ФУТЕРОВКИ ЧАВУНОВОЗНИХ КОВШІВ

В роботі розглядається розробка системи моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, що протікає в міру просування рідкого чавуну від моменту випуску з доменної печі до заливання його в сталеплавильний агрегат. Для киснево-конвертерного виробництва велике значення має як стабільний хімічний склад, так і температура чавуну. Це дозволяє значно збільшити продуктивність сталеплавильних агрегатів в результаті стандартизації процесів і усунення плавок з додувками, а також скоротити втрати металу.

Наукова необхідність полягає в візуалізації цього процесу, в розрахунку його характеристик і оптимізації технологічних і конструкційних параметрів з метою поліпшення якості продукції. Метою даної роботи є дослідження і розробка системи моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, яка складається з визначення температури контакту футеровки з розплавом чавуну і визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою. Для досягнення зазначеної мети вирішені наступні завдання: проведений аналіз відомих підходів до визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою, обрані методи та засоби вирішення наукової проблеми, отримані залежності для визначення температури контакту футеровки з розплавом і товщини активного шару футеровки, удосконалено метод визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою, визначена акумулююча здатності активного шару футеровки в процесі експлуатації, розроблена система моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів. В основі математичної моделі лежить метод визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою чавуновозного ковша, в якому враховані температура поверхні (контакту) футеровки - чавун, що залежить від теплофізичних властивостей вогнетрива і розплаву. В роботі встановлено зміну цих властивостей в результаті проникнення чавуну в шви і пори вогнетривної кладки. Визначено фактичне значення коефіцієнта акумулюючої здатності футеровки чавуновозних ковшів, що дозволило встановити причину підвищених втрат на акумуляцію і намітити заходи щодо їх зниження.

Ключові слова: *слова: модель, акумулююча здатність, тепла робота, футеровки, чавуновозний ковш, розплав.*

Вступ. Киснево-конвертерний процес зайняв перше місце серед різних процесів виробництва сталі. Він являє собою поєднання сучасних технологій виплавки, позапічної обробки і безперервного розливання[1-2]. Показники конвертерної плавки залежать від температури чавуну, які визначаються не тільки ходом доменного процесу, а і умовами транспортування [3]. У найближчі 10 - 15 років схема доменна піч - конвертер в Україні залишається найбільш прийнятною і економічно виправданою. Для киснево-конвертерного виробництва велике значення має як стабільний хімічний склад, так і температура чавуну [4-6]. Це дозволяє значно збільшити продуктивність сталеплавильних агрегатів в результаті стандартизації процесів і усунення плавок з додувки, а також скоротити втрати металу. Температура чавуну на випуску з доменної печі становить 1400 °С -1450 °С. При існуючому технологічному процесі доставки в 140 тонних чавуновозних ковшах рідкого металу від доменної печі (ДП) до міксера киснево-конвертерного цеху (ККЦ), падіння температури складає близько 100 °С.

Цей факт свідчить про те, що ресурси щодо вдосконалення процесу доставки чавуну не вичерпані і потребують не тільки більш детального розгляду, а й розробки заходів щодо зниження втрат. В даний час немає чітко сформульованих заходів щодо зниження акумулюючих властивостей ковшів, які подаються під налив з температурою кладки не менше 700°. Цей факт не дозволяє економити додаткового тепла. Також немає наукового підходу до зниження втрат тепла кожухом ковша. Більшість заходів здійснюється візуально і залежить від кваліфікації персоналу. Як відомо людський фактор може привести до помилок, а точний математичний розрахунок завжди є більш надійним інструментом. Теплофізичні властивості внутрішнього шару футеровки (активного шару), змінюються за рахунок взаємодії з рідким чавуном і тільки математична модель дозволить визначитись якою повинна бути величина коефіцієнта акумуляції для оптимального процесу, як зменшити взаємодію футеровки з чавуном, тобто знизити ймовірність проникнення металу в пористий вогнетрив і які основні заходи необхідно виконати, щоб активний робочий шар футеровки менше зношувався в процесі експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Визначення температури на кордоні активного шару і решти футеровки необхідно для розрахунку зовнішніх втрат через кожух ковша, проте довідкові дані мають розбіжності (табл. 1), тому що вони отримані без урахуванням змін теплофізичних властивостей активного шару [5-7]. Треба взяти до уваги, що в процесі експлуатації змінюються теплофізичні властивості шамоту. Скоріш за все, в першу чергу змінюється щільність.

Таблиця 1 – Теплофізичні властивості шамотної цегли за довідковими даними

Теплофізичні характеристики	[5]	[6]	[7]
Щільність - ρ , кг/м ³	2950	2100	2500
Теплоємність - c , кДж/кг °С	0,782	1,15	1,087
Коефіцієнт теплопровідності - λ , Вт/м °С	0,503	1,11	1,4
коефіцієнт температуропровідності - a , м ² /с	0,2x10-6	0,4x10-6	0,5x10-6
Коефіцієнт акумулюючої здатності $\sqrt{\lambda c \rho}$	1077	1637	1950

Математична модель дозволить отримати фактичні дані по теплофізичних властивостях будь-якій поверхні (футеровки), яка контактує з розплавленим металом і тоді можна більш точно розрахувати час охолодження і прийняти рішення про те, яку футеровку треба використовувати.

Метою даної статті є публікація результатів дослідження і розробки системи моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, яка складається з визначення температури контакту футеровки з розплавом чавуну і визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою.

Виклад основного матеріалу.

У кожному циклі внутрішня частина футеровки порожнього ковша за час транспортування охолоджується не на всю глибину, а лише частково. Цю частину назовемо активним шаром

Розглянемо теплообмін активного шару футеровки з навколишнім середовищем. Нехай час охолодження і нагрівання активного шару футеровки однаково, тоді і в період нагріву і в період охолодження товщина активного шару буде незмінною і визначається

$$\delta = \sqrt{a\tau} \quad (1)$$

де a - коефіцієнт температуропровідності, який визначається експериментально з умов стаціонарності.

τ - час поширення потоку тепла

Рівність (1) має місце в будь-який момент часу. Щільності теплових потоків всередині активного шару визначаються його теплофізичними властивостями і різницею температур шару і поверхні. Останнє залежить від інтенсивності теплообміну з дотичним середовищем. Температуру поверхні можна змінювати, змінюючи зовнішній теплообмін.

Щільність теплового потоку q_1 при охолодженні може бути визначена за формулою, наведеною в [8]

$$q(\tau) = \sqrt{\lambda c \rho} (T_k - T_{ox}) \frac{1}{\sqrt{\pi \tau}} \quad (2)$$

де T_k - температура контакту;

T_{ox} - температура охолодження

Відповідно

$$\Delta Q_2 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\lambda c \rho \tau} (T_k - T_{ox}) \quad (3)$$

Зробимо заміну

$$\sqrt{\lambda c \rho \tau} = \sqrt{c^2 \rho^2 \delta^2} = c \rho \delta \quad (4)$$

Інформаційні технології

отримаємо теплоємність охолодженої поверхні (з розмірністю Дж/м²·К) площею $F = 1\text{ м}^2$, тоді теплоємність охолодженого шару є величина $\epsilon\delta F$, де F – площа поперечного перерізу цього шару. Таким чином, $\sqrt{\lambda c \rho \tau} \cdot F(T_k - T_{ox})$ - додаток теплоємності прогрітого шару на різницю температур, тобто ΔQ , коефіцієнт $\frac{2}{\sqrt{\pi}}$ завищує це значення на 13 %.

Тоді

$$\Delta Q_1 = \sqrt{\lambda c \rho \tau} (T_k - T_{ox}) \quad (5)$$

а при охолодженні випромінюванням ΔQ_2 може бути визначена за формулою

$$\Delta Q_2 = \epsilon C_0 \left(\frac{T_{cp}}{100}\right)^4 \tau \quad (6)$$

Оскільки кількість тепла, що надходить до поверхні зсередини охолоджуємого шару, дорівнює кількості тепла, що минає з цієї поверхні, використовуючи рівність (5) і (6), отримаємо

$$\sqrt{\lambda c \rho \tau} (T_k - T_{ox}) = C_0 \left(\frac{T_{cp}}{100}\right)^4 \tau \quad (7)$$

де T_{cp} згідно окремого випадку теореми про повну загальну середню температуру дорівнює [9]

$$T_{cp}^4 = \frac{1}{T_k - T_{ox}} \int_{T_{nox}}^{T_n} T_{ox}^4 dT_{ox} = \frac{T_k^5 - T_{ox}^5}{5(T_k - T_{ox})} \quad (8)$$

так само, тоді

$$\frac{\sqrt{\lambda c \rho}}{\sqrt{\tau_{ox}}} (T_k - T_{ox}) = \epsilon C_0 \frac{T_k^5 - T_{ox}^5}{5(T_k - T_{ox})} \quad (9)$$

Для процесу охолодження порожнього чавуновозного ковша зроблені наступні припущення: втрати тепла випромінюванням з урахуванням конвективного теплообміну приймаємо як випромінювання абсолютно чорного тіла, а потік з охолоджувальної внутрішньої поверхні зменшуємо відповідним співвідношенням площ $F_{гор} / F_{вн}$, де $F_{гор}$ – площа горловини чавуновозного ковша, м²; $F_{вн}$ – площа внутрішньої поверхні ковша, яка знаходиться в контакті з чавуном, м².

$$\frac{\sqrt{\lambda c \rho}}{\sqrt{\tau_{ox}}} (T_k - T_{ox}) = C_0 \frac{T_k^5 - T_{ox}^5}{5(T_k - T_{ox})} \frac{F_{zop}}{F_{вн}} \quad (10)$$

або

$$\sqrt{\lambda c \rho} = A \frac{T_k^5 - T_{ox}^5}{(T_k - T_{ox})^2} \sqrt{\tau_{ox}} \quad (11)$$

де $A = \frac{1}{5} C_0 \frac{F_{zop}}{F_{вн}}$

$\sqrt{\lambda c \rho}$ - коефіцієнт акумулюючої здатності.

Співвідношення (1) справедливо для будь-якого моменту часу в процесі охолодження футеровки чавуновозного ковша і рівняння (11) може бути використано для визначення теплофізичних властивостей футеровки [10].

Для реалізації математичної моделі для розрахунку температури контакту футеровки і чавуну і зміни її в часі, була вибрана мова програмування C ++. Як середовище програмування була обрана RADStudio. На рис. 1 представлена робота системи для довідкових даних (табл. 1), експериментальних та лабораторних даних.

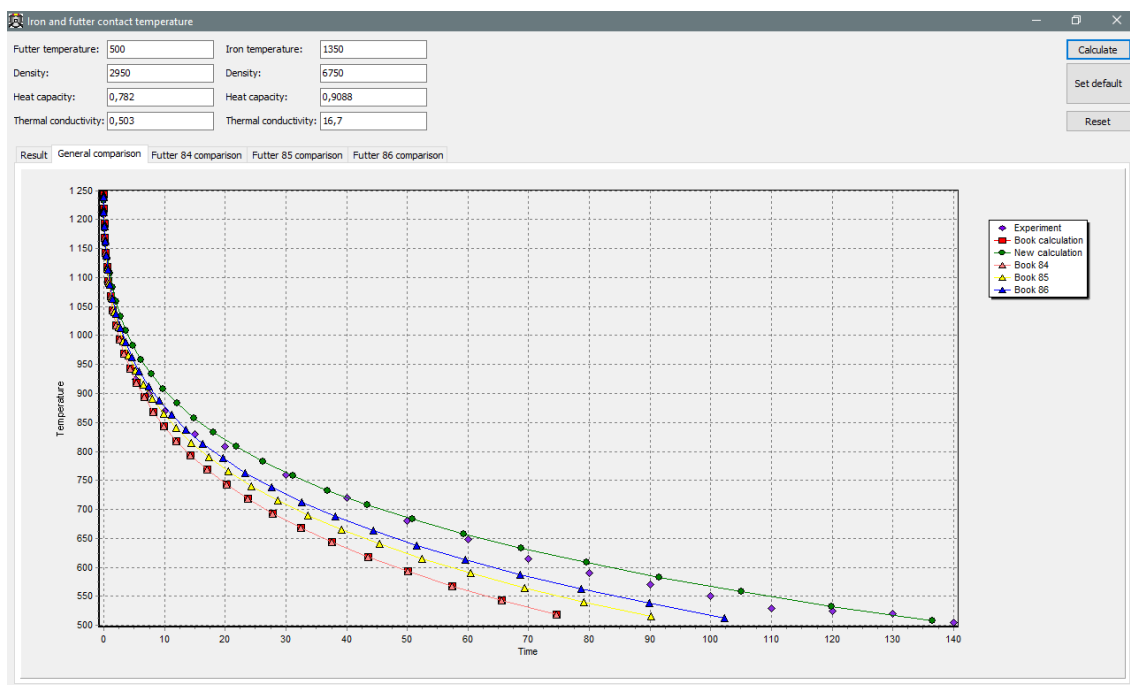


Рисунок 1 – Порівняння з лабораторними та літературними даними

В результаті експериментальних досліджень доведено, що математична модель цілком адекватна, а також уточнена фізична сутність коефіцієнта акумулюючої здатності матеріалу і визначено його фактичне значення, величина якого перевищує довідкове майже в два рази. Встановлено, що в процесі взаємодії футеровки з залізвуглецевим розплавом майже на 20 %

збільшується щільність і коефіцієнт теплопровідності вогнетрива. З цим пов'язані втрати тепла на акумуляцію, які зростають в процесі експлуатації ковша. Використання більш щільного вогнетрива для робочого шару дозволить знизити ці втрати. З метою зниження втрат тепла, при зносі футеровки чавуновозного ковша, пропонується між кожухом і кладкою використовувати теплоізоляційний шар товщиною 0,02 м з волокнистого вогнетрива МКРПГ - 400.

ВИСНОВКИ

Розроблена система моделювання теплової роботи футеровки чавуновозних ковшів, що протікає в міру просування рідкого чавуну від моменту випуску з ДП до заливання його в сталеплавильний агрегат. Розроблена математична модель методу визначення втрат тепла на акумуляцію кладкою чавуновозного ковша, в якому враховані температура поверхні (контакту) футеровки - чавун, що залежить від теплофізичних властивостей вогнетрива і розплаву. В роботі встановлено зміну цих властивостей в результаті проникнення чавуну в шви і пори вогнетривкої кладки. Визначено фактичне значення коефіцієнта акумулюючої здатності футеровки чавуновозних ковшів, що дозволило встановити причину підвищених втрат на акумуляцію і намітити заходи щодо їх зниження.

Список використаних джерел:

1. Коновалов, Ю. В. Пути стабилизации и дальнейшего развития чёрной металлургии Украины / Ю. В. Коновалов, А. А. Минаев // Металл и литьё Украины. – 2008. – № 10. – С. 16–17.
2. Бахчеев, Н. Ф. О прогнозировании основных направлений развития сталеплавильного производства / Н. Ф. Бахчеев, В. Ф. Сарычев, А. А. Кривошейко // Сталь. – 2004. – № 2. – С. 15.
3. Сталь на рубеже столетий / под науч. ред. Ю. С. Карабасова. – М.: МИСИС, 2012. – 664 с.
4. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / С. В. Колтаков [и др.]; под общ. ред. С. В. Колтакова. – М. : Машиностроение, 2011. – 464 с.
5. Теплофизические свойства материалов металлургического производства : справочник / К. Д. Ильченко [и др.]. – Харьков : Основа, 2004. – 196 с.
6. Литовский, Е. Я. Теплофизические свойства огнеупоров : справочник / Е. Я. Литовский, Н. А. Пучкевич. – М. : Металлургия, 1992. – 152 с.
7. Казанцев, Е. И. Промышленные печи / Е. И. Казанцев. – М. : Металлургия, 1975. – 368с.
8. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высш. школа, 1977. – 600 с.
9. Капустин, Е. А. К теории микро и макро переноса / Е. А. Капустин // Металлургическая теплотехника: сб. науч. тр. / НметАУ. – Днепропетровск, 2002. – Т. 5. – С. 150–161.
10. Капустин, Е. А. Аккумуляция теплоты футеровкой чугуновозного ковша / Е. А. Капустин, М. Ю. Дубовкина // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 89–91.

Абдулалимов В. Е., Дубовкина М. Ю., Левицкая Т. А., Хохлова К. Ю.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ФУТЕРОВКИ ЧУГУНОВОЗНЫХ КОВШЕЙ

В работе рассматривается разработка системы моделирования тепловой работы футеровки чугуновозных ковшей, протекающей по мере продвижения жидкого чугуна с момента выпуска с ДП к заливке его в сталеплавильный агрегат. Научная необходимость заключается в визуализации этого процесса, в расчете его характеристик и оптимизации технологических и конструктивных параметров с целью улучшения качества продукции. В основе модели лежит метод определения потерь тепла на аккумуляцию кладкой чугуновозного ковша, в котором учтены температура поверхности (контакта) футеровка - чугун, которая зависит от теплофизических свойств огнеупора и расплава. В работе установлено изменение этих свойств в результате проникновения чугуна в швы и времени огнеупорной кладки. Определено фактическое значение коэффициента аккумулирующей способности футеровки чугуновозных ковшей, что позволило установить причину повышенных потерь на аккумуляцию и наметить меры по их снижению.

Ключевые слова: модель, аккумулирующая способность, тепловая работа, футеровка, чугуновозный ковш, расплав.

Abdulalimov V. E., Dubovkina M. Yu., Levytska T. O., Khokhlova K. Yu.

SIMULATION OF PROCESSES OF THERMAL WORK OF LINING OF CAST IRON BUCKETS

The paper considers the development of a system for modeling the thermal work of the lining of cast iron ladles, which proceeds as the liquid cast iron moves from the moment of release from the blast furnace to its filling into the steelmaking unit. For oxygen - converter production of great importance is a stable chemical composition and temperature of cast iron. This allows you to significantly increase the productivity of steelmaking units as a result of standardization of processes and the elimination of melting with additives, as well as reduce metal losses.

The scientific need is to visualize this process, to calculate its characteristics and optimize technological and design parameters in order to improve product quality. The purpose of this work is to study and develop a system for modeling the thermal work of the lining of cast iron buckets, which consists of determining the contact temperature of the lining with molten cast iron and determining heat loss to the accumulation of masonry. To achieve this goal, the following tasks were solved: analysis of known approaches to determining heat loss for masonry, selected methods and means of solving a scientific problem, obtained dependences for determining the contact temperature of the lining with the melt and the thickness of the active lining layer, improved method for determining heat loss masonry, determined the accumulative capacity of the active layer of the lining during operation, developed a system for modeling the thermal operation of the lining of cast iron buckets. The mathematical model is based on the method of determining heat loss for accumulation by laying masonry ladle, which takes into account the surface temperature (contact) lining - cast iron, which depends on the thermophysical properties of refractories and melt. The change of these properties as a result of penetration of cast iron into seams and pores of refractory

laying is established in work. The actual value of the coefficient of accumulating capacity of the lining of cast-iron buckets was determined, which allowed to establish the cause of the increased losses on accumulation and to outline measures to reduce them.

Keywords: *model: storage capacity, thermal work, linings, cast iron bucket, melt*

Рецензент: доцент, канд. техн. наук Кривенко О. В.

Стаття надійшла

УДК 004.651.4

Федосова І. В., Жуков Д. С.

ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОСУВАННЯ БАСКЕТБОЛЬНОЇ КОМАНДИ В ТУРНІРІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕРЕВА РІШЕНЬ

Прогнозування просування баскетбольної команди в турнірі з використанням дерева рішень. У роботі розглядається побудова дерева рішень для прогнозування просування баскетбольної команди в турнірній таблиці. У дослідженні розглядаються переваги і недоліки дерева рішень, а також проблеми навчання і тестування дерев рішень. У статті описується абсолютно новий підхід для вирішення задачі класифікації даних на основі дерев рішень. Використання нових методів дозволить позбутися від нестачі евристичних алгоритмів, які мають пряме відношення до неправильного вибору критерію поділу класифікації при створенні дерева рішень. Такий новий підхід алгоритму побудови дерева рішень продемонстрував в процесі дослідження більш точну класифікацію даних, а також якість прогнозування результатів. У статті був здійснений прогноз можливостей використання в прикладних цілях дерев рішень для прогнозування економічних і фінансових кризових ситуацій. Для запобігання спаду економіки держави або ж відокремленої компанії або підприємства. Однак перед використанням даних необхідно дотримуватися вимог до форми наданих даних. Також важливо зберегти дані в ієрархічності вигляді. У процесі дослідження автори використовують багатовимірні методи, які є корисними для опису нормативних профілів статистики та їх зв'язку з ситуативними змінами. Статистичний підхід багатовимірних методів з непарними даними є найкращим для визначення статистики, пов'язаної з баскетбольними турнірами. Наведено алгоритм CART класифікації за допомогою дерев рішень, математична модель розрахунку основних вузлів дерева рішень. За допомогою мови програмування Python створений і наведено приклад дерева рішень для поставленого завдання.

Ключові слова: *дерева рішень, класифікація, прогнозування, ентропія, баскетбольна команда, CART.*

Вступ.

До появи інтелектуального аналізу даних спортивні організації в основному покладалися на людський досвід, що виходить від тренерів, скаутів, менеджерів, гравців. Вважалося, що ці фахівці перетворюють історичні записи в корисні знання. Але коли обсяг даних, які вони збирали, ставав все більш і більш величезним, спортивні організації шукали

інші методи, щоб використовувати ті дані, які у них вже були. Методи інтелектуального аналізу спортивних даних можуть сприяти підвищенню продуктивності за рахунок використання історичних записів ігор та об'єднання інформації, пов'язаної з іграми, і тому все більше і більше людей присвячують себе цій галузі.

Національна баскетбольна асоціація (НБА) [1] з моменту свого виникнення налічує понад 67 років. За час зростання цієї організації було сформовано 30 команд, розділених на Східну конференцію і Західну конференцію. У регулярному сезоні зазвичай 82 гри для кожної команди і після сезону по схемі серії best-of-seven. По результатам цих ігор ще 8 команд з кожної конференції виходять у плей-офф. У фіналі вони грають до чотирьох перемог однієї команди. Тобто за чемпіонство відбувається ще від 16 до 28 ігор. Таким чином, за найскромнішими підрахунками, було створено не менше 164820 ігор.

Після кожної зіграної гри НБА збирався масив даних, ці існуючі дані можуть дозволити відкрити цінні знання. Коли люди звертають увагу на свою улюблену команду або гравців, їх обов'язково хвилює результат гри. Однак прогнозування результатів спортивних змагань завжди було складною і привабливою роботою. Зацікавленість баскетболом з кожним роком лише росте, зростає й масиви даних, тому прогнозування перемоги в іграх є актуальною практичною задачею. Крім цього побудова моделі для прогнозування результатів гри може бути використана для інших видів спорту, де використовується така сама схема розподілу ігор.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У статті [2] наводиться аналіз переваг і недоліків дерев рішень, розглядаються питання навчання і тестування дерев рішень. Особлива увага приділяється проблемам збалансованості навчальної вибірки.

Розглядаються також ліси рішень і методи їх навчання. Наводиться короткий огляд методів зменшення взаємозалежності помилок дерев рішень при навчанні лісів рішень. Пропонуються методи подолання недоліків дерев рішень, наводяться результати роботи даних методів.

У роботі [3] розглядається рішення задачі альтернативного вибору на основі нечітких дерев рішень (нечітких позиційних ігор), особливістю яких є використання нечітких якісних оцінок послідовності рішень і станів природи.

У статті [4] автори розробили та програмно реалізували методи індукції дерева рішень для задачі класифікації політрам на основі ряду біохімічних показників. У роботі вивчаються питання обчислювальної складності запропонованого алгоритму.

У роботі [5] пропонується новий підхід до вирішення задачі класифікації даних на основі дерев рішень, що використовує генетичний метод комбінування евристик. Запропонований еволюційний алгоритм побудови дерева рішень показав кращі в порівнянні з іншими моделями результати при короткостроковому прогнозі.

Автор зазначає, що застосування еволюційних методів дозволяє усунути недолік евристичних алгоритмів, пов'язаний з неправильним вибором критерію поділу при побудові дерева рішення, що, у свою чергу, підвищує точність класифікації даних і якість прогнозування в цілому. Даний підхід дозволив підвищити точність класифікації, зберігши всі переваги методу дерев рішень.

У статті [6] автором був зроблений прогноз можливості застосування дерев рішень для прогнозування фінансової кризи в українських страхових компаніях. Використовуючи сформовані набори ознак, побудовано кілька моделей дерев рішень, серед яких шляхом

порівняння класифікаційних характеристик за два періоди обрано найкращу з позиції чутливості та точності модель. На підставі аналізу автором окреслено шляхи вдосконалення практики застосування методу дерев рішень для передбачення кризових явищ у страхових компаніях України.

У роботі [7] описуються основні проблеми, пов'язані з деревом рішень, і поточні точки дослідження. Розглянуто основні алгоритми побудови дерев індукційної класифікації. Автор наводить дослідження і пропонує можливі комбінації зміщення, які можуть зацікавити дослідників при побудові дерев рішень.

Стаття [8] присвячена опису заявки особливості методу дерева рішень у процесі постановки діагнозу. Автором було проаналізовано основні проблемні області предметної галузі, були визначені та розроблені функції, визначено діагностичну систему. Аналіз рішення завдань показав, що найбільш ефективним є метод побудови «дерева рішень», зокрема дерево класифікації, як підвид методу згідно з типом передбачуваного показника. Дерево рішень було побудовано та автором наведено висновки про доцільність його використання в подальшому.

У роботі [9] розглядається задача створення інформаційної системи для предметної області з ієрархічною організацією інформації. Визначається ряд функцій, які необхідно, щоб система, яка розробляється повинна виконувати. Автором формуються вимоги до форми представлення даних, при цьому значну увагу приділено збереженню ієрархічних даних, їх відтворенню, а також відтворенню їх структури.

Постановка проблеми.

Аналізуючи графічний розподіл команд на ігри в турнірі можна побачити схожість з класичним представленням дерева рішень. Дерева рішень використовуються в повсякденних рішеннях, а не тільки в машинному навчанні. Блок-схеми насправді є візуальними уявленнями дерев рішень. Дерево рішень часто є узагальненням досвіду експертів, засобом обміну знаннями про конкретний процес.

Тим самим візуалізація правил представляє деревоподібну структуру даних. Перевага цього алгоритму в тому, що він легко інтерпретується. Багато інших моделей, хоча і більш точні, не володіють цією властивістю і можуть розглядатися як більш «чорний ящик», де важче інтерпретувати, як вхідні дані були перетворені у вихідні дані. Завдяки цій «зрозумілості» і подібності з прийняттям рішень людиною можна легко пояснити свою модель іншій людині, дерева рішень придбали величезну популярність.

Метою даної роботи є побудова дерев рішень для визначення проходження баскетбольної команди до фіналу в турнірі за допомогою методів машинного навчання, а саме алгоритму класифікації CART. Реалізація здійснюється за допомогою мови програмування Python.

Основний матеріал дослідження.

1. Математична модель побудови дерева рішення

При виборі алгоритму для побудови дерев рішень для прогнозування проходження баскетбольної команди до наступного туру було обрано алгоритм CART. Дерево рішень як алгоритм машинного навчання включає в себе потік логічних правил в формі:

ЯКЩО «властивість значення менше x » ТА «значення властивості b менше, ніж y » ТО категорія 1.

Згідно [10], використання багатовимірних методів корисно для опису нормативних профілів ігровій статистики та їх зв'язку з ситуаційними змінними. Отже, цей статистичний

підхід (багатовимірні методи з непараметричними даними) здається більш відповідним для визначення статистики, пов'язаної з грою, яка дозволяє розрізняти команди тих хто виграє і тих, хто програє на великій вибірці, що включає високу продуктивність неоднорідності. Зокрема, багатовимірний метод дерева класифікації і регресії (CART) був запропонований в якості відповідного статистичного інструменту для дослідження і моделювання таких даних [11]. Оскільки він показав, що він є потужним і надійним методом вибору незалежних змінних, які мають найбільший вплив на залежну змінну.

CART - це непараметричний статистичний аналіз, який ідентифікує взаємовиключні і точні підгрупи вибірки, команди яких мають схожі характеристики, які впливають на залежну змінну (наприклад, на результат гри) [11]. Процедура перевіряє всі можливі і / або розділяють змінні і вибирає одну / кілька, які призводять до розбиття на бінарні групи, що найбільш розрізняються щодо залежною змінною. На рисунку 1 представлено схематично відображення дерева рішень згідно алгоритму CART. Кореневий вузол (нерозділені дані) спочатку розгалужується на два дочірніх вузла відповідно до незалежних змінних.

Усередині кожної гілки при розгалуженні дерево продовжує оцінювати незалежні змінні, що залишилися, щоб визначити, яка змінна дає найкращу розбивку. У момент, коли подальше розділення неможливо, встановлюється кінцевий вузол.

Використовуючи статистику, пов'язану з грою, за допомогою алгоритму CART можна виконати пошук по всьому діапазону значень. Та знаходити явного переможця точок відсікання (тобто конкретних значень статистики, пов'язаних з грою) або категорій (наприклад, ситуаційних змінних) відповідно до встановлених відносин між залежними і незалежними змінними. Однак до теперішнього часу цей метод не використовувався в контексті визначення ключової статистики в спорті, пов'язаної з грою, яка розрізняє які команди виграли, а які програли.

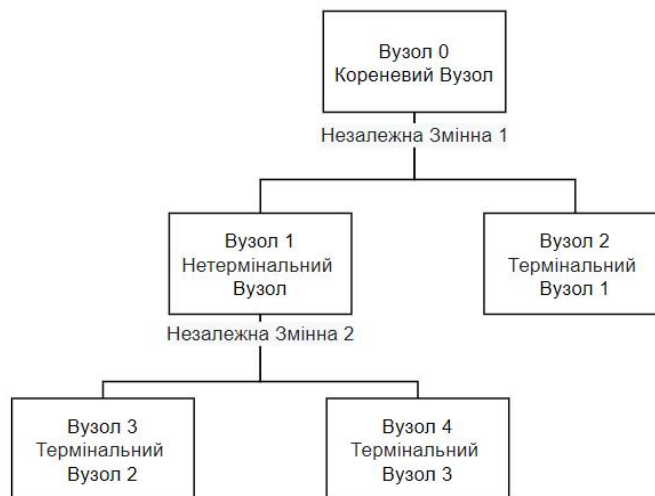


Рисунок 1 – Приклад побудови дерева рішень за допомогою методу CART

Дерева рішень - це спосіб представлення правил в ієрархічній, послідовній структурі, де кожному об'єкту відповідає єдиний вузол, що дає рішення [11]. На ребрах дерева записуються атрибути, від яких залежить цільова функція, в листі - значення цільової функції, а в інших вузлах - атрибути, за якими розрізняються випадки.

За ідею побудови дерев рішень було взято методологію Р. Квінлен [12]. Її інтерпретація полягає в наступному. У разі розподілу даних на тестову та генеральну вибірку, для навчальної вибірки – множини X . Нехай в деякому вузлу дерева сконцентрована множина прикладів \bar{X} , $\bar{X} \in X$. У цьому випадку можливі три ситуації.

1. Множина \bar{X} містить один або більше прикладів, що відносяться до одного класу Y_k . Тоді дерево рішень для \bar{X} – лист, який визначає клас Y_k .

2. Множина \bar{X} не містить жодного прикладу, тобто є порожньою множиною. Тоді це знову лист, і клас, асоційований з листом, вибирається з іншої множини, що асоційована з батьком.

3. Множина \bar{X} містить приклади, які відносяться до різних класів. У такому випадку множину \bar{X} слід розбити на деякі підмножини. Для цього вибирається один з ознак j , що має два і більше відмінних один від одного значень, і \bar{X} розбивається на нові підмножини, кожна з якої містить всі приклади, які мають певний діапазон значень вибраної ознаки. Процедура рекурсивно продовжується до тих пір, доки будь-яка підмножина \bar{X} не буде складатися із прикладів, що відносяться до одного і того ж класу.

Для вибору атрибута розщеплення використовується міра інформативності підпросторів атрибутів, яка ґрунтується на ентропійному методі. Розрахунок міри ентропії [13] дозволяє оцінити розбиття на гілки в дереві рішень. Формула ентропії:

$$S = - \sum_{i=1}^N p_i (\ln p_i) \quad (1)$$

де p_i – ймовірність знаходження системи в i -му стані.

Це дуже важлива концепція, яка використовується у фізиці, теорії інформації та інших областях. Ентропія може бути описана як ступінь хаосу в системі. Чим вище ентропія, тим менше впорядкована система і навпаки. Ентропія допомагає формалізувати «ефективний розподіл даних».

Найпростіша евристика для обробки числових об'єктів у дереві рішень полягає в сортуванні його значень у порядку зростання і перевірки тільки тих порогових значень, в яких змінюється значення цільової змінної.

Крім того, коли в наборі даних є безліч числових ознак, кожне з яких має безліч унікальних значень, вибирається тільки верхній N з порогів, що дає максимальне посилення. Процес полягає в тому, щоб побудувати дерево глибини 1, обчислити ентропію і вибрати кращі пороги для порівняння.

2. Програмна реалізація побудови дерева рішення

Програмна реалізація класифікації команд НБА здійснювалась за допомогою високорівневої мови програмування загального призначення Python. Для програмної реалізації було вирішено побудувати дерево рішень для прогнозування виходу команди в плей-офф. Фрагмент вибірки, та показники для оцінки наведено на рисунку 2.

Усього вибірка нараховує близько 4000 записів, кожний запис характеризується набором показників, розглядаються записи з 1980 року по 2013 рік. Всього у вибірки є 20 показників: `easonEnd` - рік кінця сезону; `Team` - назва клубу; `Playoffs` - чи пройшов клуб в

постсезона (можливість поборотися в турнірі за чемпіонство сезону); W - кількість перемог за сезон; PTS - загальна кількість очок, набраних клубом в іграх сезону; oppPTS - загальна кількість очок, пропущених клубом від опонентів в іграх сезону; FG - загальна кількість реалізованих (забитих) м'ячів; FGA - загальна кількість викинутих м'ячів; 2P - загальна кількість 2-очкових влучань; 2PA - загальна кількість викинутих 2-очкових м'ячів; 3P - загальна кількість 3-очкових влучань; 3PA - загальна кількість викинутих 3-очкових м'ячів; FT - загальна кількість забитих штрафних кидків; FTA - загальна кількість викинутих штрафних кидків; ORB - загальна кількість підборів в нападі (повернення м'яча собі у володіння після промаху команди); DRB - загальна кількість підборів в захисті (право на володіння після промаху команди-суперника); AST - загальна кількість результативних передач (результативна - передача, відразу після якої пішов набір очок команди); STL - загальна кількість перехоплень; BLK - загальна кількість блокшотів; TOV - загальна кількість втрат м'ячів у команди.

```
df = pd.read_csv("C:/NBA_train.csv")
```

```
df.head()
```

	SeasonEnd	Team	Playoffs	W	PTS	oppPTS	FG	FGA	2P	2PA	3P	3PA	FT	FTA	ORB	DRB	AST	STL	BLK	TOV
0	1980	Atlanta Hawks	1	50	8573	8334	3261	7027	3248	6952	13	75	2038	2645	1369	2406	1913	782	539	1495
1	1980	Boston Celtics	1	61	9303	8664	3617	7387	3455	6965	162	422	1907	2449	1227	2457	2198	809	308	1539
2	1980	Chicago Bulls	0	30	8813	9035	3362	6943	3292	6668	70	275	2019	2592	1115	2465	2152	704	392	1684
3	1980	Cleveland Cavaliers	0	37	9360	9332	3811	8041	3775	7854	36	187	1702	2205	1307	2381	2108	764	342	1370
4	1980	Denver Nuggets	0	30	8878	9240	3462	7470	3379	7215	83	255	1871	2539	1311	2524	2079	746	404	1533

Рисунок 2 – Фрагмент вибірки зі статистичними даними по командам НБА

Перед моделюванням будь-яку вибірку даних слід додатково обробити (видалення пустих значень, нормалізація даних). Розбиття всіх даних на тестову та генеральну вибірку виконувалось у співвідношенні 30 % даних для тестової вибірки та 70 % для генеральної вибірки. Розроблена математична модель після її тестування на тестовій вибірці показало точність в 0,729. Спроба покращити показник точності приводить до перенавчання розробленої моделі. При тестуванні основним критерієм розбиття даних було взято міра ентропії. Після навчання тестової вибірки було побудовано дерево рішень для всієї вибірки даних.

При моделюванні генеральної вибірки даних, аналіз відбувався до 2013 року при цьому прогнозування проводилось на наступні роки, для перевірки адекватності моделі. При аналізі отриманого прогнозу можна зробити висновок, що модель адекватна та її прогноз становить 0,642 точності. Дерево було розбито на основні три класи, додаткові значення у разі якщо вони мають не повністю схожу структуру в дереві рішень, відображаються кольором схожим на основний клас. На рисунку 3 наведено фрагмент дерева рішень, а саме розподіл на нульовому рівні, на дві гілки: «правда» та «брехня».

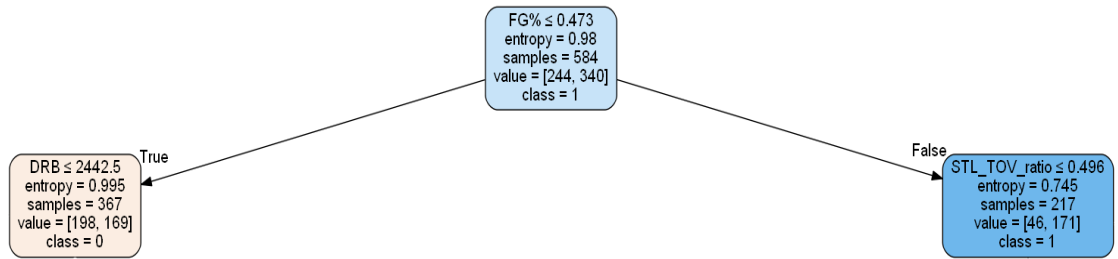


Рисунок 3 – Дерево рішень для розподілу баскетбольної команди в турнірній таблиці, нульовий рівень

На рисунку 4 зображено фрагмент гілки подальшого розбиття гілки «права».

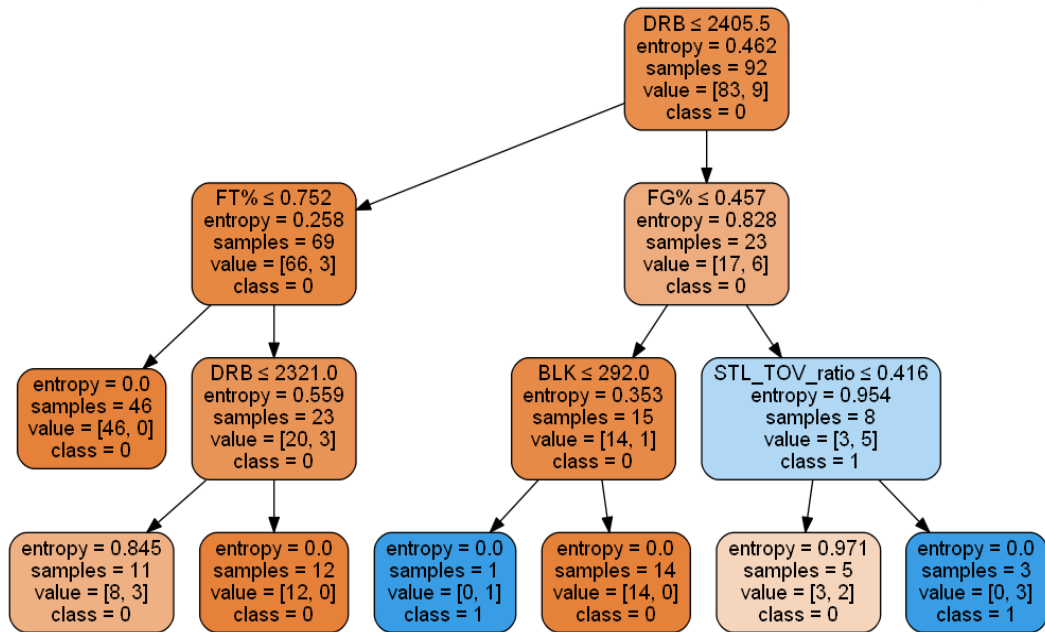


Рисунок 4 – Фрагмент дерева рішень, розгалуження гілки «права»

Варто зазначити, що дерево досить правдоподібно розділяє статистику команд на категорії, порівнюючи в потрібній черговості всі ключові параметри. Тобто, спочатку дерево перевіряє відсоток реалізації кидків з гри. Граничним значенням тут виступає 47,5 %. Адже дійсно, в сучасному баскетболі відсоток реалізації кидків з гри, що дорівнює 50 % вже вважається досить високим показником. Після поділу за кидками, слід перевіряти:

- кількість підбирань команди в захисті (кожен підбір дає право володіння м'ячем команді, чий гравець оформив підбір, що дає можливість команді добрати додаткові очки);
- співвідношення втрат і перехоплень (якщо команда часто втрачає м'яч в нападі, то навіть хороший відсоток кидків і щільна опіка власного щита будуть тільки компенсувати різницю в рахунку, а не давати перевагу);
- кількість блокшотів (їх вплив обумовлено тим, що після блокшота слід можливість оформити підбір у захисті, який, як ми вже знаємо, має вплив на набір очок).

Якщо кожен з цих показників має значення вище середнього, то вже можна робити висновок про те, що команда пройде в турнір постсезона. Це основні показники при аналізі результативності команди при грі.

У разі коли основних даних не достатньо, то слід звертати увагу на другорядні показники:

- кількість результативних передач (збільшення динаміки гри дає більше шансів знайти більш вигідну позицію для набору легких очок в нападі);
- відсоток реалізації штрафних кидків (вони не є основним способом набору очок команди, однак за статистикою 15-25 очок команди в кожній грі припадають на штрафні кидки, що може зіграти свою роль у вирішальному відрізку гри).

ВИСНОВКИ

Проектування системи визначення можливості попадання баскетбольної команди в фінал чи просування її по турнірній таблиці є актуальною задачею. Виконання цієї задачі із використанням класифікації за допомогою дерева рішень, як альтернативного варіанту прогнозування гри, дозволить не лише звичайним вболівальникам робити прогноз та й адміністрації команд своєчасно прокрашувати показники своїх команд та гравців. Спираючись на побудоване дерево рішень було проведено аналіз результатів згідно минулих літ, який показав високу точність збігу з реальними результатами ігор. Але при цьому модель не реалізує та не прогнозує неспортивну поведінку, тобто результати ігор, коли команда спеціально програє супернику.

Список використаних джерел:

1. Tribuna.com [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ua.tribuna.com/>
2. Кафтанников, И. Л. Особенности применения деревьев решений в задачах классификации [Электронный ресурс] / И. Л. Кафтанников, А. В. Парасич // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 26–32. – Режим доступа: <https://vestnik.susu.ru/ctcr/article/view/4205>
3. Чернов, В. Г. Нечеткие деревья решений (нечеткие позиционные игры) / В. Г. Чернов // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 5 (48). – С. 8–14.
4. Андрущак, І. Є Програмна реалізація методу індукції дерева рішень для класифікації політрам: питання обчислюваної складності / І. Є. Андрущак, Ю. С. Повстяна // Штучний інтелект. – 2014. – № 2. – С. 100–106.
5. Ржеуцький, А. В. Эволюционный алгоритм построения дерева решений / А. В. Ржеуцький, А. А. Сукончиков // Программные продукты и системы. – 2011. – № 3. – С. 22–24.
6. Литвин А. В. Розробка дерев рішень для прогнозування фінансової кризи в страхових компаніях України / А. В. Литвин // Наукові записки НаУКМА. Економічні науки : зб. наук. пр. – Київ, 2015. – Т. 172. – С. 59–64.
7. Kotsiantis, S. B. Decision trees: a recent overview / S. B. Kotsiantis // Artificial Intelligence Review. – 2013. – Vol. 39, April. – P. 261–283.
8. Басюк, Т. Застосування методу «дерева рішень» для побудови системи встановлення діагнозу / Т. Басюк, І. Дуб'як // Інформація, комунікація, суспільство 2017 : матеріали 6-ої Міжнародної наукової конференції ІКС-2017 (Славське, 18–20 травня

2017 р.). – Львів, 2017. – С. 210–211.

9. *Чирун Л. В.* Інтелектуальний аналіз дерева прийняття рішень в інформаційних системах скринінгового спостереження за імунологічними пацієнтами / *Л. В. Чирун, Є. Я. Лецинський* // Інформаційні системи та мережі. – 2008. – № 610 (1). – С. 233–244.

10. *Moura, F. A.* Analysis of football game-related statistics using multivariate techniques *F. A. Moura, L. E. B. Martins, S. A. Cunha* // Journal of Sports Sciences. – 2014. – Vol. 32, N 20. – P. 1881–1887.

11. *Loh, Wei-Yin* Classification and Regression Trees [Electronic resource] / *Wei-Yin Loh* // Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. – 2011. – January. – P. 14–23. – Mode of access: <https://doi.org/10.1002/widm.8>

12. *Quinlan, Ross J.* C4.5 : Programs for Machine learning / *Ross J. Quinlan.* – San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, 1993. – 302 p.

13. *Кочетков, А. В.* О различных смыслах понятия «энтропия» [Электронный ресурс] / *А. В. Кочетков, П. В. Федотов* // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2015. – Т. 7, № 6. – С. 1–13.– Режим доступа:<http://naukovedenie.ru/PDF/72TVN615.pdf>

Федосова И. В., Жуков Д. С.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОДВИЖЕНИЯ БАСКЕТБОЛЬНОЙ КОМАНДЫ В ТУРНИРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ

Прогнозирование продвижения баскетбольной команды в турнире с использованием дерева решений. В работе рассматривается построение дерева решений для прогнозирования продвижения баскетбольной команды в турнирной таблице. В исследовании рассматриваются преимущества и недостатки дерева решений, а также проблемы обучения и тестирования деревьев решений. В статье описывается совершенно новый подход для решения задачи классификации данных на основе деревьев решений. Использование новых методов позволит избавиться от недостатка эвристических алгоритмов, которые имеют прямое отношение к неправильным выбором критерию разделения классификации при создании дерева решений. Такой новый подход алгоритма построения дерева решений продемонстрировал в процессе исследования более точную классификацию данных, а также качество прогнозирования результатов. В статье был осуществлён прогноз возможностей использования в прикладных целях деревьев решений для прогнозирования экономических и финансовых кризисных ситуаций. Для предотвращения спада экономики государства или же обособленной компании или предприятия. Однако перед использованием данных необходимо придерживаться требований к форме предоставленных данных. Также важно сохранить данные в иерархичном виде. В процессе исследования авторы используют многомерные методы, которые являются полезными для описания нормативных профилей статистики и их связи с ситуативными изменениями. Статистический подход многомерных методов с непарными данными является самым подходящим для определения статистики, связанной с баскетбольными турнирами. Приведен алгоритм CART классификации с помощью деревьев решений, математическая модель расчета основных узлов дерева решений. С помощью языка программирования Python создан и приведен пример дерева решений для поставленной задачи.

Ключевые слова: *деревья решений, классификация, прогнозирование, энтропия, баскетбольная команда, CART.*

Fedosova I. V., Zhukov D. S.

CONSTRUCTION OF DECISION TREES FOR DETERMINING THE PASSAGE TO THE FINAL OF A BASKETBALL TEAM USING MACHINE LEARNING

Construction of decision trees for determining the passage to the final of a basketball team using machine learning. The paper considers the construction of a decision tree to predict the progress of a basketball team in the standings. The study examines the advantages and disadvantages of a decision tree, as well as the problems of training and testing decision trees. This article describes a completely new approach to solving the problem of data classification based on decision trees. The use of new methods will allow to get rid of the lack of heuristic algorithms that are directly related to the wrong choice of the classification separation criterion when creating a decision tree. This new approach of the decision tree construction algorithm demonstrated in the process of research a more accurate classification of data, as well as the quality of forecasting results. In the article, a forecast was made of the possibilities of using decision trees for applied purposes for predicting economic and financial crisis situations. To prevent a recession in the economy of the state or a separate company or enterprise. However, before using the data, you must adhere to the requirements for the form of the data provided. It is also important to keep the data in a hierarchical manner. During the research, the authors use multidimensional methods that are useful for describing the normative profiles of statistics and their relationship to situational changes. The statistical approach of multivariate methods with unpaired data is most suitable for determining statistics related to basketball tournaments. An algorithm for CART classification using decision trees, a mathematical model for calculating the main nodes of a decision tree are presented. Using the Python programming language, an example of a decision tree for the task at hand has been created and presented.

Keywords: *decision trees, classification, forecasting, entropy, basketball team, CART.*

Рецензент: **канд. техн. наук**, доц. Проніна О. І.

Стаття надійшла 23.11.2020 р.

УДК 004.93

Левицька Т. О., Король М. Д.

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ РІШЕННЯ ПРИ УПРАВЛІННІ ЗАПАСАМИ ДРІБНООПТОВИХ ТОВАРІВ МЕТОДАМИ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Дана стаття присвячена аналізу проблем управління запасами дрібнооптових товарів. Системи нечіткого виводу широко використовуються для вирішення завдань управління різними об'єктами і процесами. При цьому створення нечіткої моделі визначається на основі формальних параметрів досліджуваної системи в термінах лінгвістичних змінних. Однією з проблем управління запасами товарів є існуюча

невизначеність вихідних даних і отриманих результатів. Товари, якими запасуються, в більшості випадків відрізняються вартістю, вагою та об'ємом. При цьому вони є неоднорідними за своєю роллю в торговому процесі: невелика частина товарів забезпечує найбільшу частину доходів магазину і, навпаки, широка асортиментна лінійка дає незначну частку виручки. Тому актуальною задачею є підтримання необхідного і достатнього обсягу запасів для забезпечення плану продажів і необхідно зробити таке регулювання автоматичним, забезпечуючи оптимальні запаси. Проведено систематизацію науково-технічної інформації з теми дослідження. Аналіз показав, що актуальними стають питання вдосконалення управління запасами дрібнооптових товарів підприємства на основі побудови економіко-математичних моделей, які не потребують імовірнісного підходу. Для вирішення цих проблем успішно використовується апарат теорії нечіткої логіки. Застосування нечітких величин в управлінні запасами виправдано тим, що багато параметрів в таких завданнях принципово не є випадковими, хоча і відносяться до невідомих, невизначених. В статті розглянуто механізм нечіткого логічного висновку та його етапи. Сформовані вхідні змінні для системи нечіткого висновку управління запасами дрібнооптових товарів: «кількість товарів продано сьогодні», «кількість товарів продано вчора», «кількість товарів продано місяць тому», «кількість товарів на складі», а також вихідна – «розмір заказу». Для запропонованих лінгвістичних змінних обрано терми та функції приналежності. Проведено моделювання системи нечіткого виведення для планування запасів дрібнооптових товарів у середовищі Matlab. Результатами експериментів підтверджено адекватність розробленої моделі, що дозволяє подальше впровадження запропонованої моделі та нечіткого методу в систему підтримки рішення при управлінні запасами дрібнооптових товарів.

Ключові слова: управління запасами, дрібнооптові товари, механізм логічного висновку.

Постановка проблеми. В даний час активно проводяться дослідження, присвячені питанням вдосконалення і практичного використання систем підтримки прийняття рішень для вирішення завдань управління запасами [1-7]. Традиційно дійовими особами є виробники, оптові і роздрібні організації торгівлі. Вони приймають на себе ризики, пов'язані зі статусом тимчасових власників товару, і вступають в договірні відносини з іншими учасниками ринку - конкретними споживачами.

На сьогоднішній день однією з проблем управління запасами товарів є існуюча невизначеність вихідних даних і отриманих результатів. Детерміновані опису систем управління запасами рідко бувають адекватними реальним процесам, так як останні є нестабільними і невизначеними, що особливо характерно для сучасної економіки. Якість управління в цих випадках можна підвищити на основі використання моделей, що враховують наявні невизначеності. Сьогодні облік невизначеностей проводиться в основному за допомогою імовірнісних методів. Однак їх застосування ускладнено необхідністю мати частотні розподілу невизначених параметрів, які неможливо отримати через високу трудомісткість збору інформації по багатотисячній номенклатурі застосовуваних на підприємстві матеріалів або, найчастіше, через відсутність такої інформації в репрезентативному обсязі. В умовах, що склалися актуальними стають питання вдосконалення управління запасами дрібнооптових товарів підприємства на основі побудови економіко-математичних моделей, які не потребують імовірнісного підходу. Для цього

використовується апарат теорії нечіткої логіки [8]. Він дозволяє оперувати як з точно заданими параметрами, так і з характеристиками, інформація про яких заснована на нечітких, суб'єктивних оцінках експертів.

Середньостатистична торгово-закупівельна система включає в себе більше 500 тис. різних найменувань виробів, наприклад, стандартний магазин - до 50 тис. видів товарів. Товари, якими запасуються, в більшості випадків відрізняються вартістю, вагою та об'ємом. При цьому вони є неоднорідними за своєю роллю в торговому процесі: невелика частина товарів забезпечує найбільшу частину доходів магазину і, навпаки, широка асортиментна лінійка дає незначну частку виручки. У зв'язку з цим товарні запаси можна класифікувати як неоднорідні матеріальні запаси. Процес формування цих запасів є процесом виведення з обороту частини фінансових коштів, що призводить до необхідності створення дієвих способів ефективного управління використанням запасів, що дозволяють знизити тривалість операційного циклу, зменшити поточні витрати на зберігання, скоротити втрати від дефіциту товарів на складі і т.д. Завдання полягає в тому, щоб зробити регулювання вхідного потоку автоматичним, забезпечуючи оптимальні запаси.

У зв'язку з цим розробка системи підтримки рішення при управлінні запасами на основі інтелектуальних технологій є актуальним напрямком. Основна задача при цьому – підтримання необхідного і достатнього обсягу запасів для забезпечення плану продажів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Системи нечіткого виводу широко використовуються для вирішення завдань управління різними об'єктами і процесами. При цьому створення нечіткої моделі визначається на основі формальних параметрів досліджуваної системи в термінах лінгвістичних змінних.

В роботі [1] розроблений алгоритм визначення нечіткого трикутного числа, що дозволяє особі, що приймає рішення щодо закупівель, визначити найбільш оптимальну і прийнятну для підприємства в даний момент часу його розвитку стратегію. Застосування нечітко-множинного підходу дозволяє враховувати вплив різних варіантів вихідних даних на невизначеність планованих результатів і кількісно оцінити пов'язані з цим управлінські ризики. Апробація запропонованої економіко-математичної моделі для управління запасами сировини і матеріалів на основі врахування невизначеності зовнішнього середовища для меблевого підприємства показала, що модель є економічно ефективною і її використання дозволить мінімізувати витрати [1].

Авторами роботи [2] для автоматизації процесу управління складськими запасами описаний підхід по створенню інтелектуальної системи, що базується на застосуванні методу нечіткої логіки. В основні функції системи входять: зберігання даних по всім попереднім періодам та інформації про постачальників, "передбачення" можливих затримок у постачанні, постійний контроль в реальному масштабі часу кількості товарів на складі.

В роботі [3] запропоновано метод формалізації систем управління запасами, що відрізняється формалізацією параметрів, які мають вербальне опис і формлізуються із застосуванням нечітких інтервальних оцінок або у вигляді лінгвістичної змінної. Автором розроблено метод оптимізації управління системи управління запасами, що відрізняється концептуальним підходом, включає формулювання завдання нечіткої оптимізації, вибір моменту замовлення в моделі з проміжним контролем і розробку ситуаційної моделі, яка на основі обробки і знань фахівців в відображає відповідність між наборам і нечітких змінних, що характеризують систем у управління запасами, і параметрам і управління.

У роботі [4] представлено алгоритм побудови моделі управління запасами за умови, коли невідомий попит на ресурс моделюється за допомогою нечіткої логіки. Алгоритм може бути застосований, зокрема, і для інноваційного товару або послуги, коли історичні дані про попит відсутні. Таким чином, на основі спостережень за попитом на подібні товари та на основі суджень експертів прогнозне значення попиту може бути представлено як трикутне нечітке число. У результаті значення функції витрат, відповідно, також є нечіткими числами. Для дефазифікації цієї функції в роботі використано метод медіани, у результаті чого отримано дійснозначну функцію витрат. Для знаходження оптимальних стратегій функціонування системи управління запасами було використано критерій мінімізації функції витрат, отриманої за наведеним алгоритмом, що дозволило в явному вигляді записати оптимальні розв'язки задачі. Знайдений алгоритм пошуку оптимальних стратегій може бути використаний при побудові програмного забезпечення для оптимізації закупівель на виробництві за відсутньої історії попередніх продажів [4].

Автори [5] зробили висновок, що принципи нечіткої логіки дозволяють звести кількість необхідних даних по вантажах до мінімуму, а також врахувати різні збої в постачаннях, як за термінами, так і за кількістю. У зв'язку з цим процедуру прийняття рішення про розміщення товару в тому чи іншому місці можна перекласти на інформаційну систему, а не на експертний погляд співробітника складу. Даний підхід відкриває великі можливості для оптимізації різних логістичних завдань, може бути використаний для підвищення ефективності різних сфер діяльності підприємства.

В роботі [6] запропонована нечітка економіко-математична модель управління багатонаменклатурними товарними запасами торгово-закупівельного підприємства, цільовою функцією якої є різниця між сумарною річною виручкою і сумарними річними логістичними витратами (Що включають витрати на придбання товарів, їх зберігання на складі, оформлення замовлення і втрати від дефіциту товарів на складі). В якості змінних оптимізації використовуються щомісячні обсяги партії поставок того чи іншого товару.

Автори роботи [7] зацікавлені у виробленні хороших наближених рішень нечітких задач управління запасами, що складаються з одного елемента, з періодом N . Це проблема нечіткого управління запасами, оскільки деякі параметри (вартість замовлення, вартість зберігання, штрафні витрати) можуть бути нечіткими числами. В роботі розглянуто три випадки: (1) попит відомий кожен період; (2) попит невідомий і нечіткий кожен період; і (3) попит нечіткий і допускається відстрочений замовлення.

Застосування нечітких величин в управлінні запасами виправдано тим, що багато параметрів в таких завданнях принципово не є випадковими, хоча і відносяться до невідомих, невизначених. Управління запасами в умовах невизначеності вихідних даних із застосуванням теорії нечітких множин є актуальною задачею [1-7].

Мета дослідження: дослідити можливість використання нечіткого управління запасами дрібнооптових товарів.

Основний матеріал дослідження. Запаси на складі формуються при деякому динамічному вхідному і вихідному потоках. Оскільки вихідний потік змінюється протягом часу і у великій мірі залежить від зовнішніх умов (наприклад, попиту), то все це призводить до необхідності регулювання вхідного потоку.

Процес зміни поточних запасів володіє деякою інерційністю, а саме: після включення режиму «збільшення запасу» відбувається поступове їх накопичення. У момент відключення цього режиму запаси продовжують наростати протягом ще невеликого, але кінцевого

проміжку часу. Аналогічна картина спостерігається при включенні або відключенні режиму «зменшення запасу». Щоб врахувати всі ці особливості процесу управління запасами дрібнооптових товарів пропонується метод на основі нечіткого висновку.

В якості вхідних параметрів обрані наступні вхідні та вихідні данні:

- sold_today – вхідна змінна «кількість товарів продано сьогодні»;
- sold_yestaday – вхідна змінна «кількість товарів продано вчора»;
- sold_month_ago – вхідна змінна «кількість товарів продано місяць тому»;
- in_stock – вхідна змінна «кількість товарів на складі»;
- order – вихідна змінна «розмір заказу».

Автоматизація процесу управління запасами виконується з використанням досвіду і евристик експертів (база знань) [8]. В процесі функціонування такої системи на вхід надходять нові дані, які перетворюються в керуючий вплив. Суть проектування такої системи полягає в наступному. На першому етапі на підставі знань і досвіду експерта визначаються форма і кількість лінгвістичних термів, що описують вхідні і вихідні змінні системи. В цьому випадку емпіричні знання про даної проблемної області можуть бути представлені в формі евристичних правил правил «ЯКЩО - ТО» [8], які застосовуються в разі ручного регулювання. Ця інформація в подальшому використовується при побудові бази знань системи нечіткого виведення, яка дозволяє реалізувати дану модель нечіткого управління.

Для нечіткого управління запасами дрібнооптових товарів визначені для лінгвістичних змінних терми та функції приналежності, як показано в таблиці 1 та на рисунках 1-5.



Рисунок 1 – Функція приналежності вхідних змінних для змінної «sold_today»

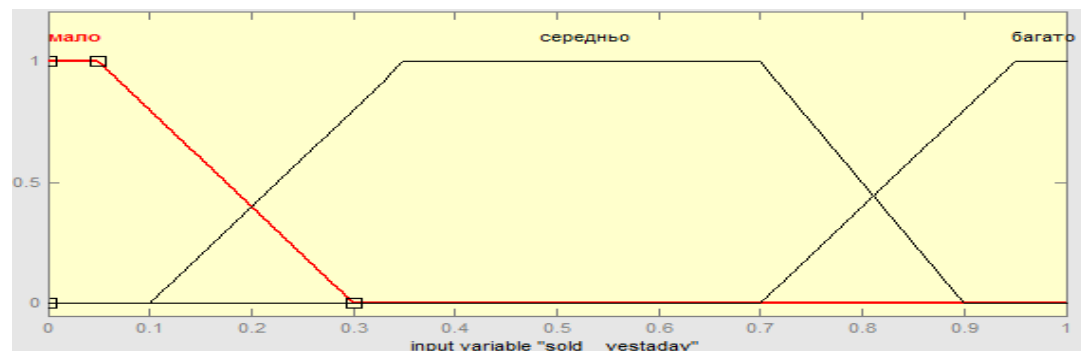


Рисунок 2 – Функція приналежності вхідних змінних для змінної «sold_yestaday»

Інформаційні технології

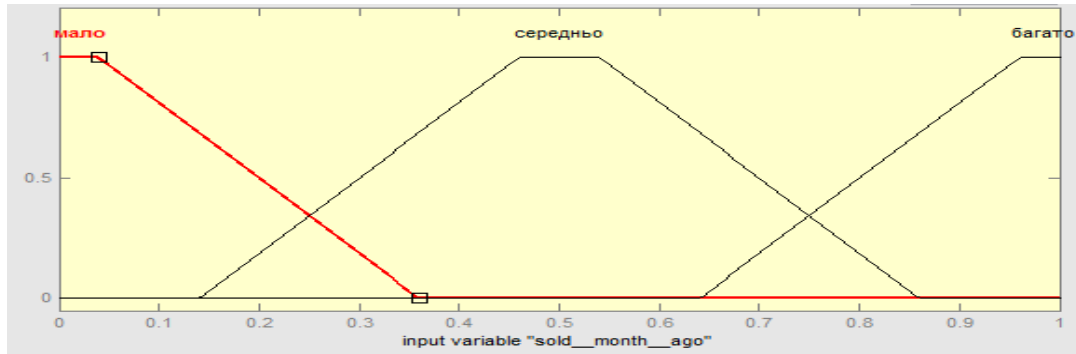


Рисунок 3 – Функція приналежності вхідних змінних для змінної «sold_month_ago»

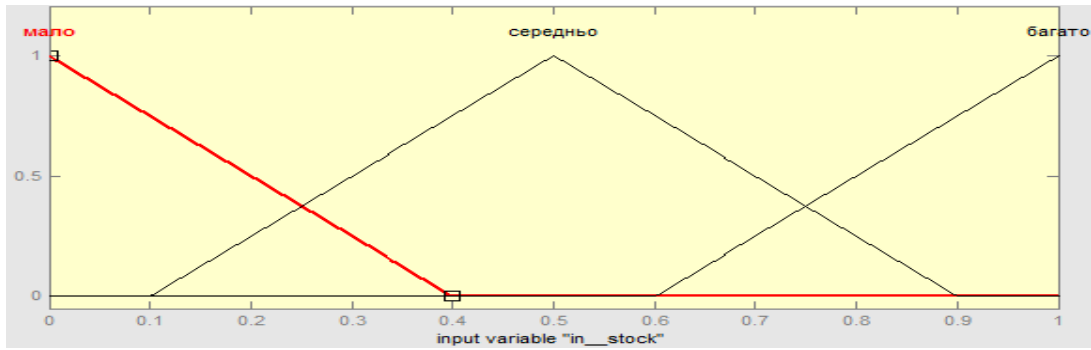


Рисунок 4 – Функція приналежності вхідних змінних для змінної «in_stock»

Таблиця 1 – Параметри лінгвістичних змінних

Ім'я лінгвістичної змінної	Терм-множина	Вид функції приналежності
sold_today	TST= {«мало», «середньо», «багато»}	Трапецевидна
sold_yestaday	TSY= {«мало», «середньо», «багато»}	Трапецевидна
sold_month_ago	TSM= {«мало», «середньо», «багато»}	Трапецевидна
in_stock	TIS= {«мало», «середньо», «багато»}	Треугольна
order	T _O = {«мало», «середньо», «багато»}	Треугольна

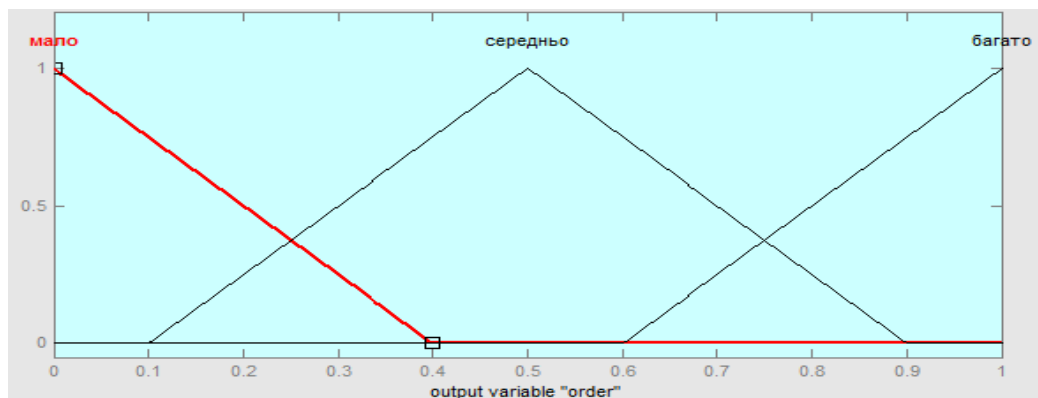


Рисунок 5 – Функції приналежності вихідної змінної order

Для перевірки моделі та методу управління запасами на основі нечіткого висновку було проведено моделювання у середовищі Matlab [9]. Знання експертів в предметній області у вигляді 81 правила були закладені у база правил, фрагмент якої наведено на рисунку 6.

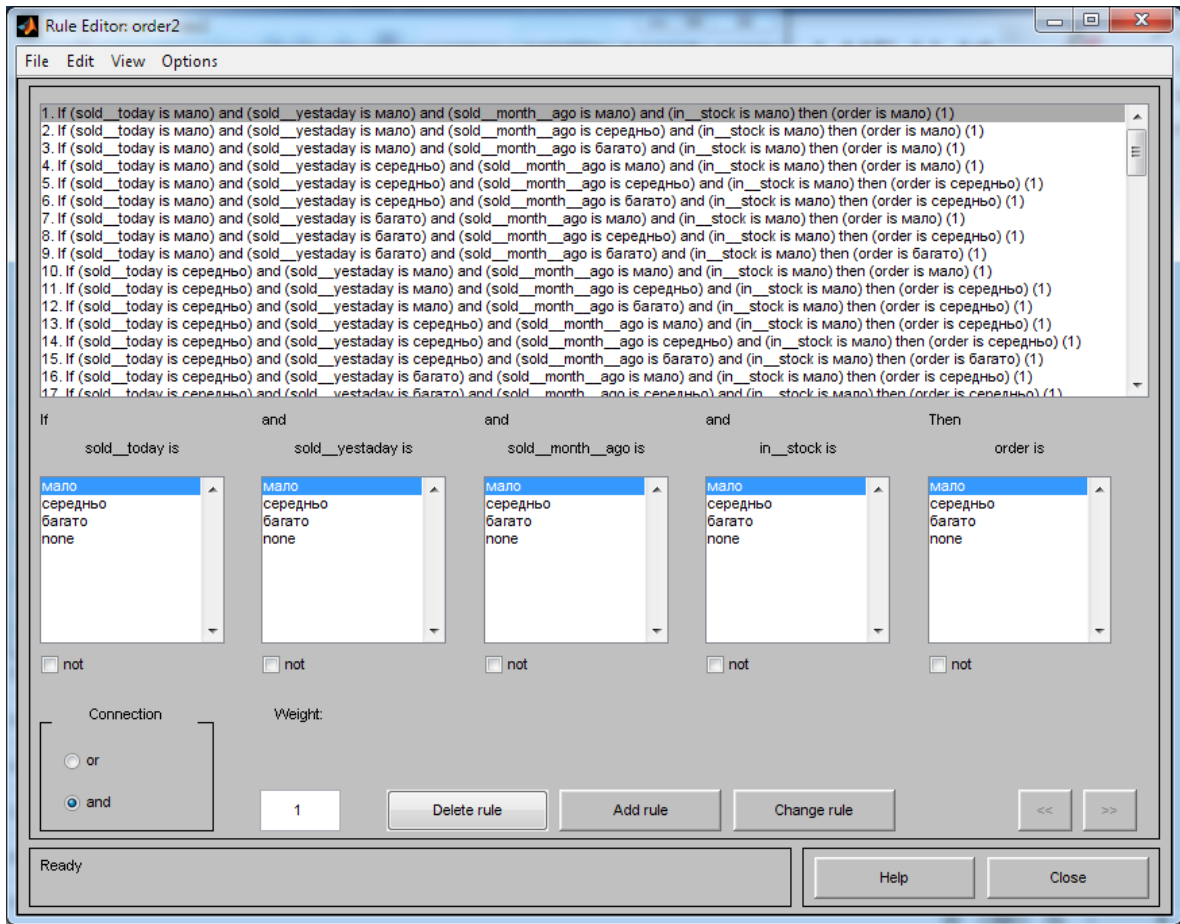


Рисунок 6 – Фрагмент бази правил

На основі цих даних був застосований механізм логічного висновку, схема якого представлена на рисунку 7.

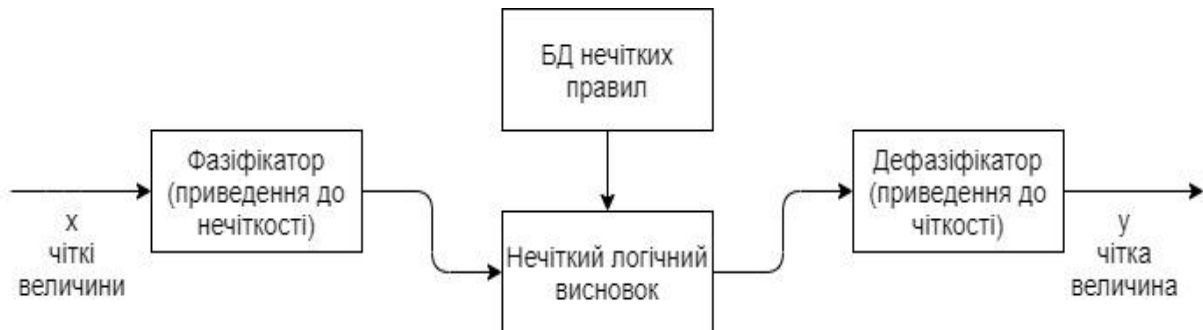


Рисунок 7 – Механізм нечіткого логічного висновку

Цей процес включає чотири складові [8]:

- введення нечіткості (фазифікація);
- нечіткий висновок;
- композиція і приведення до чіткості (дефазифікації);
- база даних нечітких правил за якими аналізуються вхідні дані і перетворюються у висновок.

На етапі фазифікації встановлюється відповідність між значенням вхідної змінної (числове значення) і функцією приналежності для кожного лінгвістичного терма, що входить в підумови бази правил системи нечіткого виведення. Дефазифікація (приведення до чіткості) являє собою процедуру знаходження чіткого значення для кожної лінгвістичної змінної. В свою чергу нечіткий логічний висновок включає агрегування, активізацію, акумуляція. Агрегування являє собою процедуру визначення ступеня істинності умов для кожного правила. Активізація визначає процедуру ступеня істинності для кожного з підвисновків правил нечітких продукцій. Акумуляція є процедуру знаходження функції приналежності для кожної вихідної лінгвістичної змінної. При цьому необхідно об'єднати (акумулювати) всі ступені істинності висновків, що належать різним правилам системи нечіткого виведення. Для методу управління запасами на основі нечіткого висновку був застосований алгоритми Мамдані (Mamdani).

На рисунку 8 приведено процес перевірки адекватності моделі

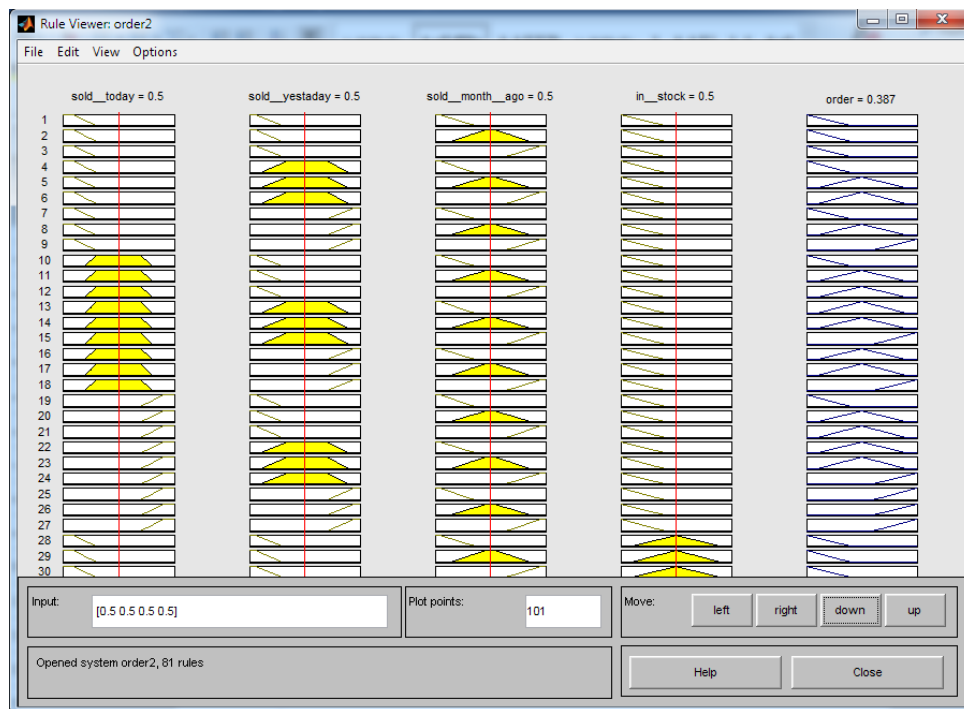


Рисунок 8 – Перевірка результатів нечіткого висновку

На основі результатів, що отримані в середовищі Matlab, виконане порівняння з думкою експертів. Результат приведено на рисунку 9.



Рисунок 9 – Фрагмент експерименту

Порівняння показало, що запропоновані вхідні дані, обрані для них параметри та сформовані правила відображають знання експертів в цій галузі. Таким чином, розроблена модель може бути впроваджена в систему підтримки рішення при управлінні запасами дрібнооптових товарів.

ВИСНОВКИ

Система нечіткого логічного висновку має переваги перед чіткої логікою:

- систему, можливо, використовувати в технічних системах, так як система має реальні вхідні і вихідні значення;
- є можливість переходу від висновків до нечітким правилам «ЯКЩО - ТО».
- для вирішення конкретного завдання, можна підібрати найбільш підходящу систему нечіткої логіки, з певними правилами.
- різні алгоритми настройки систем нечіткої логіки, дозволяють ефективно поєднувати чисельну і лінгвістичну інформацію.

Нечітка система дає можливість формалізувати величини, наявні у відділі постачання, які мають обґрунтовані варіанти, виявляти причинно-наслідкові зв'язки між регульованими параметрами в відділі і параметрами, залежними від контрагентів, а так само формулювати чіткий прогноз в умовах невизначеності. Даний підхід відкриває великі можливості для оптимізації різних постачальницьких завдань.

Список використаних джерел:

1. Модель управління запасами з нечітким трикутним попитом / Т. В. Манжос, О. О. Мельник, Ж. В. Луцишина // Бізнес Інформ. – 2018. – № 11. – С. 174–179.

2. Применение методов нечеткой логики при создании интеллектуальных систем управления складскими запасами / *Е. В. Галушко [и др.]* // *Агропанорама*. – 2017. – № 6. – С. 17–22.
3. *Єгорова, О. В.* Нечіткі моделі управління запасами : проблеми, аналіз, розвиток / *О. В. Єгорова* // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2012. – № 3 (58), т. 4. – С. 24–31.
4. *Манжос, Т. В.* Модель управління запасами з нечітким трикутним попитом / *Т. В. Манжос, О. О. Мельник, Ж. В. Луцишина* // *Бізнес Інформ*. – 2018. – № 11. – С. 174-179.
5. *Губа, К. А.* Оптимизация складской логистики с применением аппарата нечеткой логики [Электронный ресурс] / *К. А. Губа, Г. Н. Дюбанов* // *Вестник НГУ. Серия : Социально-экономические науки*. – 2013. – Т. 13, вып. 3. – С. 14–18. – Режим доступа: <https://nsu.ru/xmlui/handle/nsu/11624>
6. *Лавренюк, К. И.* Оптимизационная модель управления многономенклатурными товарными запасами предприятия в нечеткой постановке [Электронный ресурс] / *К. И. Лавренюк, Н. В. Козина* // *Мир экономики и управления*. – 2013. – Т. 13, № 3. – С. 93–98. – Режим доступа: <http://grant.rfh.ru/ais/file/publications/p/0TvVm00LV6GI3wEmn12BLb00/publication.pdf>
7. *Buckley, J. J.* Solving fuzzy problems in operations research: inventory control [Electronic resource] / *J. J. Buckley, T. Feuring, Y. Hayashi* // *Soft Computing*. – 2002. – Vol. 7. – P. 121–129. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s00500-002-0180-z>
8. *Леоненков А. В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / *А. В. Леоненков*. – СПб. : БХВ-Петербург, 2012. – 736 с.
9. MATLAB [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

Левицкая Т. А., Король Н. Д.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЗАПАСАМИ МЕЛКООПТОВЫХ ТОВАРОВ МЕТОДОМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Данная статья посвящена анализу проблем управления запасами мелкооптовых товаров. Проведена систематизация научно-технической информации по теме исследования. Анализ показал, что актуальными становятся вопросы совершенствования управления запасами мелкооптовых товаров предприятия на основе построения экономико-математических моделей, которые не требуют вероятностного подхода. Для решения этих проблем успешно используется аппарат теории нечеткой логики. Рассмотрены механизм нечеткого логического вывода и его этапы. Сформированные входные переменные для системы нечеткого вывода: «количество товаров продано сегодня», «количество товаров продано вчера», «количество товаров продано месяц назад», «количество товаров на складе», а также выходное - «размер заказа». Для предложенных лингвистических переменных избраны термы и функции принадлежности. Проведено моделирование системы нечеткого вывода для планирования запасов мелкооптовых товаров в среде Matlab. Результатами экспериментов подтверждена адекватность разработанной модели, позволяющей дальнейшее внедрение предложенной модели и нечеткого метода в систему поддержки решения при управлении запасами мелкооптовых товаров.

Ключевые слова: управление запасами, мелкооптовые товары, механизм логического вывода.

Levitskaya T. O., Korol N. D.

SOLUTION SUPPORT SYSTEM FOR FUZZY LOGIC STOCK MANAGEMENT OF SMALL-WHOLESALE GOODS

This article is devoted to the analysis of the problems of inventory management of small wholesale goods. Fuzzy inference systems are widely used to solve problems of management of various objects and processes. The creation of a fuzzy model is determined on the basis of formal parameters of the studied system in terms of linguistic variables. One of the problems of inventory management is the uncertainty of the initial data and the results obtained. The goods that are stocked in most cases differ in value, weight and volume. At the same time, they are heterogeneous in their role in the trade process: a small part of the goods provides the largest part of the store's income and, conversely, a wide assortment line gives a small share of the proceeds. Therefore, the urgent task is to maintain the necessary and sufficient stocks to meet the sales plan and it is necessary to make such regulation automatic, ensuring optimal stocks. The systematization of scientific and technical information on the research topic has been carried out. The analysis showed that the issues of improving the management of stocks of small-scale wholesale goods of an enterprise on the basis of constructing economic and mathematical models that do not require a probabilistic approach are becoming relevant. To solve these problems, the apparatus of the theory of fuzzy logic is successfully used. The use of fuzzy quantities in inventory management is justified by the fact that many parameters in such problems are fundamentally not random, although they refer to unknown, uncertain. The article describes the mechanism of fuzzy inference and its stages. Formed input variables for the fuzzy inference system for inventory management of small wholesale goods "quantity of goods sold today", "quantity of goods sold yesterday", "quantity of goods sold a month ago", "quantity of goods in stock", as well as output - "order size". For the proposed linguistic variables, terms and membership functions are selected. The modeling of a fuzzy inference system for planning stocks of small wholesale goods in the Matlab environment has been carried out. The results of the experiments confirmed the adequacy of the developed model, which allows further implementation of the proposed model and the fuzzy method in the decision support system for managing stocks of small wholesale goods.

Keywords: *inventory management, small wholesale goods, inference mechanism*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самотугін С. С.

Стаття надійшла 11.11.2019 р.

УДК 669.18.046.518.001.57

Зубко А. А., Койфман О. О.

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕПЛООБМІНУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ОХОЛОДЖЕННЯМ ЗЛИТКУ У КРИСТАЛІЗАТОРІ МБРЗ

Виконано аналіз існуючих моделей оцінки теплового стану кристалізатора, діагностики теплових процесів і охолодження злитка. На підставі вивчених методів була поставлена задача запропонувати можливість управління охолодженням злитка в кристалізаторі МБРЗ в реальному часі шляхом розрахунку значення витрати води на підставі математичної моделі з підтримкою певного значення перепаду температур води на вході виході з кристалізатора, з урахуванням корекції за рівнем металу і швидкості розливання.

Наводиться алгоритм розрахунку значень витрати води на кристалізатор, заснований на виконанні двох умов: температура на виході з кристалізатора не повинна перевищувати 45 °С; швидкість руху води в каналах стінок кристалізатора повинна бути не менше 5 м/с. На підставі запропонованого алгоритму виконано експериментальний розрахунок значень витрати води з урахуванням реальних виробничих умов: перетином злитка, діапазоном номінальних значень рівня металу і швидкості розливання. Наводяться графік залежності значень витрати води від рівня металу, при різних швидкостях розливання. Побудований графік залежності витрати води від швидкості розливання для різних значень перепаду температур води на вході та виході з кристалізатора. Зроблено порівняльний аналіз розрахункових значень витрат води з технологічними. Беручи до уваги дві необхідні умови алгоритму розрахунку, а також реальні виробничі значення витрати води - вибрано оптимальне рекомендоване значення перепаду температур.

За результатами дослідження можна стверджувати, що дана математична модель може функціонувати в підпрограмі в АСУ, яка регулює витрату води на основі даних про перепаді температур, підтримки його постійного значення з корекцією за швидкістю розливання і рівню в кристалізаторі. Використання запропонованої системи дозволить на практиці ефективно і оптимально управляти охолодженням кристалізатора, а також уникнути зайвих перевитрат води.

Ключові слова: МБРЗ, кристалізатор, математична модель, різниця температур, управління, витрата води, рівень металу, швидкість розливання.

Постановка проблеми

Кристалізатор є одним з ключових вузлів машини безперервного розливання заготівок (МБРЗ), ефективність якого відіграє значну роль на якість та собівартість слябів, що розливають на МБРЗ. Процес теплообміну між сформованим злитком та охолоджувальною водою є визначним: від того, наскільки ефективно організований цей процес, залежить товщина і міцність кірки злитка на виході з кристалізатора, вірогідність появи тріщин в оболонці, термін служби мідних стінок кристалізатора. В даний час в більшій частині випадків на виробництві у системі автоматичного керування МБРЗ математична модель теплопередачі між заготівкою і кристалізатором не використовується, а регулювання здійснюється персоналом шляхом ручного виставлення значення витрати води на

охолодження стінок кристалізатора. Внаслідок цього, не здійснюється ефективно та оперативне управління теплопередачею від злитка до кристалізатора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Автор [1] в своїй роботі пропонує для ефективного процесу охолодження злитка в кристалізаторі машини безперервного розливання заготовок вирішити такі завдання:

1) побудувати тривимірну нестационарну математичну модель затвердіння безперервно-литого злитка і водяного охолодження стінки кристалізатора, з урахуванням теплофізичних процесів;

2) адаптувати моделі, з урахуванням впливу вибору шлакоутворюючих сумішей (ШОС) і, отже, утвореного гарнісажу на теплові потоки;

3) апробувати розроблену математичну модель, використовуючи експериментальні дані, наведені в літературі;

4) вивчити вплив різних чинників на теплові поля в зливку та стінці кристалізатора;

5) обґрунтувати вибір теплотехнічних режимів лиття.

В роботі [2] розроблено методи вивчення теплообміну між злитком і охолоджуючим обладнанням в кристалізаторі і зоні вторинного охолодження МБРЗ, розроблено принципи раціонального охолодження злитка при динамічних режимах розливання. Було проведено дослідження теплообміну в кристалізаторі і зоні вторинного охолодження в промислових умовах, проведена обробка отриманих експериментальних даних.

Автор [3] в статті розглядає спосіб одночасного вимірювання щільності та рівня рідкого металу в кристалізаторах МБРЗ, що забезпечує прецизійне вимірювання і регулювання. Представлений спосіб двопараметричного вимірювання реалізується за допомогою радіоізотопних датчиків.

Проаналізовано підходи до діагностики теплових процесів в кристалізаторі [4], в основі яких лежить оперативне відстеження зміни значень таких величин як: середня щільність теплового потоку з поверхні заготовки в кристалізаторі, середнє значення коефіцієнта тепловіддачі в кристалізаторі, середній коефіцієнт тепловіддачі від кірки заготовки до внутрішньої поверхні гільзи кристалізатора і ефективну товщину газового зазору. Показаний приклад кількісного визначення цих величин для сталого режиму розливання заготовки перерізом 120x120 мм для умов одного з металургійних підприємств Донбасу.

Автори [5] розглядають в своїй роботі застосування математичної моделі для управління процесом охолодження злитка в зоні вторинного охолодження з урахуванням процесу його кристалізації в реальному часі шляхом розрахунку параметрів кристалізації і кількості води на секції.

Метою дослідження є обґрунтування можливості застосування розрахунку значення витрати води на підставі математичної моделі, з підтриманням значення перепаду температур та з корекцією по рівню металу і швидкості розливання у системі управління охолодженням злитку у кристалізаторі МБРЗ.

Основний матеріал дослідження

Об'єктом дослідження є кристалізатор машини безперервного лиття заготовок одного з металургійних підприємств України.

Для аналізу теплової роботи кристалізатора і при проектуванні нового кристалізатора необхідно розрахувати витрати охолоджуючої води, швидкості руху води в каналах робочих стінок кристалізатора, а також визначити температуру поверхні злитка і товщину твердої

скоринки на виході з кристалізатора. Витрату та швидкість руху охолоджуючої води необхідно розраховувати при номінальній швидкості витягування. Для цієї ж швидкості витягування заготовки визначають температуру поверхні злитка і товщину твердої скоринки на виході з кристалізатора.

Одним з основних показників, що характеризує систему охолодження кристалізатора, є витрата охолоджуючої води. Перед тим як виконати розрахунок необхідно вибрати діаметр каналів і визначити їх число. Розраховане значення витрати води має об'єднувати в собі виконання двох умов:

1) температура води після кристалізатора повинна бути менше 45 °С для того, щоб уникнути відкладення розчинених в ній солей [6];

2) швидкість руху води в каналах стінок кристалізатора повинна бути більше 5 м/с для виключення утворення застійних зон з локальним перегрівом [7].

За основу взята методика розрахунку параметрів МБРЗ [8] з урахуванням умов обраної машини безперервного розливання заготовок.

Витрата води, що забезпечує виконання першої умови, визначається наступним чином.

Спочатку визначаються початкові дані:

- значення температури води на вході в кристалізатор 20 - 30 °С;

- значення температури води на виході з кристалізатора 40 - 45 °С;

- значення перепаду температур води в кристалізаторі Δt_b , °С;

- різниця температур між температурою рідкого металу і температурою поверхні заготовки $\Delta t = 350 - 400$ °С;

- середня товщина оболонки затверділого металу в кристалізаторі ξ_k за рівнянням:

$$\xi_k = k * \sqrt{\frac{\tau_{кр}}{2}} = k * \sqrt{\frac{h_{кр}}{2 * v_p}} \quad (1)$$

де ξ_k – середня товщина скоринки металу в кристалізаторі, мм;

$\tau_{кр}$ – тривалість затвердіння зливку у кристалізаторі, хв;

k – коефіцієнт затвердіння, який для спокійної сталі в залежності від її складу і умови затвердіння змінюється в межах 24 – 28 мм/хв^{1/2};

$h_{кр}$ – робоча (активна) висота кристалізатора, тобто рівень металу в кристалізаторі з урахуванням недоливу, м;

v_p – робоча швидкість витягування, м/хв.

Після цього, за типовою формулою, обчислюється середня щільність теплового потоку від заготовки до кристалізатору

$$Q = \lambda * \frac{\Delta t}{\xi_k} \quad (2)$$

де Q – середній тепловий потік, Вт/м²;

λ – коефіцієнт теплопровідності затверділого металу, для вуглецевої сталі приймаємо $\lambda = 30$ Вт/(м·К);

Δt – середній перепад температури між температурою рідкого металу і температурою поверхні заготовки, приймаємо 380 °С, для вуглецевої сталі.

Витрата води, що забезпечує прийнятну температуру її на виході з кристалізатора обчислюється за виразом [7]:

Інформаційні технології

$$G_1 = \frac{3600 * Q * F_{кр}}{\rho_B * C_B * \Delta t_B} \quad (3)$$

де G_1 – витрата води на кристалізатор за розглянутій умові, м³/ч;
 ρ_B – щільність води, кг/м³;
 C_B – питома теплоємність води, яку при температурі 20 – 40 ° С можна прийняти рівною 4178 Дж/(кг·К);
 Δt_B – перепад температур води в кристалізаторі, °С;
 $F_{кр}$ – площа поверхні кристалізатора (м²), яка сприймає тепловий потік, визначається з виразу:

$$F_{кр} = 2 * (A_{кр} + B_{кр}) * H_{кр} \quad (4)$$

де $H_{кр}$ – висота кристалізатора (0,9), м;
 $A_{кр}, B_{кр}$ – відстань між протилежними стінками кристалізатора, м.

Витрата води, згідно якої забезпечує виконання другої умови – яка забезпечує задану швидкість її руху в каналах стінок кристалізатора, визначається за формулою [7]:

$$G_2 = 900 * \pi * d^2 * v_B * m \quad (5)$$

де G_2 – витрата води на кристалізатор, м³/ч;
 d – діаметр каналу (0,025 м), м;
 v_B – швидкість руху води (не менше 5 м/с), м/с;
 m – кількість каналів, яке визначається з виразу:

$$m = \frac{P_{кр}}{d+h} + 1 \quad (6)$$

де d – діаметр каналу, м;
 h – відстань між каналами, м (50 мм);
 $P_{кр}$ – середній периметр кристалізатора (м), який визначається з виразу

$$P = 2 * (A_{кр} + B_{кр}) * L_{кр} \quad (7)$$

де $L_{кр}$ – товщина стінки кристалізатора (80 мм).

Після обчислення необхідної витрати води, виходячи з першої і другої умови, приймається більша з них.

Для дослідження запропонованої моделі побудуємо залежності основних параметрів, проаналізуємо реальність і адекватність отриманих значень витрати, порівняємо з практичними використовуваними витратами води. Умови дослідження: перетин кристалізатору 1550 на 200 мм, вуглецева сталь, діапазон рівня металу 65-80 см, діапазон швидкості розливання 0,2 – 1,6 м/хв.

Побудуємо графік залежності витрати води від рівня металу, для робочого діапазону швидкості розливання $v=0,8-1,4$ м/хв відповідно до технологічної інструкції для даного перетину.

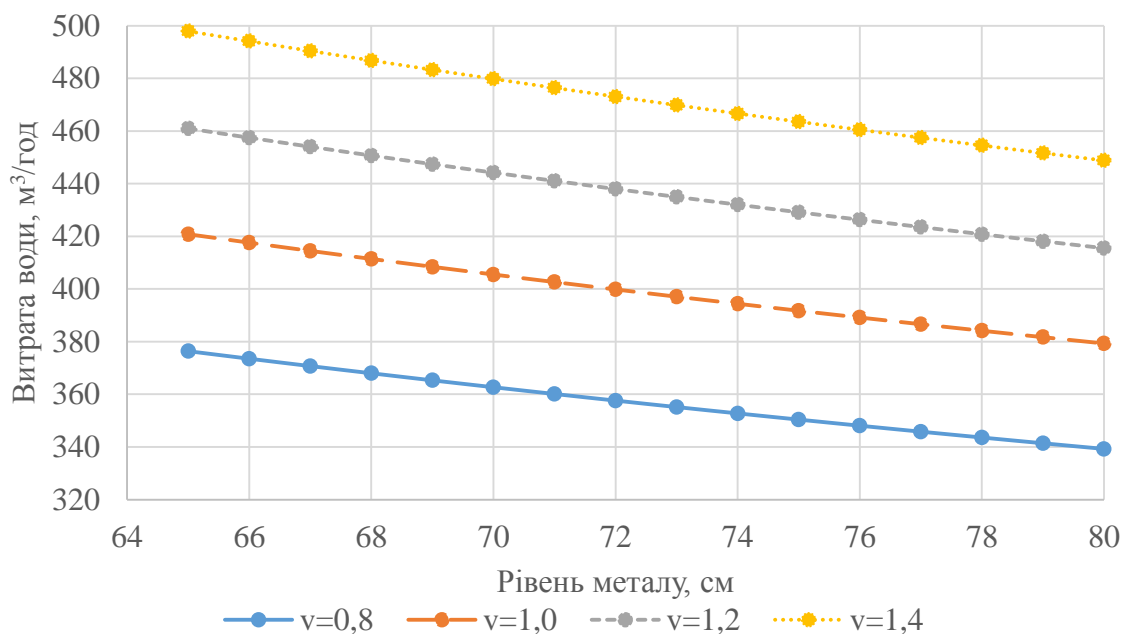


Рисунок 1 – Залежність витрати води від рівня металу

На графіках (рис. 1) видно зворотно лінійну залежність, що обумовлено залежністю між тепловим потоком і товщиною скоринки металу з формули (2): чим вище рівень металу, тим більше середнє значення товщини скоринки.

Більш цікавим для нас є побудова залежності витрати води від швидкості розливання при різному заданому перепаді температур води на вході/виході з кристалізатора. Обумовлено це тим, що запропонована математична модель передбачає підтримку заданого значення перепаду температур Δt . Для цього візьмемо до уваги другу умову математичної моделі, завдяки якій ми можемо визначити мінімально необхідну витрату води для даного перетину.

Виходячи з рівняння (5) мінімальна витрата води буде дорівнювати

$$G_2 = 900 * 3,14 * 0,02^2 * 5 * 53,286 = 301,17 \text{ м}^3/\text{год}$$

Так як протягом року температура води, що подається, дорівнює 20-30 °С, а температура на виході з кристалізатора не повинна перевищувати 45 °С, проводити дослідження будемо для наступних перепадів температур: $\Delta t = 6$, $\Delta t = 8$, $\Delta t = 10$ та $\Delta t = 12$ °С. Розрахунки залежності витрати води від робочої швидкості розливання для різних Δt зображено на рис. 2.

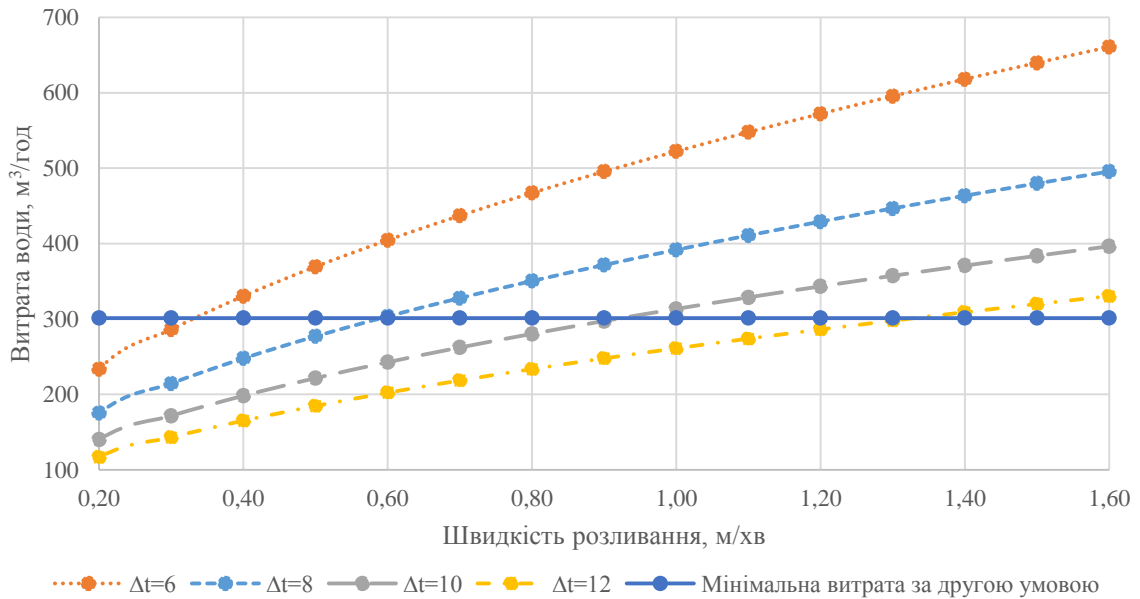


Рисунок 2 – Залежність витрати води від швидкості розливання

Спираючись на графіки (рис. 2) виключаємо значення $\Delta t=6$ і $\Delta t=12^\circ\text{C}$, так як перше завищує витрату води на низьких швидкостях розливання, а друге навпаки, менше мінімального на номінальних швидкостях розливання.

Для найбільш точного вибору побудуємо графік залежності з урахуванням практичного значення витрати води, що виставляється згідно з технологічною інструкцією та для даного перетину дорівнює $\sim 520 \text{ м}^3/\text{год}$.

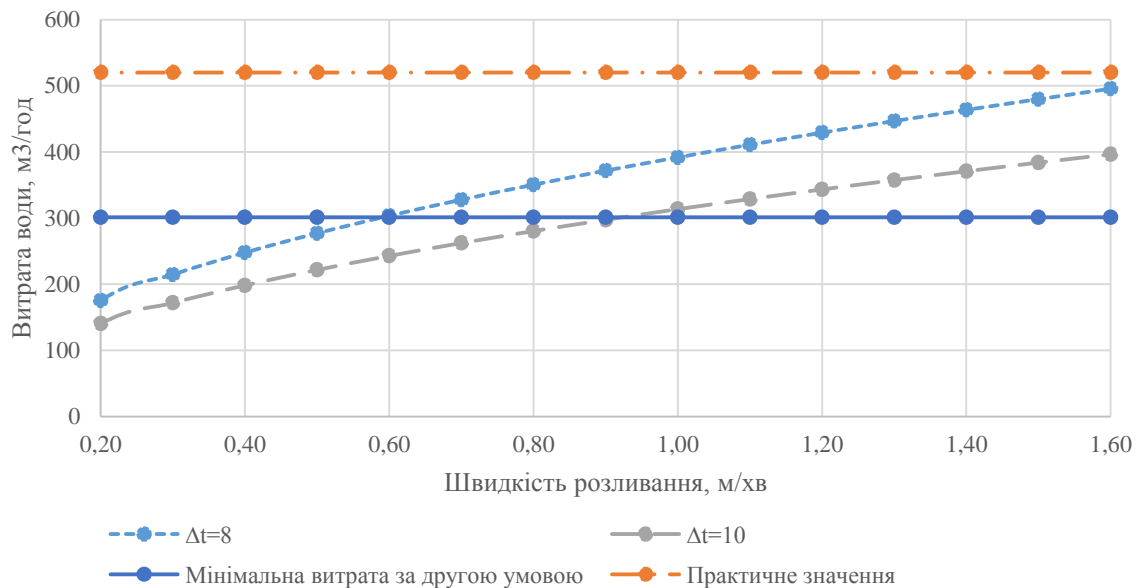


Рисунок 3 – Залежність витрати води від швидкості розливання в порівнянні зі значеннями що використовуються на виробництві

Аналізуючи графіки (рис. 3), можна припустити, що витрата в 520 м³/год була обрана як така, що забезпечує охолодження при максимальній швидкості розливання, з огляду на те що немає можливості регулювання і оперативного управління витратою.

Тепер можна зробити однозначний вибір значення $\Delta t = 8^\circ\text{C}$, так як діапазон витрат при даному значенні знаходиться між мінімальною та максимальною витратою що забезпечує охолодження, на робочих швидкостях розливання.

Дана математична модель може функціонувати в підпрограмі в АСУ, яка регулює витрату води на основі даних при перепаді температур, підтримання її постійного значення з корекцією за швидкістю розливання і рівню в кристалізаторі. Впровадження моделі та системи регулювання дозволить динамічно коригувати витрату води на кристалізатор, об'єднуючи функції ефективного охолодження і економії ресурсів.

З огляду на те, що номінальна робота МБРЗ становить приблизно 600 годин на місяць, з врахуванням часу на технічне обслуговування, маємо:

- витрата води в місяць без впровадження моделі

$$600 * 520 = 312\,000 \text{ м}^3$$

- витрата води при обраному значенні $\Delta t = 8^\circ\text{C}$, та середній швидкості розливання 1,2 м/хв складає 430 м³/год. Отже, витрата води з впровадженням моделі складає:

$$600 * 430 = 258\,000 \text{ м}^3$$

- економія води може складати $(312000 - 258000) * 12 = 648000 \text{ м}^3$ на рік.

ВИСНОВКИ

У даній роботі була досліджена математична модель при різних умовах розливання, запропонований вибір оптимального значення перепаду температур. Використання пропонованої математичної моделі дозволить на практиці ефективно і оптимально управляти охолодженням кристалізатора, а також уникнути зайвих перевитрат води.

Застосування даної моделі вимагає адаптації деяких параметрів та коефіцієнтів для кожного конкретного випадку, що є цілком доречним для більш якісного та оптимального управління, враховуючи різні умови агрегатів та вимог виробництва.

Перелік використаних джерел:

1. Повитухин, С. А. Математическое моделирование процесса охлаждения слитка в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок [Электронный ресурс] / С. А. Повитухин // Вестник ТГТУ. – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 672–681. – Режим доступа: http://vestnik.tstu.ru/rus/t_15/tom_N15.htm
2. Лукин, С. В. Совершенствование теплообмена при охлаждении металла в машинах непрерывного литья заготовок: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.04 / Лукин Сергей Владимирович. – Иваново, 2013. – 40 с.
3. Ларичев, А. В. Многофункциональное управление параметрами жидкого металла в кристаллизаторе при разливе на машине непрерывного литья заготовок / А. В. Ларичев //

Вестник череповецкого государственного университета. – 2011. – Т. 2, № 4.– С.12-15. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17104507>

4. *Васильева, А. В.* Совершенствование подходов к диагностике тепловых процессов в кристаллизаторе МНЛЗ / *А. В. Васильева* // Техника и технологии машиностроения: материалы V Междунар. студ. науч.-практ. конф. (Омск, 4–10 апреля 2016 г.) / ОмГТУ. – Омск, 2016. – С. 67–72.

5. *Койфман, А. А.* Управление зоной вторичного охлаждения с учетом процесса кристаллизации непрерывно-литого слитка МНЛЗ / *А. А. Койфман, А. А. Гросс, О. О. Сушок* // Наука та виробництво : зб. наукових праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – Вип. 22, спецвип. – С. 66–75. – Режим доступа: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/28059>

6. *Столяров, А. М.* Технологические расчеты по непрерывной разливке стали: учеб. пособие / *А. М. Столяров, В. Н. Селиванов*. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. тех. ун-та им. Г. И. Носова, 2011. – 67 с.

7. *Кац, А. М.* Теплофизические основы непрерывного литья слитков цветных металлов и сплавов / *А. М. Кац, Е. Г. Шадек*. – М.: Металлургия, 1983. – 208 с.

8. *Шаповалов, А. Н.* Расчет параметров непрерывной разливки стали : методические указания / *А. Н. Шаповалов*. – Новотроицк : НФ НИТУ «МИСиС», 2013. – 56 с.

Зубко А. А., Койфман А. А.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЕМ СЛИТКА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

Выполнен анализ существующих моделей оценки теплового состояния кристаллизатора, диагностики тепловых процессов и охлаждения слитка. На основании изученных методов была поставлена задача предложить возможность управления охлаждением слитка в кристаллизаторе МНЛЗ в реальном времени путем расчета значения расхода воды на основании математической модели с поддержанием определенного значения перепада температур воды на входе и выходе из кристаллизатора, с учетом коррекции по уровню металла и скорости разливки.

Приводится алгоритм расчета значений расхода воды на кристаллизатор, основанный на выполнении двух условий: температура на выходе из кристаллизатора не должна превышать 45 °С; скорость движения воды в каналах стенок кристаллизатора должна быть не меньше 5 м/с. На основании предложенного алгоритма выполнен экспериментальный расчет значений расхода воды с учетом реальных производственных условий: сечения слитка, диапазона номинальных значений уровня металла и скорости разливки. Приводятся график зависимости значений расхода воды от уровня металла, при различных скоростях разливки. Построен график зависимости расхода воды от скорости разливки для различных значений перепада температур воды на входе-выходе из кристаллизатора. Произведен сравнительный анализ расчетных значений расхода воды с технологическими. Принимая во внимания два необходимых условия алгоритма расчета, а также реальные производственные значения расхода воды – выбрано оптимальное рекомендуемое значение перепада температур.

По результатам исследования можно утверждать, что данная математическая модель может функционировать в подпрограмме в АСУ, которая регулирует расход воды на

основе данных о перепаде температур, поддержания его постоянного значения с коррекцией по скорости разливки и уровню в кристаллизаторе. Использование предложенной системы позволит на практике эффективно и оптимально управлять охлаждением кристаллизатора, а также избежать лишних перерасходов воды.

Ключевые слова: МНЛЗ, кристаллизатор, математическая модель, разница температур, управление, расход воды, уровень металла, скорость разливки.

Zubko A. A., Koifman O. O.

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODEL OF HEAT EXCHANGE FOR CONTROLLING THE COOLING OF THE INGOT IN THE CONTINUOUS-CASTING MOLD

The analysis of existing models for assessing the thermal state of the mold, diagnostics of thermal processes and cooling of the ingot is carried out. Based on the studied methods, the task was set to offer the option of controlling the cooling of the ingot in the continuous-casting mold in real time by calculating the value of the water consumption on the basis of a mathematical model with the maintenance of a certain value of the water temperature drop at the inlet and outlet of the mold, taking into account the correction in the steel level and the casting rate.

An algorithm for calculating the values of water consumption per mold is given, based on two conditions: the temperature at the outlet of the mold should not exceed 45 °C; the water speed in the wall channels of the mold should not be less than 5 m/s. On the basis of the proposed algorithm, an experimental calculation of the water consumption values was carried out considering the real production conditions: the ingot section, the range of the nominal values of the steel level and the casting rate. A graph of the dependence of the values of water consumption on the steel level at different casting rates is given. A graph of the dependence of the water consumption on the casting rate for various values of the water temperature drop at the inlet-outlet from the mold is built. A comparative analysis of the calculated values of the water consumption with the technological ones is carried out. Considering the two required conditions of the calculation algorithm, as well as the actual production values of the water consumption, the optimal recommended value of the temperature drop has been selected.

Following the study, it can be argued that this mathematical model can function in a subroutine in the ACS, which regulates the water flow based on data on the temperature drop, maintaining its constant value with correction for the casting rate and the level in the mold. The use of the proposed system will allow in practice to effectively and optimally control the cooling of the mold, as well as to avoid unnecessary water waste.

Keywords: CCM, continuous-casting mold, mathematical model, steel level, water consumption, casting rate, control, temperature drop

Рецензент: доц., **канд. техн. наук**, Кравченко В. П.

Стаття надійшла 06.12.2020 р.

УДК 669.013:681.5

Рубінський В. А., Койфман О. О., Федоренко Д. Ю.

ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ПРИВОДУ ПРИ УПРАВЛІННІ ВИТРАТОЮ ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ НА ВИПАРНУ УСТАНОВКУ ТЕПЛОСИЛОВОГО ЦЕХУ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ

Розглянуто контур управління подачею живильної води насосним агрегатом на випарну установку. подача води здійснюється за двома колекторам, з яких по паралельній схемі розподіляється на випарювачі. Регулювання витрати відбувається безпосередньо на випарювачах. На підставі вивчених матеріалів, була поставлена задача удосконалити існуючу систему завдяки застосуванню сучасного енергозберігаючого обладнання - частотно-регульованого приводу.

Зроблені експериментальні дослідження для отримання даних про потужності двигуна при дроселюванні і при використанні частотного перетворювача. Продемонстровано нераціональну перевитрату споживаної потужності. Наводиться розрахунок енергоефективності існуючої і запропонованої систем.

На основі отриманих даних про споживану кількість води випарною установкою наведено графік завантаження насосного агрегату. Спираючись на результати дослідження зроблено розрахунок сумарної економічної ефективності.

Для використання частотно-регульованого приводу в управлінні витратою живильної води розроблена схема каскадно-регульованого управління всіма насосними агрегатами, що демонструє почергове управління насосними агрегатами, використовуючи всього лише один частотний перетворювач. За основу сигналу неузгодженості приймається параметр сумарної витрати живильної води на кожен випарник. Для реалізації ПД-регулювання частотно-регульованого приводу розроблена блок-схема, що описує залежність регульованої величини від вироблення випарника. Даний алгоритм може функціонувати для оптимізації існуючого контуру регулювання витрати води в випарнику. Використання запропонованої системи дозволить на практиці економічно і ефективно управляти насосними агрегатами, а також уникнути проблем регулювання запірною арматурою.

Ключові слова: *Частотно-регульований привід, випарна установка, каскадне регулювання, частотний перетворювач, живильна вода, насос, двигун, система управління.*

Постановка проблеми

В сучасних економічних умовах металургійне промислове підприємство не має можливості працювати на повну потужність, зазвичай забезпечується близько 40-70 % проектних потужностей. Як наслідок робота обладнання на граничних навантаженнях. Більше 60 % всієї виробленої електроенергії в світі, споживається електричними двигунами, які широко використовуються в комплексній роботі з багатоступінчатими випарними установками [1]. В умовах що склалися, єдино правильним рішенням, є впровадження енергозберігаючих технологій.

Однією з найважливіших задач при управлінні технологічним процесом випарної установки є регулювання робочого рівня живильної води (рис. 1). подача води здійснюється насосним агрегатом (Д1-Н1 - Д4-Н4) за двома колекторам, з яких по паралельній схемі розподіляється на шість випарювачів. Під час роботи установки рівень живильної води в

корпусі підтримується вище верхньої трубної дошки на 150 ÷ 200 мм. Цей рівень має важливе значення для забезпечення безперервної та надійної роботи, від якого залежить продуктивність вироблення конденсату, і цілісність конструкційних матеріалів установки [2]. Для забезпечення подачі деаерованої хімічно очищеної води (ЖВХ) в випарну установку використовуються електродвигуни ЦНСг60-165 (Д1 – Д4) потужністю 55 кВт в кількості 12 штук (рис. 1).

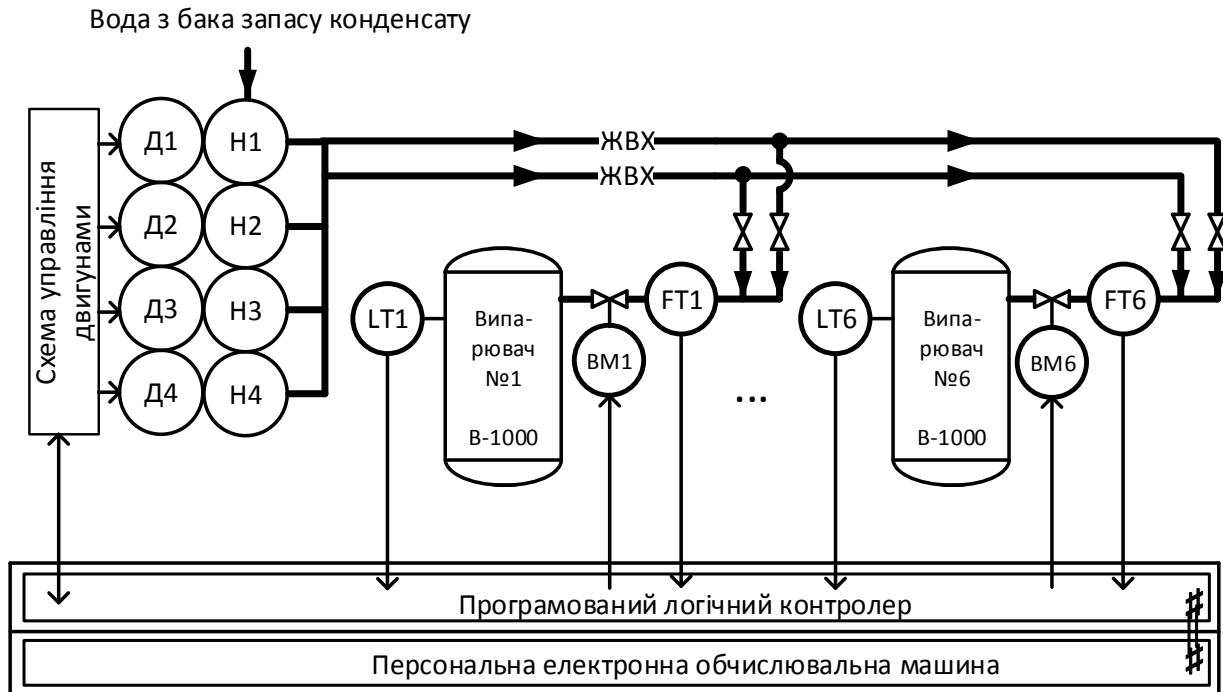


Рисунок 1 – Схема подачі живильної води на випарну установку:

Д1 - Д4 – двигуни насосів Н1 - Н4, LT1 - LT6 – датчики поточного рівня живильної води в випарювачах, FT1 - FT6 – датчики поточної витрати живильної води в випарювачах, ВМ1 - ВМ6 – виконавчі механізми запірної арматури, ЖВХ – живильна хімічно очищена вода

У штатному режимі в роботі знаходиться лише 4 двигуна (Д1-Д4), ще 4 - в резервному запасі і 4 - на ремонті. У даній системі електродвигуни постійно працюють на гранично допустимій потужності, створюючи надмірний тиск в живильних колекторах. Витрата води же в даній системі регулюється запірною арматурою (ВМ1 – ВМ6).

Мета дослідження

Розробка методу регулювання витрати живильної води випарної установки за допомогою частотно-регульованого електроприводу. Обґрунтування енергоефективності використання даної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Автор [3] розглянув ефективність застосування енергозберігаючої системи водопостачання тепличного відділення і поливу за допомогою застосування каскадного і частотного регулювання роботи насосів. Причини неефективного використання насосів ґрунтуються на установці параметрів подачі і напору більшими, ніж потрібні для забезпечення роботи насосної станції, так як на стадії проектування закладається коефіцієнт

запасу, який може досягати 50 %, як наслідок фактична невідповідність вимогам системи. Наведено порівняльні графіки роботи насосної станції в режимі каскадного регулювання при роботі на мережу з переважно статичної складової.

У даній проектній роботі [4] розроблена і досліджена насосна установка з застосуванням перетворювачів частоти на базі каскадної схеми управління. У статті проведений розрахунок енергозбереження експлуатованої установки, підрахунок витрат на обслуговування і ремонт насосної станції. Так само розрахунок всіх елементів електроприводу, що входять до складу установки.

Авторами розглянуто питання енергозбереження та енергоефективності застосування каскадно-частотного електроприводу для турбомеханізмів в нафтогазовій галузі [5]. Шляхом формування законів управління здійснюється оптимізація енергоспоживання. Представлені експериментальні механічні характеристики розімкнутої і замкненої систем регулювання швидкості, при однакових значеннях частоти і зниженням швидкості. Застосування даної системи призводить до зниження споживання реактивної потужності на 25 – 30 % при роботі близькою до номінальних значень, і підвищує коефіцієнт потужності електроприводу на 20 %.

У статті [6] розглянуто впровадження частотного приводу на асинхронних електричних двигунах насосної групи в умовах нафтопереробки. Приведені переваги частотних перетворювачів, зменшено надмірне споживання електроенергії.

Наведено спосіб регулювання подачі води, при підключенні двох насосів по каскадній системі з перемиканням між ними перетворювачем частоти в залежності від зміни рівня води в приймачі [7]. Викладено автоматизацію насосної станції відповідно до ПІД-інструкції регульованого параметра.

У статті [8] розглянуто алгоритм групового керування насосними агрегатами. Проведено аналіз режимів роботи, з подальшою їх модернізацією. На основі розглянутих алгоритмів виведені проблеми і недоліки управління даними агрегатами. Розглянуто проблематику при частотно-каскадному регулюванні, вчасно формування системою сигналу невідповідності і підключення другого двигуна, в напірному колекторі виникає сплеск, який може досягати значних величин, і триває до 1 хвилини.

Основний матеріал дослідження

Для порівняння енергоефективність існуючої системи подачі живильної води при дроселюванні та використання частотно-регульованого електроприводу необхідно розрахувати споживання пущоностей електродвигунів.

Номінальна величина струму двигуна насоса ЦНСг60-165 дорівнює 100 А [9]. Шляхом прямих вимірювань отримано величину максимального току при повністю відкритій дросельній заслінки $I_{\max} = 95$ А, та величину мінімального току при повністю закритій дросельній заслінки $I_{\min} = 21$ А. Двигун працює на частоті 50 Гц при номінальній напрузі $U = 380$ В. При повністю відкритій дросельній заслінці максимальна потужність двигуна складає $P_{\max} = 36100$ Вт, а при повністю закритій - $P_{\min} = 7980$ Вт.

Потужність насоса при використанні дроселювання $P_{\text{дрос}}$ розраховуються наступним чином

$$P_{\text{дрос}} = P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min}) \cdot (Q/Q_{\max}) \quad (1)$$

де P_{\min} – потужність при повністю закритій заслінці, кВт;

P_{\max} – потужність при повністю відкритій заслінки, кВт;
 Q_{\max} – витрата насоса при повністю відкритій заслінці, м³/год;
 Q – доля від витрати.

Потужність насоса при частотному регулюванні $P_{\text{чрп}}$ розраховуються наступним чином

$$P_{\text{чрп}} = P_{\max} \cdot (Q/Q_{\max})^3 \quad (2)$$

В табл. 1 наведені розрахункові данні споживаної потужності насосів при різних типах регулювання витрати живильної води

Таблиця 1 – Розрахункові данні споживаної потужності

Доля витрати Q/Q_{\max}	0	0,25	0,5	0,75	1
Споживана потужність при дроселюванні, $P_{\text{дрос}}$, кВт	7,98	15,01	22,04	29,07	36,1
Споживана потужність, при частотному регулюванні, $P_{\text{чрп}}$, кВт	0	0,56	4,51	15,22	36,1

Залежність споживаної потужності при дроселюванні $P_{\text{дрос}}$ від відносного витрати Q/Q_{\max} відображена прямою лінією з'єднанням точок P_{\max} і P_{\min} (рис. 2) [10]. Тоді як, у разі застосування частотно-регульованого приводу, потужність пропорційна кубу швидкості обертів валу двигуна.

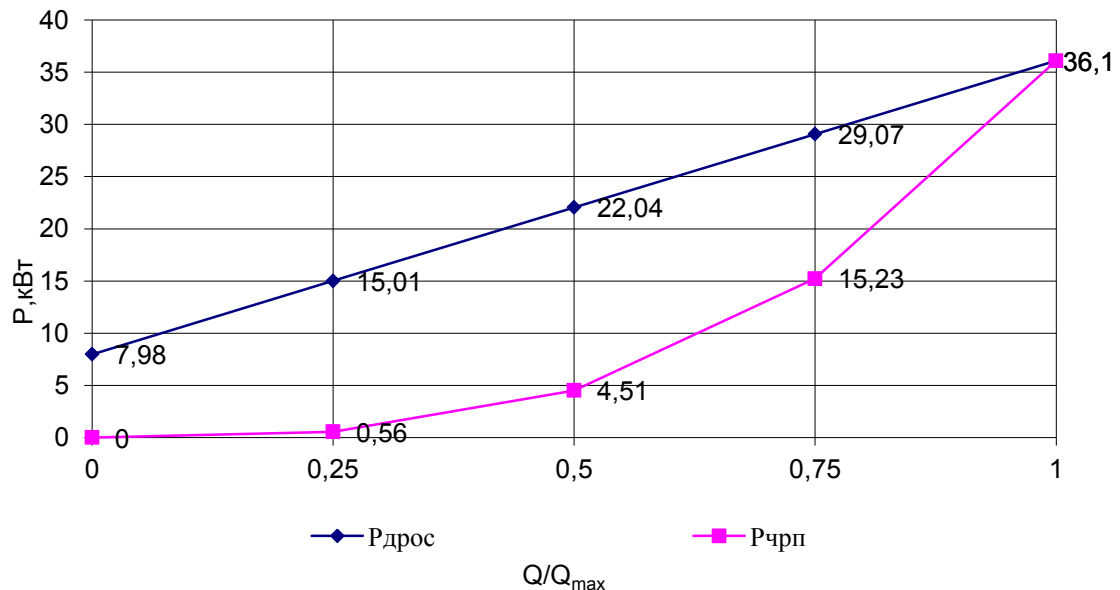


Рисунок 2 – Графік залежності споживаної потужності від відносної витрат

Для визначення завантаження насоса за періодами протягом 3 днів було використано дані технологічних трендів добової витрати води (табл. 2). Витрата насоса при повністю відкритій заслінці, $Q_{\max}=60$ м³/год.

Таблиця 2 – Добова витрата води з інтервалом у часі

День вимірювань	Період часу, год.	0~4	4~8	8~12	12~16	16~20	20~24
Перший	Витрата Q_1 , м ³ /год	39	41	43	44	42	44
Другий	Витрата, Q_2 , м ³ /год	41	46	44	43	40	43
Третій	Витрата, Q_3 , м ³ /год	42	43	41	44	46	45

Середня добова витрати води наведена на рис. 3.

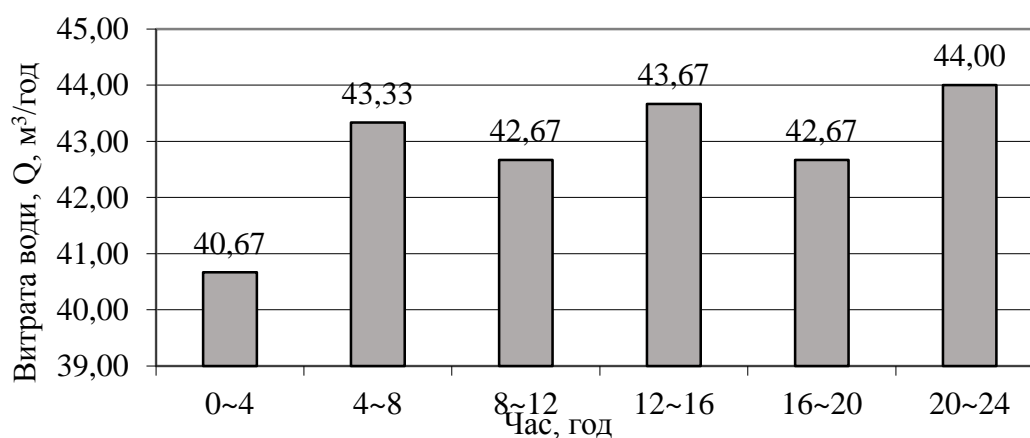


Рисунок 3 – Графік добової витрати води

Розрахунок заснований на визначенні різниці між величинами споживання електроенергії при регулюванні напору насоса шляхом дроселювання напірної засувкою і при регулюванні за допомогою частотно-регульованого електроприводу.

Розрахунок споживаної потужності насоса при використанні дроселювання $P_{\text{дрос}}$, та при частотному регулюванні $P_{\text{чрп}}$, відносно прямих вимірювань витрати наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Споживана потужність насосу відносно витрати живильної води

Витрата, м ³ /год	40,67	43,33	42,67	43,67	42,67	44
Споживана потужність при дроселюванні $P_{\text{дрос}}$, кВт	19,41	20,16	19,97	20,25	19,97	20,35
Споживана потужність, при частотному регулюванні $P_{\text{чрп}}$, кВт	2,43	2,94	2,8	3,01	2,8	3,08

Сумарна економія за рік при використанні частотно-регульованого приводу буде становити:

1. Сумарна економія потужності за добу, D_{P_i} , кВт:

Інформаційні технології

$$D_{Pi} = \sum P_{дросі} - \sum P_{чрпі} = 103,09 \text{ кВт} \quad (3)$$

2. Економія електроенергії за добу, D_i , кВт/ч:

$$D_i = D_{Pi} \cdot t = 412,38 \text{ кВт/ч} \quad (4)$$

де t – тривалість періоду в годинах.

3. Економія електроенергії за рік, D_{Pi} , кВт/год

$$D_{Pi} = D_i \cdot 365 = 150517,55 \text{ кВт/рік} \quad (5)$$

де 365 – число робочих діб за рік

4. Сумарна економію за рік, грн.

$$D_e = D_{Pi} \cdot k = 272436,76 \text{ грн/(кВт/рік)} \quad (6)$$

де $k=1,81$ грн/(кВт/год)– тариф на електроенергію, грн/

Як бачимо з розрахунку при застосуванні частотно-регульованого приводу з'явилася суттєва економія електроенергії в 150517,55 кВт/рік. При застосуванні лише одного частотного перетворювача на одному з живильних насосів випарної установки. Ще одним суттєвим аспектом енергоефективності впровадження даної системи є застосування каскадного регулювання при використанні частотно-регульованих електроприводів.

Реалізуючи метод каскадно-частотного регулювання (рис. 4), забезпечимо ще більшу кількість зекономленої енергії вдосконалюючи вище описаний спосіб регулювання. В нашому випадку частотний перетворювач буде управляти відповідно до каскадної схеми по черзі, всіма насосами і тим самим забезпечить великий діапазон значень витрати необхідного для роботи випарної установки. Принцип даного регулювання здійснений за допомогою застосування контакторів. При нижньому пороговому значенні завдання, через дискретний модуль програмованого логічного контролеру (ПЛК), замикається контактор КМ11, який приводить в дію частотний перетворювач (ЧП). Далі ЧП запускає насос Д1 виходячи на необхідне число обертів вихідного валу, це є перший каскад регулювання. При виході насоса на максимальну частоту оборотів, тобто при його максимальній продуктивності ЧП через контактор КМ12 підключає живильний насос на пряму до мережі напруги. У свою чергу контактор КМ11 синхронно розмикається відключаючи ЧП від насоса Д2. ЧП скидає частоту і перемикається в режим очікування. Якщо після цього поточну витрату виявиться недостатнім то на основі сигналу неузгодженості буде підключений наступний каскад управління другим насосом Д2. Для цього через контактор КМ21, ЧП підключається до другого насосу Д2 і регулює його частоту аналогічно першому каскаду.

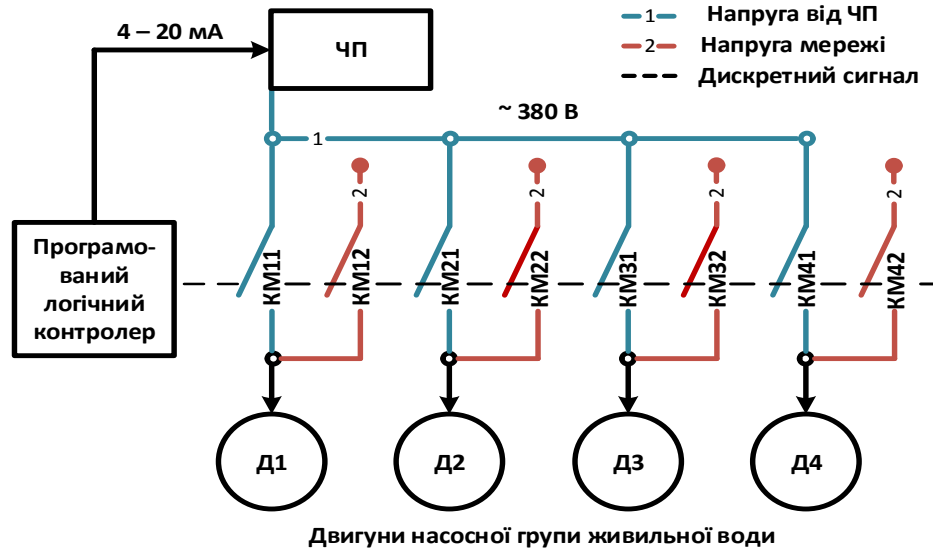


Рисунок 4 – Схема каскадно-частотного регулювання

Метод каскадно-частотного регулювання реалізований в програмно-логічному контролері, і здійснюється на основі ПІД-інструкції. Алгоритм цієї програми наведено в блок-схемі (рис. 5).

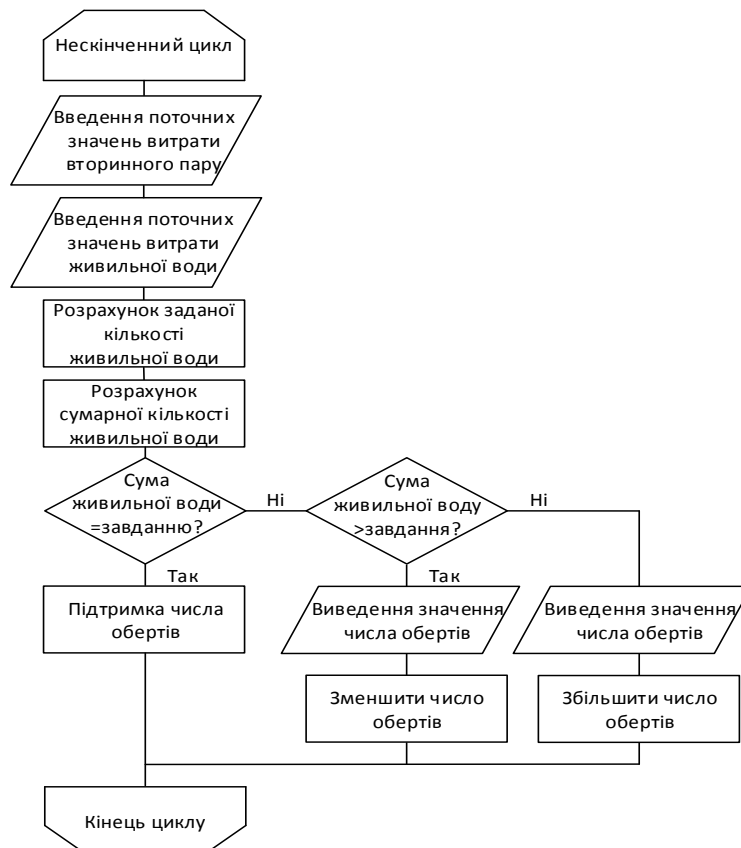


Рисунок 5 – Блок схема каскадно-частотного регулювання

Управляючий сигнал визначається завдяки розрахунку сумарної кількості живильної води на випарну установку. Цикл програми є нескінченним оскільки поточні данні динамічної системи управління випарної установки порівнюються з заданими значеннями

На початок алгоритму відбувається введення поточних значень. Кількість витрати вторинного пару з випарної установки служить показником продуктивності установки (вихідна величина). Значення витрати живильної води на випарну установку є показником споживання води установкою (вхідна величина). На основі вхідної й вихідної величини, розраховується задана кількість води на випарник. Підсумуємо загальну кількість необхідної витрати живильної води на всі випарювачі установку. Перша умова «сума живильної води у діапазоні?», при виконанні даної умови «Так» - число обертів валу двигуна залишаться поточним. Якщо умова «Ні» не виконана - друга умова «сума живильної води вище діапазону?». При виконанні умови «Так» виведемо необхідне число обертів валу двигуна, в свою чергу зменшимо число обертів. Якщо умова «Ні» не виконана, виведемо необхідне число обертів валу двигуна, в свою чергу збільшимо число обертів.

ВИСНОВКИ

У статті було досліджено впровадження частотно-регульованого управління в контурі витрати води. Використання частотного перетворювача на випарній установці є доцільним та енергоефективним рішенням, що дозволяє суттєво знизити витрати на електроенергію.

Застосування схеми каскадно-частотного управління дозволить вдосконалити впроваджувальну систему: при використанні лише одного частотного перетворювача, можливо забезпечення всього необхідного діапазону витрати живильної води, для нормальної роботи випарної установки.

ПД-інструкція до керування частотним перетворювачем розробляється завдяки розрахунку сумарної кількості живильної води на випарну установку за наведеним алгоритмом програми.

Перелік використаних джерел:

1. Теорія електроприводу / Н. Г. Попович [та ін.]. – К. : Вища школа, 1993. – 494 с.
2. РД 34.40.506-85 Методические указания по эксплуатации испарительных установок поверхностного типа тепловых электростанций (МУ 34-70-107-85). С изменением №1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73141
3. Эффективность применения энергосберегающей системы водоснабжения и полива тепличного отделения с помощью частотного и каскадного регулирования работы насосов / М. Т. Березова, А. А. Садарова, С. Дулаев, З. Н. Цопанова // Студенческая наука - агропромышленному комплексу: научные труды студентов Горского государственного аграрного университета. – Владикавказ, 2019. – Вып. 56, ч. 2. – С. 69–72.
4. Фарукишин, Д. Р. Применение каскадной схемы управления в ЧРП насосной установки / Д. Р. Фарукишин, Т. Х. Мухаметгалеев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : сб. материалов III Поволжской научно-практ. конф. (Казань, 07–08 декабря 2017 г.) : в 2 т. / Казанский государственный энергетический университет. – Казань, 2017. – Т. 2. – С. 165–166.

5. *Мещераков, В. Н.* Энергосберегающий каскадно-частотный электропривод для турбомеханизмов нефтегазовой отрасли / *В. Н. Мещераков, Д. И. Шишин, Д. В. Ласточкин* // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 6. – С. 218–220.

6. *Федоренко, Д. Ю.* Частотне регулювання в нафтопереробці / *Д. Ю. Федоренко, О. О. Койфман* // Світ автоматизації. – 2011. – № 3. – С. 81–83.

7. *Ошейчик, Н. И.* Автоматическое регулирование уровня воды двумя насосами с переключаемым преобразователем частоты / *Н. И. Ошейчик, Н. М. Матвейчук* // Энергосбережение - важнейшее условие инновационного развития АПК : сб, науч. статей Междунар. научно-техн. конф. (Минск. 23–24 ноября 2017 г.) / Белорусский гос. аграрный техн. ун-т. – Минск, 2017. – С. 346–352.

8. *Гордейчик, А. В.* Проблемы группового управления насосными агрегатами [Электронный ресурс] / *А. В. Гордейчик, А. В. Попов, А. П. Усачов* // Сибирь-мехатроника. – Новосибирск, 2018. – С. 1–10. – Режим доступа: https://sibmech.ru/netcat_files/userfiles/doc/articles/2018_Ekvatek_Problemy_gruppovogo_upravleniya.pdf

9. ООО «ТОРГОВЫЙ ДОМ «УКРНАСОС СЕРВИС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ukrnasos.com.ua/ru>

10. *Кузин, С. Ю.* Применение регулируемого электропривода / *С. Ю. Кузин* // Электро.– 2009. – № 6. – С. 49–50.

Рубинский В. А., Койфман А. А., Федоренко Д. Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА ПРИ УПРАВЛЕНИИ РАСХОДОМ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА ИСПАРИТЕЛЬНУЮ УСТАНОВКУ ТЕПЛОСИЛОВОГО ЦЕХА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Рассмотрен контур управления подачей питательной воды насосным агрегатом на испарительную установку. Подача воды осуществляется по двум коллекторам, из которых по параллельной схеме распределяется на испарители. Регулирование расхода происходит непосредственно на испарителях. На основании изученных материалов, была поставлена задача усовершенствовать существующую систему благодаря применению современного энергосберегающего оборудования - частотно-регулируемого привода.

Произведены экспериментальные исследования для получения данных о мощности двигателя при дросселировании и при использовании частотного преобразователя. Продемонстрировано не рациональный перерасход потребляемой мощности. Приводится расчет энергоэффективности существующей и предлагаемой систем.

На основе полученных данных о потребляемом количестве воды испарительной установки приведен график загрузки насосного агрегата. Опираясь на произведенные исследования произведен расчет суммарной экономической эффективности.

Для использования частотно-регулируемого привода в управлении расходом питательной воды разработана схема каскадно-регулируемого управления всеми насосными агрегатами, демонстрирующая поочередное управление насосными агрегатами, используя всего лишь один частотный преобразователь. За основу сигнала рассогласования принимается параметр суммарного расхода питательной воды на каждый испаритель. Для реализации ПИД регулирования частотно-регулируемого привода разработана блок-схема, описывающая зависимость регулируемой величины от выработки испарителя. Данный

алгоритм может функционировать для оптимизации существующего контура регулирования расхода воды в испарителе. Использование предложенной системы позволит на практике экономично и эффективно управлять насосными агрегатами, а также избежать проблем регулирования запорной арматурой.

Ключевые слова: *частотно-регулируемый привод, испарительная установка, каскадное регулирование, частотный преобразователь, питательная вода, насос, двигатель, система управления.*

Rubinskyi V. A., Koifman O. O., Fedorenko D. Yu.

APPLICATION OF VARIABLE FREQUENCY DRIVE IN CONTROL OF FEED WATER CONSUMPTION PER EVAPORATOR OF A HEAT AND POWER DEPARTMENT OF AN IRON AND STEEL PLANT

A control loop for the feed water supply with a pumping unit to an evaporator is considered. Water is supplied through two collectors, from which it is distributed in parallel circuit to the evaporators. The flow control takes place directly at the evaporators. Based on the materials studied, the task was set to improve the existing system through the application of modern energy-saving equipment - a variable frequency drive.

Experimental studies have been carried out to obtain data on engine power while throttling and while using a frequency converter. The non-rational overconsumption of intake power has been demonstrated. The calculation of the energy efficiency of the existing and proposed systems has been given.

On the basis of the obtained data on the consumed amount of water of the evaporator, the graph of the workload of the pumping unit is shown. Based on the research carried out, the total economic efficiency was calculated.

To use a variable frequency drive in the control of the feed water flow, a cascade-regulated control scheme for all pumping units has been developed, it demonstrates the alternate control of pumping units using only one frequency converter. The error signal is based on the parameter of the total feed water consumption for each evaporator. To implement the PID control of a variable frequency drive, a block diagram has been developed that describes the dependence of the controlled variable on the evaporator output. This algorithm can function to optimize an existing loop for controlling the water consumption in the evaporator. The use of the proposed system will make it possible in practice to control pumping units economically and efficiently, as well as to avoid the problems of regulating the isolation valves.

Keywords: *variable frequency drive, evaporator, cascade control, frequency converter, feed water, pump, e-motor, control system*

Рецензент: доц., канд. техн. наук, Кравченко В. П.
Стаття надійшла 06.12.2020 р.

УДК 004.77

Літвіненко А. А., Воротнікова З. Є.

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ МУЛЬТИ-ІМІДЖУ КОРИСТУВАЧА В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

У статті розглянуто ряд основних ідентифікаторів потрібних для ідентифікації, формування та аналізу користувача в мережі Інтернет, їх властивості і взаємозв'язки між собою всередині Анті-фрод систем. Досліджено типи ідентифікаторів браузерного та мережевого рівня, їх аналіз та взаємодія один з одним всередині інформаційних систем безпеки. Розглянуто основні рівні та етапи ідентифікації користувача в мережі Інтернет. Дано визначення інформативності апаратного та операційного рівня. Проаналізовано загальні статистичні дані користувачів Інтернет ресурсів, розглянуто базові процедури перевірки: ідентифікація, аутентифікація. Розглянуто принципи формування та обчислення рейтингу користувача веб-ресурсу. Розроблено власну систему безпеки на сайті, яка дозволяє ідентифікувати користувача в мережі Інтернет за допомогою аналізу інформації, отриманої в процесі взаємодії користувача з веб-сервером. У роботі було створено елементарного макету системи формування рейтингу легітимності користувача веб-ресурсу, згідно отриманих даних від нього для подальшого аналізу. Ідентифікування користувача веб-ресурсу проводилося за допомогою звичайних методів мови програмування Javascript. При створенні власної системи безпеки ідентифікації анонімних користувачів було відібрано 15 найбільш інформаційних ідентифікаторів, які запитуються у користувача при спробі авторизації на веб-ресурсі. Застосування наведених методів дозволяє збільшити ступінь достовірності ідентифікації користувача в мережі Інтернет, що дає можливість використовувати результати для автоматизованої оптимізації систем виявлення вторгнень або аномальних дій при виставленні адаптивного порога перевірки, а також для виявлення потенційного зловмисника в мережі Інтернет.

Ключові слова: *Інтернет, інформаційні системи, ідентифікація користувача, формування рейтингу користувача, аналіз даних, інформаційна безпека.*

Постановка проблеми. Інтернет є всесвітньо інформаційно-комп'ютерною системою, що поєднує між собою безпосередньо як користувачів цих комп'ютерних мереж, так і користувачів комп'ютерів для обміну інформацією. В даний час інтернет вже досить розвинувся новими технологіями і можливостями, дозволяючи проводити аналіз користувача, його інтересів і переваг, його дій і активності в мережі. Згідно зі статистичними даними на жовтень 2020 року, інтернет веб ресурсами користуються вже більше ніж 4.66 млрд осіб з 7.81 млрд населення нашої планети і цей відсоток нових користувачів в мережі збільшується з кожним днем. Зі зростання нових користувачів інтернет ресурсів, так само збільшуються обороти електронних платежів в мережі і з кожним роком ця цифра зростає. Купівельна спроможність людей (їх придбання в мережі інтернет) збільшується з кожним роком на 500 млрд. доларів, а на час всесвітньої пандемії ця цифра може збільшитися в декілька разів на 2020 рік [1].

Так само слід розуміти, що в цих сферах де циркулюють величезні гроші, кожного дня відбуваються тисячі злочинів шахраїв, які наносять величезну шкоду сумірну з десятками мільярдів доларів на рік [1].

Для запобігання шахрайських операцій і збереження грошей як звичайних користувачів так і великих корпорацій, використовують Антіфрод системи. Такі системи захищають платіжні шлюзи, особисті кабінети веб-ресурсів, форми авторизації і будь-який інший елемент, підвищена експлуатація якого може привести до збитку інтересам веб-ресурсу. Іншими словами, такі системи виконують функцію визначення і розпізнавання користувача як «доброго» або «поганого», приймаючи рішення, що користувачеві дозволити, а що заборонити.

Практично кожен веб ресурс має можливість отримати інформацію про користувача, і ідентифікувати його як особистість, зібравши всі потрібні дані про нього, згідно загального регламенту захисту персональних даних GDPR, CCPA, LGPD.

При реєстрації користувача на якомусь ресурсі або ж при покупці товару в інтернет магазині, при будь-якому цілеспрямованому активному дії, починається етап отримання поверхневої інформації про цього користувача (отримання його ідентифікаторів).

Дослідження ідентифікації користувача в мережі Інтернет дозволяє покращити захист інформації і запобігти неправомірному отриманню її злочинцями. У зв'язку з цим, розробка таких систем є актуальним завданням особливо при використанні не захищених каналів передачі даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Управління та розмежування доступу до комп'ютерних систем і до їх ресурсів є одним з важливих аспектів інформаційної безпеки, що може бути реалізовано за рахунок ідентифікації користувачів.

Аналіз відомих методів та рішень показав, які напрямки вже достатньо розроблено:

- методи та засоби комп'ютерно-лінгвістичного аналізу достовірності соціально-демографічних характеристик учасників віртуальних спільнот [2];
- методи реєстрації, верифікації та валідації персональних даних користувачів веб-спільнот [3];
- моделі віртуальної спільноти та інформаційного середовища віртуальної спільноти [4];
- етапи пошуку у WWW різноманітної інформації [5].

Концепція фінгерпринтингу ґрунтується на припущенні, що кожен електронний пристрій має унікальний набір фізичних чи логічних функцій, які можуть використовуватись для його ідентифікації на основі інформації, переданої браузером. Залежно від використовуваних методів, користувача можна відстежувати за допомогою функцій браузера (фінгерпринтинг браузера) або на основі системних налаштувань (крос-браузерний фінгерпринтинг), який дає змогу ідентифікувати пристрій та користувача, навіть коли використовується декілька браузерів [6].

Найпростіший спосіб відслідкувати користувача в мережі інтернет – це побудова ідентифікаторів об'єднанням набору параметрів, доступних у середовищі браузера, кожен з яких сам по собі не становить жодного інтересу, але разом вони утворюють унікальне для кожного комп'ютера значення: User Agent (версія браузера, версія операційної системи, деякі аддони), годинник (відхилення між реальним та системним часом), інформація про CPU та GPU, роздільна здатність екрана та розмір вікна браузера, список встановлених у системі шрифтів, список усіх встановлених плагінів, ActiveX-контролів, Browser Helper Object'ів та їх версій, інформація про встановлені розширення та інше програмне забезпечення [6, 7]. Автори [8] запропонували незалежний від браузера метод ідентифікації користувача – показали, що частини IP-адреси, певного набору шрифтів, часового поясу та роздільної

здатності екрана достатньо, щоб однозначно ідентифікувати більшість користувачів п'яти найпопулярніших браузерів. Ці параметри користувацького агента доволі ефективні, що підтвердила перевірка такого методу на наборі даних з майже тисячі записів, зібраних через загальнодоступний тестовий веб-сайт [8].

Низка ознак для ідентифікації користувача міститься в архітектурі локальної мережі та налаштуванні мережевих протоколів. Такі ознаки характерні для всіх браузерів, встановлених на клієнтському комп'ютері, їх не можна приховати за допомогою налаштувань приватності або якихось утиліт. Це: зовнішня IP-адреса, номери портів для вихідних TCP/IP-з'єднань, локальна IP-адреса для користувачів за NAT'ом або HTTP-проксі, інформація про проксі-сервери (отримана з HTTP-заголовка), які використовує клієнт [6, 7].

Ще одним варіантом ідентифікації користувача є аналіз характеристик кінцевого користувача: вибрана мова, кодування за замовчуванням, часовий пояс; дані в кеші клієнта та історія його переглядів; рухи мишею, частота та тривалість натискання клавіш, дані з акселерометра; будь-які зміни стандартних шрифтів сайту та їх розмірів, масштаб, використання спеціальних можливостей перегляду; стан певних функцій браузера, таких як блокування сторонніх cookies, DNS prefetching, блокування спливання вікон, налаштування безпеки [6, 7].

У роботі [9] подано спосіб відстеження користувача на основі профілю його системи з метою збирання даних за очищених або відключених користувачем cookies.

У роботі [10] проаналізовано властивості браузерів, які відправляють на сервер, дозволяючи створювати унікальний "відбиток" цих браузерів. Браузери, які підтримують Flash або Java, в середньому містять принаймні 18,8 біта ідентифікаційної інформації [11]. Але зазначені методи і засоби не розв'язують задачу формування інформаційного портрета користувача мережі інтернет.

Останнім часом суттєво збільшилася кількість досліджень та публікацій, присвячених цій проблемі. Значна більшість наукових статей розглядає лише один з можливих способів ідентифікації користувачів. Наприклад, парольна ідентифікація [2], біометрична ідентифікація [3, 4, 5, 12], але найчастіше розглядаються лише окремі біометричні ознаки, що використовуються для визначення особи користувача. Апаратна ідентифікація представлена лише низкою практичних рішень без докладного аналізу та порівняльної характеристики [13]. Що ж стосується комплексного підходу до ідентифікації користувачів, то в сучасній науковій літературі майже не представлено досліджень та практичних рішень систем, в яких використовується декілька ознак для ідентифікації одночасно [14, 15, 16].

Мета статті. Розробка методу підвищенні ступеня достовірності ідентифікації користувача в мережі Інтернет за рахунок використання допоміжної інформації про комп'ютер користувача.

Викладання основного матеріалу. Завдання дослідження полягає в розробці методу ідентифікації користувача в мережі інтернет та формування його інформаційного іміджу за рахунок використання допоміжної інформації про комп'ютер користувача

Практично кожен веб ресурс має можливість отримати інформацію про користувача, і ідентифікувати його як особистість, зібравши всі потрібні дані про нього, згідно загального регламенту захисту персональних даних GDPR, CCPA, LGPD.

При реєстрації користувача на якомусь ресурсі або ж при покупці товару в інтернет магазині, при будь-якому цілеспрямованому активному дії, починається етап отримання поверхневої інформації про цього користувача (отримання його ідентифікаторів).

На цьому ж етапі зборі інформації, відбувається отримання cookie-файлів - фрагментів даних, відправлених веб-сервісом і збережених на пристрої користувача, з метою отримання інформації про клієнта, який можливо вже існував на цьому сайті, або ж «познайомитися» з користувачем і запам'ятати його, як клієнта цього веб-ресурсу.

Після етапу збору інформації, настає етап аналізу отриманої інформації і в першу чергу, відбувається порівняння ідентифікаторів згідно фрод листам. Проще кажучи, якщо системою буде виявлено відбиток користувача який передає будь-якої унікальний ідентифікатор (швидше за все є фальшивим, прихованим або заміненим цим користувачем), то цей ідентифікатор буде знаходитися в так званому фрод листі і відповідно наявності цього ідентифікатора в цьому листі категорично негативно зіграє на всіх подальших діях цього користувача.

Крім цього, є можливість перевірити легітимність такого ідентифікатора, іншими словами перевіривши чи є цей ідентифікатор реальним.

Найважливішим етапом ідентифікації - є етап формування рейтингу надійності користувача який безпосередньо розраховується щодо зібраних і проаналізованих даних користувача. Залежно від цього рейтингу, приймається рішення або подальша дія буде дозволена, або дію заборонять, або попросять надати будь-яку додаткову інформацію про себе.

Наші гаджети містять в собі величезну кількість ідентифікаторів за допомогою яких можна оцінити нас як користувача і їх набагато більше ніж ми можемо уявити. Систематизуємо їх в окремі рівні:

- апаратний - «залізо» (всі електронні та механічні частини обчислювального пристрою);
- операційний - безпосередньо сама операційна система і її програмний підрівень - програмне забезпечення встановлене на пристрої;
- браузерний - браузер, його налаштування (плагіни, розширення);
- мережевий - визначення шляхів передачі даних по мережі.

Ідентифікаторами апаратного рівня виступають: монітор, процесор, відеокарта, батарея, оперативна пам'ять, мікрофон, веб камера, колонки, usb пристрої, мишка чи клавіатура.

Ідентифікатори операційного рівня: версія операційної системи, відбитки canvas, ім'я комп'ютера, геолокація ip адреса, встановлені шрифти, розкладка клавіатури, часовий пояс і час, відкриті порти.

Ідентифікатори операційної системи (апаратного та операційного рівня) в більшості випадків використовуються не для ідентифікації користувача, а для виявлення аномальних активностей і використання будь-якого анонімізуючого програмного забезпечення.

Ідентифікатори браузерного рівня: цифрові відбитки, властивості і функції нашого веб-браузера. Розглянемо їх детальніше.

Функції:

- User-Agent - буквено-цифровий рядок, що ідентифікує програму, яка відправляє запит на сервер і одночасно запитує доступ до веб-сайту.
- Browser engine - являє собою програму, що перетворює вміст веб-сторінок (файли HTML, XML, цифрові зображення і т.д.) і інформацію про форматування (в форматах CSS, XSL і т.д.) в інтерактивне зображення на екрані.

- WebGL - програмна бібліотека для мови JavaScript призначена для візуалізації інтерактивної тривимірної графіки і двомірної графіки в межах сумісності веб-браузера без використання плагінів.

- WebGL Extensions - розширення WebGL які дозволяють звертатися до відеокарти за допомогою OpenGL ES і виробляти отрисовку 3D-графіки через HTML5-елемент Canvas.

- Підтримка USB API - Інтерфейс управління передається usb пристроєм браузеру для ідентифікації.

- Підтримка CSS (каскадних таблиць стилів) - мови опису зовнішнього вигляду веб сторінки написаного з використанням мови розмітки (HTML або XHTML). Будь-який сайт запросивши CSS Reflections відображення, може визначає який Browser engine використовується.

- WebRTC - технологія призначена для передачі потокових даних між браузерами або додатками з використанням технології двочислової передачі (point-to-point transmission). Суттю впровадження даної технології розробниками була можливість надання користувачам мультимедійної комунікації між браузерами.

Властивості браузера:

- Апаратне прискорення графіки - використовується для швидкого рендеринга графіки на комп'ютері або ноутбучі шляхом переміщення цієї дії з центрального процесора в графічний процесор. Її наявність вказує на реального користувача, її відсутність вказує на користувача або віртуальної машини або віддаленого сервера.

- Загальна продуктивність - будь-який веб-ресурс може перевірити продуктивність процесора. Суть перевірки полягає в тому, що браузеру надається високо-ресурсний об'ємний JavaScript код час обробки якого, виражено в шкалі. Завдяки визначенню продуктивності браузера, можна визначити сімейство браузера, його версію.

За допомогою обчислення загальної продуктивності нашого процесора, є можливість розмежувати відразу 3 групи користувачів: користувачів реальних обчислювальних машин; користувачів віртуальних машин; користувачів серверів.

У користувачів реальних машин - значення будуть усереднені, у користувачів віртуальних машин - низькими, у користувачів серверів - значення будуть завищеними.

Відбитки:

- Самостійні відбитки - отримані в результаті використання однієї технології.

- Залежні відбитки - отримані при поєднанні технологій.

Приклади самостійних відбитків:

- Canvas - технологія Canvas використовується для малювання графіки засобами мов програмування (зазвичай JavaScript). Простими словами це елементарні інструкції з побудови графіки в браузері користувача, тим самим картинка буде будуватися на комп'ютері кожного користувача і зображення на виході, буде відрізнятися. Відмальоване зображення, перекладається в бінарний код. Найменша зміна пікселя зображення, призведе до зміни масиву бінарних чисел і подальше перетворення за допомогою хеш функції призведе до кординальної зміни хешу зображення на двох різних комп'ютерах.

- WebGL - на відміну від технології кинувся WebGL малює 3D фігуру.

- AudioContext - аудіо відбиток, використовується для виявлення віртуальних машин і віддалених серверів, в залежності від відмінності відтворення аудіо або неможливістю відтворення взагалі, як при використанні віддалених серверів.

- Font Fingerprint - розробник веб-ресурсу може вимагати наявності певних шрифтів і певних гарнітур до цих шрифтів і в залежності від того, чи знаходяться ці шрифти у користувача на його пристрої є можливість ідентифікувати його систему з дуже великою часткою ймовірності, є можливість ідентифікувати що система «свіжа», є можливість ідентифікувати систему якщо вона в собі має додаткове програмне забезпечення.

- ClientRect - масштабність тексту зображеного на веб сторінці.

Ідентифікатори мережевого рівня: прямі ідентифікатори - конкретні значення; непрямі ідентифікатори - підлягають додатковій перевірці, засновані на прямих ідентифікаторах; ідентифікатори отримані в результаті технічного аналізу прямих і з них похідних непрямих ідентифікаторів.

Прямі ідентифікатори:

IP адреса:

- IPv4 (Internet Protocol version 4) четверта версія протоколу IP. Перша широко використовувана версія. IPv4 використовує 32-бітові (чотирибайтових) адреси, що обмежують адресний простір 4 294 967 296 можливими унікальними адресами.

- IPv6 (Internet Protocol version 6) нова версія протоколу IP, покликана вирішити проблеми з якими зіткнулася попередня версія (IPv4) при її використанні в Інтернеті, за рахунок використання довжини адреси 128 біт замість 32 біт. IPv6 використовує 128-бітові адреси, що обмежують адресний простір теоретично доступними 340 282 366 920 938 463 463 374 607 431 768 211 456 унікальними адресами.

DNS - (Англ. Domain Name System «система доменних імен») - комп'ютерна розподілена система для отримання інформації про домени. Найчастіше використовується для отримання IP-адреси по імені хоста (комп'ютера або пристрою), отримання інформації про маршрутизації пошти або обслуговуючих вузлах для протоколів в домені (SRV-запис).

WebRTC (англ. Real-time communications - комунікації в реальному часі) - проект з відкритим вихідним кодом, призначений для організації передачі потокових даних між браузером. Антіфрод взяли цю технологію собі на увагу, з якої того, що WebRTC дозволяє показати реальний IP-адресу користувача. Перевірка відбувається запитом від декількох stun серверів і в залежності від того, як ці запити будуть оброблені, такий і WebRTC-адреса буде закріплений за користувачем.

Відкриті порти. На будь-якому комп'ютері користувача існує 65535 портів. Практично всі служби і додатки використовують під себе окремий виділений порт. Завдяки скануванню портів користувача (запиту до певних портів) є можливість ідентифікувати користувача.

TLS відбиток. Аббревіатура TLS (Transport Layer Security / Протокол захисту транспортного рівня) з'явилася в якості заміни позначення SSL (Secure Sockets Layer) після того, як протокол остаточно став інтернет-стандартом. TLS ставить собі за мету створення між двома вузлами мережі захищений від прослуховування і підміни інформації канал зв'язку, придатний для передачі довільних даних в обох напрямках, а також виконання перевірки того, що обмін даними відбувся між саме тими вузлами, для яких канал і планувався. TLS відбиток складається на основі даних аналізу параметрів шифрування і використовується, як додатковий сигнал при ідентифікації користувача.

Непрямі ідентифікатори:

Hops - кількість проміжних вузлів, від користувача до шуканого веб-ресурсу, чим більше ця відстань, тим більша ймовірність того, що користувач використовує будь-які засоби анонімності.

Двосторонній пінг - завдяки використанню двостороннього пінга, є можливість і з одного боку, сторони клієнта і з боку веб-ресурсу, зрозуміти яка кількість пакетів буде витрачено на обробку сигналу.

Пасивний відбиток операційної системи - *Passive Operation System Fingerprinting* - це відбиток операційної системи встановленої на пристрої. Основне завдання POSF - визначити тип і версію ОС комп'ютера.

Аналізовані ідентифікатори:

ASN - автономна система (AS) являє собою групу з кількох IP-мереж, що мають окрему політику маршрутизації. Щоб ці автономні системи могли взаємодіяти один з одним, їм потрібен унікальний номер або ідентифікатор. Номер автономної системи (ASN) - це унікальний номер, доступний глобально, що дозволяє відповідним автономним системам обмінюватися даними маршрутизації з іншими підключеними системами. ASN може бути приватним або загальнодоступним.

Підмережа - це розділена мережа на менші частини за допомогою запозичення бітів з частини IP-адреси, в якій визначається хост, це дозволяє більш ефективно використовувати мережеву адресу. Підмережа і кількість IP адрес за якими відбуваються будь-якого роду інциденти, зафіксовані анти-фрод системами безпосередньо впливає на легітимність самого користувача.

Fraud List / Black List - при здійсненні фрод дій (шахрайських операцій в мережі Інтернет) користувачем, його IP-адреси заносять в Fraud List. І при подальших перевірках і аналізах IP-адреси вже буде можливість провести перевірку, яким користувачем, він є «добрим» або «поганим». Fraud List - листи знаходяться всередині анти-фрод системи.

IP-Type - визначення типу з'єднання

Region Data - зіставлення часу користувача за IP-адресою до часу отриманого на системі цього користувача.

Is bot? - рейтинг того чи є користувач живою людиною або він бот, на підставі IP-адреси і активності користувача в мережі інтернет.

Формування рейтингу користувача базується відносно всіх зібраних і проаналізованих даних, але окрім перевірки певних ідентифікаторів всіх рівнів та їх окремих взаємодій одного між одним, також проводиться цифрова розвідка, звана як OSINT. Open Source INTelligence - пошук, збір і аналіз інформації, отриманої із загальнодоступних джерел. Перевірка соціальних мереж користувача.

Проект передачі даних - це ініціатива з відкритим вихідним кодом, яка забезпечує переносимість даних між декількома онлайн-платформами. Проект був запущений і представлений Google 20 липня 2018 року, і в даний час він дозволяє обмінюватися інформацією між собою такими великими компаніями як Google, Facebook, Microsoft, Twitter і Apple.

Завдяки збору цієї інформації можна визначити користувача як нового і позначити його умовним рейтингом ще до перевірки його ідентифікаторів. Згідно аналізу даних, розрахунку легітимних і підозрілих дій сторони користувача, система дає свою оцінку цієї особи та вирішує подальші дії з ним. Наприклад якщо рейтинг користувача розрахований системою умовно більше певного значення - користувачу надається можливість подальших дій, якщо рейтинг менше певного значення - система може запросити додаткову інформацію про користувача і нам сам кінець якщо система визначить безліч підозрілих даних, вона може заблокувати такого юзера або обмежити його права.

Окрім збору інформації про користувачів з метою забезпечити себе і свої веб-ресурси, сайти також використовують дані користувача і в маркетингових цілях. Наприклад ціна товару може відрізнятися в інтернет-магазині в залежності від вашої операційної системи на телефоні (iOS, Android). В залежності від вашого місця знаходження, на веб-ресурсах може відрізнятися список готелів в які ви би хотіли або хочете заселитися, і таких прикладів дуже багато.

Веб-ресурс сам проектує ці системи оцінок користувачів, згідно зі своїх інтересів, переваг, ідей, виконуючи свої функції та поставленні завдання.

Для сучасних інформаційних систем застосовуються засоби ідентифікації, засновані на зберіганні IP-адрес комп'ютерів відвідувачів і записих на комп'ютер користувача даних Cookie. До недоліків першого способу відноситься широка поширеність динамічних IP-адрес, що виділяються з пулу провайдера в момент підключення користувача, а також можливість використання в мережі проксі-серверів, анонімайзерів і механізму NAT (NetworkAddressTranslation), що знижує ступінь достовірності ідентифікації користувача. Недоліком другого способу є прив'язка Cookie до конкретного браузера, що знижує вірогідність ідентифікації при використанні декількох браузерів. Іншим недоліком використання даної технології є можливість підміни і знищення даних Cookie, а також відключення самого механізму користувачем.

Таким чином, обидва способи не дозволяють в ряді випадків досягти необхідного ступеня достовірності ідентифікації. В той же час існують способи отримання даних, що характеризують робоче середовище користувача. Під робочим середовищем користувача розуміються дані про операційній системі користувача, шрифтах, параметрах екрана, плагінах, відвіданих посиланнях і т.п.

В даний час майже кожен веб ресурс має свої системи оцінки та методи оцінки користувача. Перевірки їх аномальних та підозрілих дій на сайті, їх використання декількох акаунтів для подальшого зловживання.

У роботі було створено елементарного макету системи формування рейтингу легітимності користувача веб ресурсу, згідно отриманих даних від нього для подальшого аналізу. Ідентифікувати користувача веб ресурсу ми будемо за допомогою звичайних методів мови програмування Javascript.

JavaScript - прототипно-орієнтована сценарна мова програмування, зазвичай використовується як вбудованій мова для програмного доступу до об'єктів додатків. Найбільш широке застосування знаходить в браузерах як мова сценаріїв для додання інтерактивності веб-сторінках.

Технологія Javascript дозволяє отримати дані про операційну систему, плагінах, часовому поясі користувача та вирішенні екрану. Безсумнівним плюсом технології є її поширеність, кроссбраузерність і непомітність для користувача. Javascript включений у 99,9 % користувачів.

Одним з найпростіших методів отримання ідентифікаторів від браузера є властивості і методи об'єкту navigatorJavascript.

Об'єкт navigator - інформаційний об'єкт, який використовується для отримання різної інформації браузера, мережевого з'єднання, операційній системі і т.ін.

Ця інформація доступна через такі властивості цього об'єкту:

- appCodeName - повертає внутрішнє "кодове" ім'я браузера;
- appName - повертає ім'я браузера;

- `appVersion` - повертає інформацію про версії браузера;
- `cookieEnabled` - визначає чи включені cookies в браузері;
- `geolocation` - повертає об'єкт `Geolocation`, який використовується для визначення місця розташування користувача;
- `language` - повертає яка мова використовується в браузері;
- `online` - визначає чи перебуває браузер в режимі онлайн;
- `platform` - повертає назву платформи, в якій браузер працює;
- `product` - повертає ім'я движка, на якому працює браузер;
- `userAgent` - повертає рядок `useragent`, яка містить інформацію про браузері.

Вона використовується в якості заголовка, який браузер посилає на сервер.

При створенні власної системи безпеки ідентифікації анонімних користувачів було відібрано 15 найбільш інформаційних ідентифікаторів, які запитуються у користувача при спробі авторизації на веб-ресурсі. Серед них:

1. IP – адрес, при наявності дублікату IP в базі даних веб-ресурса, помічає користувача як порушника, відстеження мультиакаунтингу.
2. Ім'я браузера.
3. Версія браузера.
4. Заголовок `UserAgent`, при невідповідності до отриманих даних (Ім'я та Версія браузера отриманих методами Javascript) помічає користувача як ненадійного, ймовірно використання засобів анонімності.
5. Мова системи.
6. Розширення екрану, при аномальних значеннях, помічає користувача як ненадійного.
7. Активне розширення екрану, відстеження мультиакаунтингу.
8. Місто, відстеження використання засобів анонімності VPN, PROXY та ін.
9. Країна, відстеження використання засобів анонімності VPN, PROXY та ін.
10. Перевірка `Cookie`, їх наявність. При вимкнених `Cookie`, ймовірність анонімізації користувача, помічає користувача як ненадійного.
11. Часовий пояс, порівняння з IP адресою та місцезнаходженням користувача, при невідповідності даних, помічає користувача як ненадійного.
12. Перевірка методу `maxTouchPointsJavascript` на наявність `TouchScreen` користувача, при невідповідності даних (Розширення екрану, `UserAgent` зокрема відмінності в операційній системі) помічає користувача як порушника.
13. Отримання унікального ідентифікатору `WebGLhash`, розрахованого побудовою 3d фігури, при наявності дублікату в базі даних, помічає користувача як порушника.
14. Отримання унікального ідентифікатору `Canvashash`, створення 2d малюнку зображення з накладанням ефекту на встановлений шрифт, при наявності дублікату в базі даних, помічає користувача як порушника.
15. Власний ідентифікатор унікального користувача, присвоєний одноразово, до унікальної IP адреси, `WebGL` та `Canvas` відбитка.

Приклад таблиці `MySQL` зі збору ідентифікаторів показано на рис. 1.

Інформаційні технології

#	Имя	Тип	Сравнение	Атрибуты	Null	По умолчанию	Комментарии	Дополнительно	Действие
<input type="checkbox"/>	1	id	int(5)		Нет	Нет		AUTO_INCREMENT	Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	2	Name	text	utf8_general_ci	Нет				Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	3	SName	text	utf8_general_ci	Нет				Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	4	Date	text	utf8_general_ci	Нет				Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	5	IP	text	utf8_general_ci	Нет				Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	6	Browser	text	utf8_general_ci	Нет				Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	7	Version	varchar(128)	utf8_general_ci	Да	NULL			Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	8	Lang	text	utf8_general_ci	Нет				Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	9	UserAgent	varchar(128)	utf8_general_ci	Да	NULL			Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	10	Screen	varchar(128)	utf8_general_ci	Да	NULL			Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	11	AScreen	varchar(128)	utf8_general_ci	Да	NULL			Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	12	City	varchar(128)	utf8_general_ci	Да	NULL			Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	13	Country	varchar(128)	utf8_general_ci	Да	NULL			Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	14	WebGL	text	utf8_general_ci	Нет				Изменить Удалить Ещё
<input type="checkbox"/>	15	Canvas	text	utf8_general_ci	Нет				Изменить Удалить Ещё

Рисунок 1 – База даних MySQL веб-ресурсу

Приклад ідентифікації нового легітимного користувача веб-ресурсу через форму авторизації на сайті показано на рис. 2.

id	Name	SName	Date	IP	Browser	Version	Lang	UserAgent	Screen	AScreen	City
99	Andrey	Litvinenko	12.10.20 08:51:35	178.209.67.216	Google Chrome	87.0.4280.88	ru- RU	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/87.0.4280.88 Safari/537.36	1920x1080	1920x969	Mariupol
City	Country	WebGL	Canvas	Uniq	COOKIE	UTC					
Mariupol	Ukraine	7a1c5eb9985acfb615c0d57d4c44ebfb97f2f014e3d7534e6d50e409526ef001	1316880612	true	true	2					

Рисунок 2 – Новий легітимний користувач веб-сайту

Наявність усіх типів ідентифікаторів, та їх унікальність, характеризує користувача як легітимного і позначає зеленим кольором в базі даних MySQL, такий користувач є унікальним. Приклад ідентифікації нового ненадійного користувача веб-ресурсу показано на рис. 3.

Інформаційні технології

id	Name	SName	Date	IP	Browser	Version	Lang	UserAgent	Screen	AScreen	City	
96	Andrey	Litvinenko	12.10.20 08:43:40	178.209.67.216	Google Chrome	87.0.4280.88	ru- RU	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/87.0.4280.88 Safari/537.36	1920x1080	1920x969	Mariupol	
City	Country	WebGL							Canvas	Uniq	COOKIE	UTC
Mariupol	Ukraine	7a1c5eb9985acfb615c0d57d4c44ebfb97f2f014e3d7534e6d50e409526ef001								true	true	2

Рисунок 3 – Новий ненадійний користувач веб-сайту

Спроба сховати дані ідентифікатору, вже можуть свідчити, про «погані» діяння такого користувача, система буде вважати його ненадійним і позначає жовтим кольором в базі даних, такий користувач, скоріш за все використає засоби анонімності.

Приклад ідентифікації нового користувача веб-ресурсу у вигляді порушника показано на рис. 4.

id	Name	SName	Date	IP	Browser	Version	Lang	UserAgent	Screen	AScreen	City
99	Andrey	Litvinenko	12.10.20 08:51:35	178.209.67.216	Google Chrome	87.0.4280.88	ru- RU	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/87.0.4280.88 Safari/537.36	1920x1080	1920x969	Mariupol
100	Nikita	Ivanov	12.10.20 09:02:39	92.60.190.249	Mozilla Firefox	80.0	ru- RU	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64; rv:80.0) Gecko/20100101 Firefox/80.0	1920x1080	1920x969	Mariupol

Рисунок 4 – Користувач порушник веб-сайту

Здавалося б, новий користувач сайту, з іншою IP адресою, та іншим браузером, але система ідентифікує такого шахрая за його іншими однотипними ідентифікаторами.

City	Country	WebGL	Canvas	Uniq	COOKIE	UTC
Mariupol	Ukraine	7a1c5eb9985acfb615c0d57d4c44ebfb97f2f014e3d7534e6d50e409526ef001	1316880612	true	true	2
Mariupol	Ukraine	7a1c5eb9985acfb615c0d57d4c44ebfb97f2f014e3d7534e6d50e409526ef001	1316880612	false	true	2

Рисунок 5 – Користувач порушник веб-сайту

Отже такий користувач, не є унікальним на сайті, система визначила збіг даних ідентифікаторів (WebGL та Canvas) з іншим користувачем, це свідчить що реєстрація нового користувача проводилася з одного пристрою, тому такий аккаунт помічається червоним кольором, як порушник.

Тільки за рахунок системної оцінки та аналізу даних користувача отриманих веб-ресурсом досягається такий високий рівень ефективності ідентифікації особи в мережі інтернет.

Застосування наведених методів дозволяє збільшити ступінь достовірності ідентифікації користувача в мережі Інтернет, що дає можливість використовувати результати для автоматизованої оптимізації систем виявлення вторгнень або аномальних дій при виставленні адаптивного порога перевірки, а також для виявлення потенційного зловмисника в мережі Інтернет.

ВИСНОВКИ

У статті розглянуто ряд основних ідентифікаторів потрібних для ідентифікації, формування та аналізу користувача в мережі інтернет, їх властивості і взаємозв'язки між собою всередині Анті-фрод систем.

Розглянуто основні рівні та етапи ідентифікації користувача в мережі Інтернет. Визначення інформативності апаратного та операційного рівня.

Проаналізовано загальні статистичні дані користувачів Інтернет ресурсів, розглянуто базові процедури перевірки: ідентифікація, аутентифікація. Розглянуто принципи формування та обчислення рейтингу користувача веб-ресурсу.

Розроблено власну систему безпеки на сайті, яка дозволяє ідентифікувати користувача в мережі Інтернет за допомогою аналізу інформації, отриманої в процесі взаємодії користувача з веб-сервером.

Наукова новизна роботи визначається ґрунтовним дослідженням всіх типів ідентифікаторів браузерного та мережевого рівня, їх аналіз та взаємодія один з одним всередині інформаційних систем безпеки. Практична значущість роботи полягає у детальній розробці власної інформаційної системи безпеки ідентифікації користувача Інтернет.

Список використаних джерел:

1. DataReportal [Electronic resource]. – Mode of access: <https://datareportal.com/reports>
2. Федушко, С. С. Методи та засоби комп'ютерно-лінгвістичного аналізу достовірності соціально-демографічних характеристик учасників віртуальних спільнот : дис. ... канд. техн. наук : 10.02.21 / Федушко Соломія Степанівна. – Львів, 2015. – 205 с.
3. Пелецишин, А. М. Методи верифікації персональних даних на основі гендерного аналізу мови користувачів Веб-спільнот / А. М. Пелецишин, С. С. Федушко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 3/4. – С. 37–39.
4. Пелецишин, А. М. Аналіз існуючих типів віртуальних спільнот у мережі інтернет та побудова моделі віртуальної спільноти на основі веб-форуму / А. М. Пелецишин, Р. Б. Кравець, О. Ю. Серов // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Серія : Інформаційні системи та мережі. – 2011. – № 699. – С. 212–221.
5. Канюк, Н. В. Етапи пошуку в WWW інформації, призначеної для аналізу політичних явищ / Н. В. Канюк, А. М. Пелецишин // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 4. – С. 57–60.
6. Flood, E. Browser Fingerprinting / E. Flood, J. Karlsson. – Göteborg : Chalmers University of Technology University of Gothenburg, 2012. – 99 p.
7. Галатенко, В. А. Основы информационной безопасности : учебное пособие / В. А. Галатенко; под ред. академика РАН В. Б. Бетелина. – 4-е изд. – М. : Интернет Университет Информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 205 с.
8. Шарипов, Р. Р. Идентификация и аутентификация пользователей по клавиатурному почерку / Р. Р. Шарипов // Электронное приборостроение : научно-практ. сб. – Казань, 2005. – Вып. 3 (44). – С. 50–54.
9. Джхунян, В. Л. Электронная идентификация / В. Л. Джхунян, В. Ф. Шаньгин. – М. : NT Press, 2004. – 695 с.
10. Завгородний, В. И. Комплексная защита информации в компьютерных системах: учебное пособие / В. И. Завгородний. – М. : Логос; ПБОЮЛ Н.А. Егоров, 2001. – 264 с.
11. Шрамко, В. Н. Комбинированные системы идентификации и аутентификации / В. Н. Шрамко // PCWeek/RE. – 2004. – № 45. – Режим доступа: <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=69114>
12. Flood, E. Browser Fingerprinting / E. Flood, J. Karlsson. – Göteborg : Chalmers University of Technology University of Gothenburg, 2012. – 99 p.
13. User Tracking on the Web via Cross-Browser Fingerprinting / K. Boda, A. M. Foldes, G. G. Gulyas, S. Imre // 16th Nordic Conference on Secure IT-Systems (Tallinn, October 26–28 2011 y.) : Proceedings. – Tallinn, 2011. – P. 31–46.
14. User Profiling Through Browser Finger Printing / M. Ali, Z. A. Shaikh, M. K. Khan, T. Tariq // International Conference on Recent Advances in Computer Systems (Hail, November 30 – December 01, 2015 y.) : Proceedings. – Hail, 2015. – P. 135–140.
15. Browser Fingerprinting as User Tracking Technology / N. Kaur, S. Azam, K. Kannoorpatti, K. C. Yeo, B. Shanmugam // 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (Coimbatore, January 05–06 2017 y.) : Proceedings. – Coimbatore, 2017. – P. 103–111.
16. Eckersley, P. How Unique Is Your Web Browser? / P. Eckersley // 10th International Symposium on Privacy Enhancing Technologies (Berlin, July 21–23 2010 y.) : Proceedings. – Berlin, 2010. – P. 1–18.

17. Глуценко, Н. Слишком большие данные: сколько информации хранится в Интернете? [Электронный ресурс] / Н. Глуценко. – Режим доступа: <https://ain.ua/special/skolko-vesit-internet/>

Литвиненко А. А., Воротникова З. Е.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИ-ИМИДЖА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

В статье рассмотрен ряд основных идентификаторов необходимых для идентификации, формирования и анализа пользователя в сети Интернет, их свойства и взаимосвязи между собой внутри Анти-фрод систем. Исследованы типы идентификаторов браузерного и сетевого уровня, их анализ и взаимодействие друг с другом внутри информационных систем безопасности. Рассмотрены основные уровни и этапы идентификации пользователя в сети Интернет. Дано определение информативности аппаратного и операционного уровня. Проанализированы общие статистические данные пользователей Интернет ресурсов, рассмотрены базовые процедуры проверки: идентификация, аутентификация. Рассмотрены принципы формирования и вычисления рейтинга пользователя веб-ресурса. Разработана собственная система безопасности на сайте, которая позволяет идентифицировать пользователя в сети Интернет с помощью анализа информации, полученной в процессе взаимодействия пользователя с веб-сервером. В работе был создан элементарный макет системы формирования рейтинга легитимности пользователя веб-ресурса, согласно полученным данным от него для дальнейшего анализа. Идентификации пользователя веб-ресурса проводилось с помощью обычных методов языка программирования Javascript. При создании собственной системы безопасности идентификации анонимных пользователей было отобрано 15 наиболее информативных идентификаторов, которые запрашиваются у пользователя при попытке регистрации на веб-ресурсе. Применение указанных методов позволяет увеличить степень достоверности идентификации пользователя в сети Интернет, дает возможность использовать результаты для автоматизированной оптимизации систем обнаружения вторжений или аномальных действий при выставлении адаптивного порога безопасности, а также для выявления потенциального злоумышленника в сети Интернет.

Ключевые слова: Интернет, информационные системы, идентификация пользователя, формирование рейтинга пользователя, анализ данных, информационная безопасность.

Litvinenko A. A., Vorotnikova Z. J.

DESIGNING A SYSTEM FOR FORMING A MULTIFACETED USER IMAGE ON THE INTERNET

The article discusses a number of basic identifiers required for identification, formation and analysis of a user on the Internet, their properties and interconnections within Anti-Fraud systems. The types of identifiers of the browser and network level, their analysis and interaction with each other within information security systems have been investigated. The main levels and stages of user identification on the Internet are considered. The definition of the information content of the

hardware and operational level is given. General statistical data of users of Internet resources are analyzed, basic verification procedures are considered: identification, authentication. The principles of forming and calculating the rating of a web resource user are considered. We have developed our own security system on the site, which allows you to identify a user on the Internet by analyzing information obtained in the process of user interaction with a web server. In the work, an elementary model of the system for forming the legitimacy rating of a web resource user was created, according to the data received from him for further analysis. The user of the web resource was identified using the usual methods of the Javascript programming language. When creating our own security system for identifying anonymous users, 15 of the most informative identifiers were selected that are requested from the user when trying to register on a web resource. The use of these methods makes it possible to increase the degree of reliability of user identification on the Internet, makes it possible to use the results for automated optimization of intrusion detection systems or anomalous actions when setting an adaptive security threshold, as well as for identifying a potential attacker on the Internet.

Key words: *Internet, information systems, user identification, user rating formation, data analysis, information security.*

Рецензент: канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ» Кривенко О. В.
Стаття надійшла 15.12.2020 р.

УДК 669.162.22

Щербаков С. В., Черевко О. О.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЗЛИТКУ

В умовах сучасного виробництва велика увага приділяється питанням підвищення якості злитків, виготовлених за технологією безперервного лиття, а також питанням надійності та безпеки роботи обладнання. На якість відливої заготовки впливає комплекс різних факторів, основними з яких є конструктивні особливості основних вузлів МБЛЗ і наявність систем автоматичного управління.

Ключову роль у забезпеченні високої якості поверхні та внутрішньої структури злитка відіграє робота системи автоматичного управління зоною вторинного охолодження. На сучасних МБЛЗ застосовуються динамічні системи вторинного охолодження (ДСВО). Сутність даних систем полягає в можливості корекції параметрів зони вторинного охолодження на основі інформації про поточний тепловий стан злитка, яку ДСВО отримує в режимі реального часу. Необхідність отримання достовірної інформації про поточний стан злитка представляє головну складність при проектуванні ДСВО. На даний час не існує методу, який дозволяє безперервно контролювати температуру внутрішніх точок злитка, і розробка такого методу в найближчому майбутньому не представляється можливою. Тому, для контролю температурного стану злитка в ДСВО використовуються математичні моделі, які ґрунтуються на чисельному рішенні задачі нестационарної теплопровідності.

В роботі проведений аналіз існуючої системи управління вторинним охолодженням злитка на МБЛЗ № 6 ПАТ «МК «Азовсталь». Розроблено модель кристалізації злитка, яка

дозволяє аналізувати профіль температури поверхні та внутрішнє температурне поле. Порівняння результатів, отриманих при використанні моделі, з даними технічної документації МБЛЗ підтвердило достатню адекватність моделі та можливість подальшого її використання в системах управління вторинним охолодженням злитків.

Ключові слова: МБЛЗ, злиток, кристалізація, вторинне охолодження, система автоматизованого управління, експеримент, комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. Головним фактором, що визначає якість суцільнолитих злитків, є організація режимів вторинного охолодження. У зв'язку зі складністю реалізації методів безперервного контролю ряду параметрів технологічного процесу, для отримання достовірної інформації про поточний стан злитка використовуються математичні моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературних джерелах [1, 2] наводяться рекомендації щодо раціональної організації режиму вторинного охолодження злитка. Всі вимоги зводяться до підтримки еталонного профілю температури поверхні злитка протягом технологічної лінії МБЛЗ, що є метою функціонування багатьох САУ вторинним охолодженням.

В основі більшості розроблених останнім часом систем управління вторинним охолодженням використовуються динамічні моделі температурного поля суцільнолитої заготовки. Наприклад, модель кристалізації злитка DYNCOOL, що використовується в ДСВО фірми «Раутаруккі» (Фінляндія) [3], розраховує температурний профіль заготовки, товщину кірки і витрати води на вторинне охолодження. Управління витратами охолоджуючої води для кожної із секцій ЗВО проводиться таким чином, щоб мінімізувати відхилення розрахункового профілю температури поверхні злитка від заданого. Недоліком даної ДСВО є відсутність безпосереднього контролю температури поверхні злитка. Модель кристалізації включає в себе ряд констант, значення яких можуть бути визначені тільки в ході експериментів. Якщо ж в моделі задані неточні значення констант, то результати розрахунків, одержані за її допомогою, будуть неадекватні реальному процесу, що не дозволить досягти високої якості управління вторинним охолодженням.

Математична модель кристалізації злитка на МБЛЗ являє собою сукупність рівнянь, що описують теплові процеси всередині злитка, а також теплообмін між злитком і навколишнім середовищем [1]. Всі відомі моделі кристалізації ґрунтуються на рішенні нестационарного рівняння теплопровідності [2 – 4, 8].

Через нелінійність рівняння теплопровідності його точне аналітичне рішення не представляється можливим [1 – 4]. Для вирішення рівняння теплопровідності використовують чисельні методи сіток. Аналіз інформації, наведеної в [5, 6], показав, що для вирішення задачі кристалізації злитка на МБЛЗ найкраще підходить неявна різницєва схема завдяки її збіжності з точним рішенням навіть у тому випадку, коли коефіцієнти рівняння теплопровідності залежать від температури, що властиво задачі кристалізації злитка.

Таким чином, пошук оптимального алгоритму моделювання з подальшою практичною реалізацією має важливу роль в комплексній системі автоматизації МБЛЗ.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі кристалізації злитка для удосконалення системи динамічного управління охолодженням сляба в ЗВО і підвищення якості відлитих заготовок.

Виклад основного матеріалу. Процес кристалізації злитка описується диференціальним рівнянням теплопровідності з внутрішніми джерелами тепла, особливістю якого є облік

Інформаційні технології

теплоти, що виділяється при кристалізації.

Диференційне рівняння нестационарної теплопровідності з урахуванням ефективної теплоємності $C_E(T)$ і ефективної теплопровідності $\lambda_E(T)$ має вигляд:

$$\rho(T)C_E(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda_E(T)\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де T – температура металу, $^{\circ}\text{C}$; $\rho(T)$ – щільність металу, що залежить від температури, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $C_E(T)$ – ефективна теплоємність металу, яка враховує виділення теплоти при кристалізації, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$; τ – час, с ; $\lambda_E(T)$ – коефіцієнт ефективної теплопровідності, який враховує явище конвективного теплопереносу в рідкій фазі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$.

Значення ефективної теплоємності та ефективної теплопровідності визначаються за виразами (2) і (3) відповідно:

$$C_E(T) = \begin{cases} C_m(T), \text{ при } T < T_c \\ \frac{C_m(T) + C_p(T)}{2} + \frac{q_{кр}}{T_l - T_c}, \text{ при } T_l \leq T \leq T_c \\ C_p(T), \text{ при } T > T_l, \end{cases} \quad (2)$$

де $C_m(T)$ – теплоємність твердого металу, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$; $C_p(T)$ – теплоємність рідкого розплаву, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$; T_l – температура ліквідусу, $^{\circ}\text{C}$; T_c – температура солідусу, $^{\circ}\text{C}$;

$$\lambda_E(T) = \begin{cases} \lambda_m(T), \text{ при } T < T_c \\ \lambda_m(T) \cdot \psi + \lambda_p(T) \cdot (1 - \psi), \text{ при } T_l \leq T \leq T_c \\ \lambda_p(T), \text{ при } T > T_l, \end{cases} \quad (3)$$

де $\lambda_m(T)$ – теплопровідність твердого металу, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$; $\lambda_p(T)$ – теплопровідність рідкого металу, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$; ψ – відносна кількість твердої фази; T_l – температура ліквідусу, $^{\circ}\text{C}$; T_c – температура солідусу, $^{\circ}\text{C}$.

Значення щільності та теплопровідності сталі при різній температурі взяті з бази даних експериментів на МБЛЗ № 6. Відомості про залежність теплоємності сталі від температури в базі даних відсутні, тому були використані дані, наведені в джерелі [2].

Обмеження на розрахункову область задачі нестационарної теплопровідності представлені системою нерівностей:

$$\begin{cases} 0 \leq x \leq Lx; \\ 0 \leq \tau \leq t_p, \end{cases} \quad (4)$$

де L_x – товщина злитка, м ; t_p – час розрахунку.

У загальному випадку температура злитка є функцією трьох координат і часу: $T = T(x, y, z, \tau)$. Вісі x та y розташовуються в поперечному перетині злитка, вісь z збігається з напрямком витягування злитка. Для широких слябів, співвідношення сторін яких більше 4, теплообміном через вузькі грані можна знехтувати [1]. Для МБЛЗ № 6 співвідношення сторін сляба знаходиться в діапазоні 5,56 – 9,55.

Рух злитка моделюється шляхом просування контрольного перетину уздовж вісі z . Таким чином, для широкого сляба задача теплопровідності може бути зведена до локально-одновимірної, яка включає в себе одновимірну задачу теплопровідності з моделюванням просування контрольного перетину злитка уздовж технологічної лінії МБЛЗ. Рішення задачі теплопровідності для контрольного перетину відбувається до тих пір, поки він не покине межі ЗВО. Час розрахунку буде залежати від швидкості просування контрольного перетину.

Початкові умови характеризують розподіл температур у початковий момент часу:

$$T(x, 0) = T_0, \quad (5)$$

де T_0 – температура металу, що надходить з промковша.

Граничні умови характеризують процес теплообміну на поверхні злитка.

Для кристалізатора задаються граничні умови II-го роду:

$$\begin{cases} \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} = -\frac{q_1(\tau)}{\lambda_E(T)}; \\ \frac{\partial T(Lx, \tau)}{\partial x} = -\frac{q_2(\tau)}{\lambda_E(T)}, \end{cases} \quad (6)$$

де $q_1(\tau)$ і $q_2(\tau)$ – щільності теплових потоків для граней великого (R) і малого (r) радіусів злитка відповідно, $\frac{Bm}{m^2}$.

Щільності теплових потоків в кристалізаторі можуть бути знайдені з виразу:

$$q(z) = \frac{1}{2} Av^n (L_k^a)^{0,5} z^{-0,5}, \quad (7)$$

де v – швидкість витягування злитка, m/xv ; $A = 948,26$; $n = 0,37$ – постійні коефіцієнти, визначені дослідним шляхом за методикою, наведеною в [1]; z – координата перетину злитка в кристалізаторі, m ; L_k^a – активна довжина кристалізатора, m .

Для ЗВО задаються граничні умови I-го або III-го роду. Граничні умови I-го роду мають вигляд:

$$\begin{cases} T(0, \tau) = \varphi_1(\tau); \\ T(Lx, \tau) = \varphi_2(\tau), \end{cases} \quad (8)$$

де $\varphi_1(\tau)$ і $\varphi_2(\tau)$ – відомі функції температури на поверхні злитка, $^{\circ}C$; з урахуванням щільності теплових потоків для граней великого (R) і малого (r) радіусів злитка, $q_3(\tau)$ і $q_4(\tau)$ відповідно:

$$\begin{cases} \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} = -\frac{q_3(\tau)}{\lambda_E(T)}; \\ \frac{\partial T(Lx, \tau)}{\partial x} = -\frac{q_4(\tau)}{\lambda_E(T)}. \end{cases} \quad (9)$$

Щільності теплових потоків в ЗВО можуть бути знайдені з виразу:

$$q = \alpha \cdot (T_n - T_e), \quad (10)$$

де T_n – температура поверхні злитка, $^{\circ}\text{C}$; T_e – температура охолоджуючої води, $^{\circ}\text{C}$;
 $\alpha = \alpha_{\text{вод}} + \alpha_{\text{конв}} + \alpha_{\text{випр}}$ – сумарний коефіцієнт тепловіддачі при охолодженні водою, конвективному теплообміні з навколишнім середовищем і теплообміні випромінюванням,
 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

Після підстановки (10) в (9) і перетворень отримуємо наступну систему:

$$\begin{cases} \lambda_E(T) \cdot \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} + \alpha_1(\tau) \cdot T(0, \tau) = \alpha_1(\tau) \cdot T_e; \\ \lambda_E(T) \cdot \frac{\partial T(L_x, \tau)}{\partial x} + \alpha_2(\tau) \cdot T(L_x, \tau) = \alpha_2(\tau) \cdot T_e, \end{cases} \quad (11)$$

де $\alpha_1(\tau)$ і $\alpha_2(\tau)$ – коефіцієнти тепловіддачі для граней великого (R) і малого (r) радіусів злитка відповідно, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

Рівняння системи (11) є лінійними комбінаціями температури на поверхні злитка та її першої похідної, тобто це граничні умови III-го роду.

Таким чином, математична модель кристалізації злитка включає в себе рівняння і нерівності: (1) – (8), (10), (11). Рішення даної системи дозволяє визначити температурне поле в будь-який момент часу від початку формування оболонки на рівні меніска металу в кристалізаторі, а також дослідити вплив зовнішніх умов на тепловий режим формування безперервного злитка.

Внаслідок нелінійності рівняння теплопровідності (1) точне аналітичне рішення задачі кристалізації злитка на МБЛЗ неможливо. Для вирішення задачі кристалізації використовуються чисельні методи сіток. У джерелах [1, 2] наводиться метод вирішення задачі теплопровідності за допомогою явної різницевої схеми. Умова стійкості явної схеми накладає жорсткі обмеження на крок за часом, що є її недоліком. При зменшенні кроку по координаті для підвищення точності розрахунків потрібно зменшувати і крок за часом, що призводить до різкого збільшення обсягу обчислень, а, отже, і часу на їх виконання. Тому домогтися високої точності рішення за прийнятною тривалістю розрахунку за допомогою явної різницевої схеми неможливо.

Задача теплопровідності вирішувалася за допомогою неявної різницевої схеми [5, 6]. Неявна схема є абсолютно стійкою і дозволяє вести розрахунок при будь-яких значеннях кроку по координаті і за часом.

Розроблено комп'ютерну модель кристалізації злитка на МБЛЗ, що дозволяє визначати значення температури в будь-якій точці поздовжнього перетину злитка для будь-якого моменту часу від початку кристалізації, а також отримувати інші дані, необхідні для аналізу процесу кристалізації злитка. Передбачено побудову графіків ліній ліквідусу і солідусу, графіків теплових потоків на поверхні злитка для великого і малого радіусів, графіків щільності, ефективних теплоємності та теплопровідності сталі в залежності від температури. Виводяться довжини рідкої та двофазної зон злитка. Модель дозволяє обирати тип граничних умов для ЗВО (I-го або III-го роду).

У розробленій моделі кристалізації злитка застосовується непрямий метод обліку

процесів гідродинамічного перемішування розплаву в рідкому ядрі злитка. Для обліку конвективного теплообміну в рідкій фазі вводиться коефіцієнт k , який показує, у скільки разів ефективна теплопровідність рідкої сталі (з урахуванням конвекції) перевершує теплопровідність сталі без урахування конвекції:

$$\lambda_E(T) = k \cdot \lambda_p(T), \quad (12)$$

де k – коефіцієнт збільшення теплопровідності рідкої фази за рахунок конвективних потоків; $\lambda_p(T)$ – теплопровідність розплаву при $T > T_n$ без урахування конвективного теплообміну.

Адекватність моделі перевірялася шляхом порівняння значень довжини двофазної зони для ряду швидкостей витягування злитка, які розраховуються за допомогою моделі, з даними, що вказуються в технічній документації МБЛЗ № 6.

Спочатку при побудові моделі було прийнято значення $k = 1$, тобто теплообмін за рахунок конвекції в рідкому ядрі злитка не враховувався. Графік залежності довжини двофазної зони злитка від швидкості витягування, отриманий з використанням моделі і побудований за даними з документації МБЛЗ, наводиться на рис. 1. Видно, що присутня велика різниця між результатами моделювання і даними з технічної документації (максимальна розбіжність становить 3,850 м, мінімальна – 3,269 м). Неточності в описі моделлю процесу кристалізації злитка обумовлені невірним завданням значення ефективної теплопровідності рідкого металу (в моделі не враховується конвективний теплообмін).

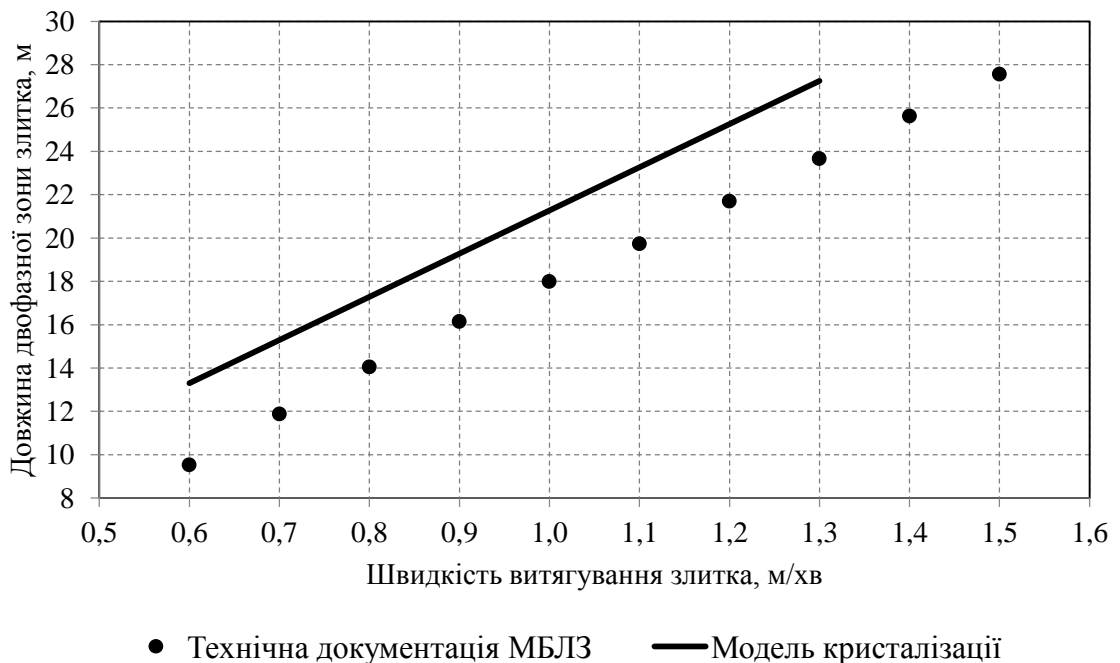


Рисунок 1 – Залежність довжини двофазної зони від швидкості витягування злитка

Для визначення значення коефіцієнта k , при якому різниця між результатами, отриманими з використанням моделі, і даними з документації МБЛЗ буде мінімальною, обчислимо функцію похибки, що характеризує точність моделі:

Інформаційні технології

$$F_{\text{похиб}}(k) = \sum_{i=1}^N (L_{\text{мод}}(k) - L_{\text{табл}})^2, \quad (13)$$

де $F_{\text{похиб}}(k)$ – значення функції похибки; k – коефіцієнт, що враховує конвективний теплообмін; N – кількість експериментів (кількість швидкостей витягування, для яких наводяться дані в документації МБЛЗ); $L_{\text{мод}}(k)$ – довжина двофазної зони, обчислена за допомогою моделі, m ; $L_{\text{табл}}$ – довжина двофазної зони згідно з документацією МБЛЗ, m .

Змінною функції є коефіцієнт моделі k . Отже, задача пошуку значення коефіцієнта k , при якому модель буде найбільш точно описувати дані з документації, зводиться до задачі мінімізації функції похибки (цільової функції). Для мінімізації функції був використаний метод «золотого перетину», який має високу швидкість збіжності і не вимагає знаходження похідних цільової функції [7].

В результаті мінімізації цільової функції було знайдено значення $k = 1,499$, при цьому величина функції похибки склала $F_{\text{похиб}}(k) = 4,470$ одиниць.

Графік залежності довжини двофазної зони злитка від швидкості витягування, отриманий з використанням моделі при значенні коефіцієнта $k = 1,499$ і побудований за даними з документації МБЛЗ, наводиться на рис. 2. Видно, що знайдене значення коефіцієнта k дозволило досягти високого ступеня відповідності між результатами моделі і експериментальними даними (максимальна розбіжність становить 1,483 м, мінімальна – 0 м). Отримана модель адекватно описує процес кристалізації злитка і придатна для використання в системі динамічного управління охолодженням сляба в ЗВО.

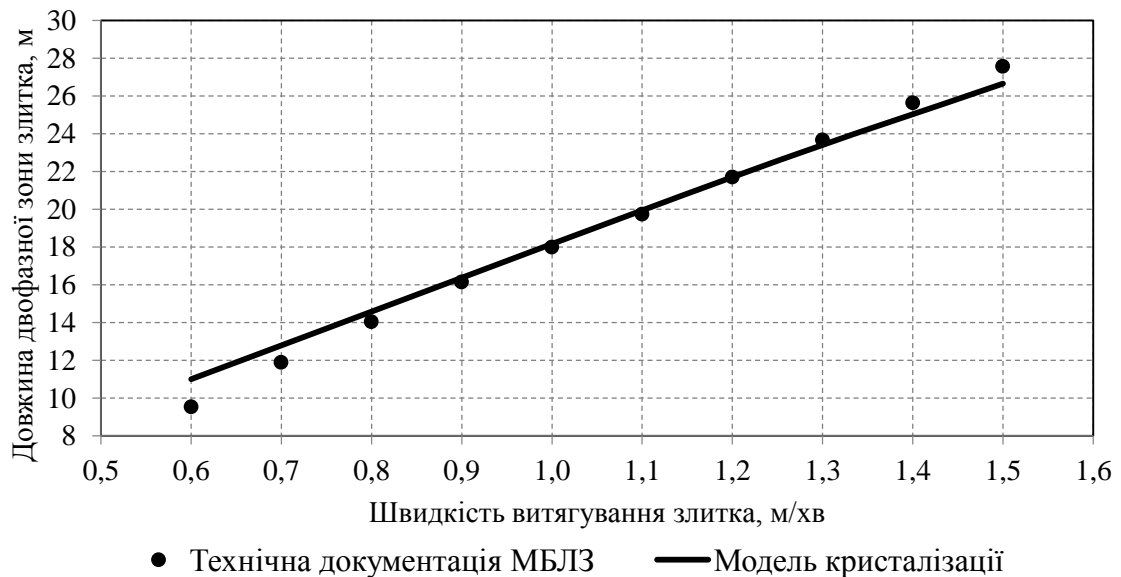


Рисунок 2 – Залежність довжини двофазної зони від швидкості витягування злитка для уточненого значення коефіцієнта k

ВИСНОВКИ

Розроблена модель кристалізації злитка на МБЛЗ дозволяє визначити характер і ступінь впливу на процес кристалізації різних зовнішніх і внутрішніх факторів: теплообміну

між злитком і кристалізатором, режимів вторинного охолодження злитка, швидкості витягування, а також фізичних властивостей сталі.

Перевірка адекватності моделі виконана порівнянням результатів, одержаних при її використанні, з даними технічної документації МБЛЗ. Виявлені в ході перевірки розбіжності зведені до мінімуму шляхом корекції значення ефективної теплопровідності сталі.

Запропонована модель досить точно описує процес кристалізації. Інформація про тепловий стан злитка, отримана в результаті моделювання, може бути використана в роботі систем вторинного охолодження і м'якого обтиску з метою підвищення якості внутрішньої структури злитка і зменшення кількості дефектів на його поверхні.

Перелік використаних джерел:

1. *Емельянов, В. А.* Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок / *В. А. Емельянов.* – М. : Металлургия, 1988. – 143 с.
2. *Самойлович, Ю. А.* Тепловые процессы при непрерывном литье стали / *Ю. А. Самойлович, С. А. Крулевецкий, В. А. Горяинов, З. К. Кабаков.* – М. : Металлургия, 1982. – 152 с.
3. *Буланов, Л. В.* Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчет / *Л. В. Буланов, Л. Г. Корзунин, Е. П. Парфенов.* – Екатеринбург: Марат, 2004. – 449 с.
4. *Нисковских, В. М.* Машины непрерывного литья слывовых заготовок / *В. М. Нисковских, С. Е. Карлинский, А. Д. Беренов.* – М.: Металлургия, 1991. – 272 с.
5. *Калиткин, Н. Н.* Численные методы : учеб. пособие / *Н. Н. Калиткин.* – СПб.: БХВ–Петербург, 2011. – 592 с.
6. *Самарский, А. А.* Численные методы математической физики / *А. А. Самарский, А. В. Гулин.* – 2-е изд. – М. : Научный мир, 2003. – 316 с.
7. *Пантелеев, А. В.* Методы оптимизации в примерах и задачах: учеб. пособие / *А. В. Пантелеев, Т. А. Летова.* – М. : Высш. шк., 2005. – 544 с.
8. *Глинков, Г. М.* АСУТП в черной металлургии : учебник для вузов / *Г. М. Глинков, В. А. Маковский.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1999. – 310 с.

Щербаков С. В., Черевко Е. А.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СЛИТКА

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам повышения качества слитков, получаемых на МНЛЗ, а также вопросам надежности и безопасности работы оборудования. Качество отливаемой заготовки зависит от комплекса различных факторов, основными из которых являются конструктивные особенности основных узлов МНЛЗ и наличие систем автоматического управления.

Ключевую роль в обеспечении высокого качества поверхности и внутренней структуры слитка играет работа системы автоматического управления зоной вторичного охлаждения. На современных МНЛЗ применяются динамические системы вторичного охлаждения (ДСВО). Сущность данных систем заключается в возможности коррекции параметров зоны на основе информации о текущем тепловом состоянии слитка, которую

ДСВО получает в режиме реального времени. Необходимость получения достоверной информации о текущем состоянии слитка является главной сложностью при проектировании ДСВО. В настоящее время не существует метода, позволяющего непрерывно контролировать температуру внутренних точек слитка, и разработка такого метода в ближайшем будущем не представляется возможной. Поэтому, для контроля температурного состояния слитка в ДСВО используются математические модели, которые основываются на численном решении задачи нестационарной теплопроводности.

В работе произведен анализ существующей системы управления вторичным охлаждением слитка на МНЛЗ № 6 ЧАО «МК «Азовсталь». Разработана модель кристаллизации, позволяющая анализировать профиль температуры поверхности и температурное поле внутри слитка. Сравнение результатов, полученных при использовании модели, с данными технической документации МНЛЗ показало ее достаточную адекватность и возможность дальнейшего использования в системе управления вторичным охлаждением слитков.

Ключевые слова: МНЛЗ, слиток, кристаллизация, вторичное охлаждение, система автоматизированного управления, эксперимент, компьютерное моделирование.

Shcherbakov S. V., Cherevko E. A.

MATHEMATICAL MODELING OF INGEST CRYSTALLIZATION PROCESS

Currently, much attention is paid to improving the quality of ingots obtained at the continuous casting machine (CCM), as well as issues of reliability and safety of equipment operation. The quality of the cast billet depends on a complex of various factors, the main of which are the design features of the main CCM units and the presence of automatic control systems.

The key role in ensuring high quality of the surface and internal structure of the ingot is played by the operation of the automatic control system of the secondary cooling zone. At modern continuous casting machines, dynamic secondary cooling systems (DSCS) are used. The essence of these systems is the possibility of correcting zone parameters based on information about the current thermal state of the ingot, which DSCS receives in real time. The need to obtain reliable information about the current state of the ingot is the main difficulty in the design of DSCS. Currently, there is no method that allows you to continuously monitor the temperature of the inner points of the ingot, and the development of such a method in the near future is not possible. Therefore, to control the temperature state of the ingot in DSCS, mathematical models are used that are based on the numerical solution of the problem of unsteady heat conduction.

The work analyzes the existing control system for secondary cooling of the ingot at continuous casting machine No. 6 of PJSC «Azovstal Iron & Steel Works». A crystallization model has been developed that allows analyzing the surface temperature profile and the temperature field inside the ingot. Comparison of the results obtained when using the model with the data of the technical documentation of the continuous casting machine showed its sufficient adequacy and the possibility of further use in the control system for the secondary cooling of ingots.

Keywords: continuous casting machine, ingot, crystallization, secondary cooling, computer-aided control system, experiment, computer simulation

Рецензент: канд. техн. наук, доц. В. П. Кравченко

Стаття надійшла

УДК 621.771.07.001.5

Самотугіна Ю. С., Джелалі В. О.

СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПЛАЗМОВИМ МОДИФІКУВАННЯМ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ЧАВУННИХ ВИРОБІВ

Розроблена система адаптивного управління процесом плазмового модифікування масивних деталей з чавуну. Встановлено, що використання сучасних систем управління дозволяє отримувати математичну модель процесу модифікування на базі стандартних САП-продуктів.

Встановлено, що блок вимірювання температурного поля в зоні обробки (тепловізор) можна використовувати у складі системи управління. Сучасні засоби контролю, які включають електронні та оптичні засоби вимірювання, дозволяють контролювати технологічні параметри процесу в реальному масштабі часу.

Ключові слова: чавун, плазмове модифікування, математична модель, адаптивне управління.

Постановка проблеми. Багато масивних литих частин обладнання коксохімічного, аглодоменого, прокатного виробництв виготовляються з чавуну. Для підвищення працездатності чавунних виробів практично не використовуються методи об'ємної термічної обробки через високу крихкість чавуну і ризик великих внутрішніх напружень. У зв'язку з цим дуже перспективна розробка нових технологій поверхневого зміцнення, особливо локальних – окремих найбільш зношених ділянок робочої поверхні чавунних виробів. Ці технології включають обробку поверхні за допомогою висококонцентрованого плазмового струменя як джерела нагріву.

Суть плазмового поверхневого модифікування металів полягає в термічних фазових і структурних перетвореннях, що відбуваються при швидкому і концентрованому нагріванні робочої поверхні плазмовим струменем і відведення тепла в матеріал деталі [1].

Актуальність розробки нових підходів до управління процесами плазмового модифікування обумовлена як необхідністю вдосконалення технології, так і розвитком сучасних комп'ютерних систем управління, побудованих, як правило, на базі мережевих програмуючих логічних контролерів і промислових комп'ютерів.

Традиційний підхід до управління процесами включає наступні етапи: розрахунок режимів обробки на основі функціональних моделей, формування програм, що управляють процесом, синтез регуляторів за необхідними параметрами. Відомі підходи, які базуються на побудові теоретичної математичної моделі процесу, визначенні цільової функції та вирішенні проблеми оптимізації. Мета оптимального управління – знайти оптимальний варіант. Недоліком такого підходу є ігнорування стохастичної природи реального технологічного процесу.

Мета (завдання) дослідження. З урахуванням рекомендацій [2] при вирішенні практичних задач управління плазмовим модифікуванням необхідно використовувати системний підхід, який включає розрахунок оптимальних параметрів управління на основі математичної моделі і коригування параметрів режиму обробки за результатами обробки інформації в режимі реального часу з датчиків. При такому підході можна виділити дві

складові управління: технологічну програму, яка управляє процесом, що розроблена на основі математичної моделі, і комплекс програмно-апаратних засобів адаптивного управління, які дозволяють адаптувати технологічний процес плазмового модифікування до реальних умов, адекватно реагувати на дії збурення.

Автоматизація технологічного процесу, який охоплює великий комплекс фізико-хімічних процесів, на основі комп'ютерних технологій відкриває нові можливості управління. З розвитком мікропроцесорних пристроїв і локальних обчислювальних мереж вдалося створити цілісну технологічну систему обробки даних процесу [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для випадків плазмового модифікування масивних виробів з чавуну можна використовувати відоме розв'язування рівняння теплопровідності при нагріванні поверхні напівнескінченного тіла потужним швидко рухомим нормально-круговим джерелом тепла [1-3]. Для точок, розташованих на центральній осі від місця нагрівання, що відповідає центральній осі плазмового струменя, рівняння зміни температури виглядає так:

$$T(z_0, t) = T_0 + \frac{q}{2\pi\lambda v} \cdot \frac{e^{-\frac{z_0}{4at}}}{\sqrt{t(t_0+t)}}, \quad (1)$$

де q – ефективна питома потужність плазмового нагріву;

v – швидкість обробки;

$t_0 = \frac{1}{4ak}$ – постійна часу нагріву;

k – коефіцієнт зосередженості плазмового струменя;

z_0 – координата відстані від поверхні;

t – час нагрівання.

З рівняння (1) випливає, що для кожного типу оброблюваного матеріалу основними параметрами, визначальними температуру нагрівання в точках зміцненої зони, є ефективна теплова потужність плазмового нагріву і швидкість обробки v .

Відповідно до закону нормального розподілу Гауса ефективна теплова потужність плазмового нагріву (або т. зв. питомий тепловий потік) в залежності від радіуса плями нагріву r описується виразом:

$$q(r) = q_m e^{-kr^2}, \quad (2)$$

де q_m – максимальна щільність потоку на осі струменя.

Таким чином, плазмовий струмінь можна розглядати як нормально-кругове джерело теплоти з параметрами q_m і k , які пов'язані з ефективною тепловою потужністю співвідношенням:

$$q = q_m \cdot \frac{\pi}{k}, \quad (3)$$

Для підвищення ефективності плазмового модифікування необхідно максимально можливе збільшення коефіцієнта зосередженості плазмового струменя k і максимально

можливе зменшення площі плями нагріву, діаметр якого з умови $q_m \left(\frac{d_n}{2}\right) = 0,05q_m$ пов'язан з k співвідношенням [4]:

$$q_m = 3,46\sqrt{k}. \quad (4)$$

Попередніми дослідженнями було встановлено [5], що діаметр плями нагріву, в площині якої питомий тепловий потік з достатньою для практичних цілей точністю можна вважати постійним і висловлюваним залежністю (2), дорівнює діаметру отвору сопла плазмотрона d_c . У даних дослідженнях параметр d_n підтримувався постійним: $d_n = d_c = 6$ мм.

Ефективна питома потужність плазмового нагріву визначається формулою:

$$q = \eta_T \cdot \eta_c \cdot q_0, \quad (5)$$

де η_T – термічний ККД плазмотрона, який визначається калориметруванням або розрахунком; для плазмотрона непрямої дії з секціонованою міжсекційною вставкою при $d_c = 6$ мм в робочому діапазоні зміни режимів η_T змінюється в межах від 0,48 (при $I = 400$ А) до 0,56 (при $I = 200$ А);

η_c – ККД плазмового струменя – враховує втрати тепла на ділянці сопло – виріб, згідно [6] при малій дистанції обробки ($h = 5$ мм) η_c близький до 100 %. Тому з достатньою для практичних цілей точністю можна прийняти $\eta_c = 0,98$.

$q_0 = I \cdot U$ – потужність, підведена до струменя;

I – сила струму плазмової дуги;

U – напруга на дузі. Параметр U є залежним від I відповідно до вольт-амперної характеристики плазмотрона [3].

Крім питомої теплової потужності плазмового нагріву q , на величину максимальної температури нагріву поверхні T_{max} , яка визначається як перша приватна похідна ∂T за часом ∂t (з формули 1), сильно впливає швидкість переміщення плазмотрону (тобто швидкість плазмової обробки v).

Таким чином, з вищевикладеного випливає, що тепловкладання в матеріал (чавун) при плазмовому модифікуванні (при незмінних конструктивних параметрах плазмотрону) визначається двома незалежними параметрами режиму обробки – величиною струму дуги I і швидкістю обробки v .

Основний матеріал дослідження. Сучасна система управління, яка виконана на базі промислового комп'ютера і програмованих контролерів, дозволяє реалізувати:

- математичну модель процесу на базі стандартних САП-продуктів (універсальних кінцево-елементних пакетів для вирішення теплофізичних завдань) [7];

- алгоритми адаптивного управління по інформації від датчиків зворотного зв'язку для коректування керуючої програми в реальному масштабі часу. Стохастичний характер процесу плазмового модифікування враховується організацією адаптивних зворотних зв'язків, що істотно підвищує якість управління.

Схема управління процесом плазмової обробки на базі математичної моделі і принципів адаптивного управління представлена на рис. 1. Сучасні засоби контролю, які включають електронні та оптичні засоби вимірювання, дозволяють контролювати технологічні параметри процесу в реальному масштабі часу.

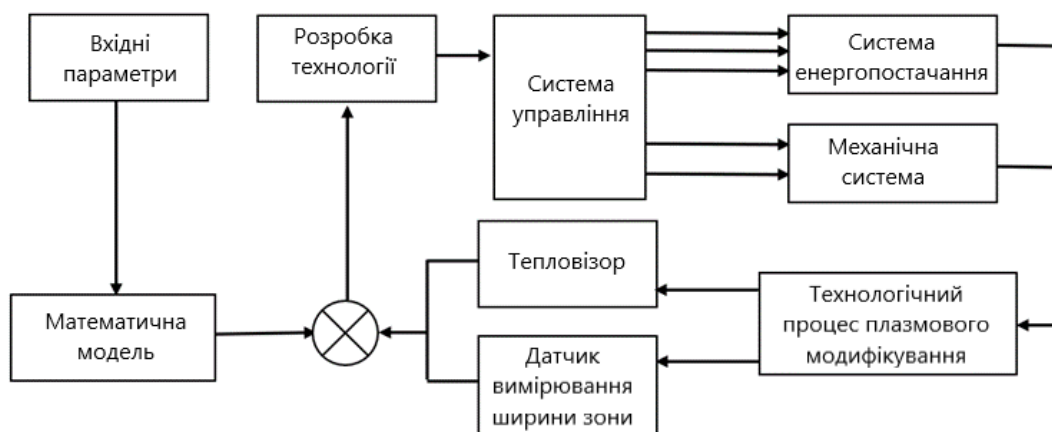


Рисунок 1 – Схема адаптивного управління процесом плазмового модифікування на базі математичної моделі

У складі системи управління можна використовувати блок вимірювання температурного поля в зоні обробки (тепловізор). Оптична камера, спрямована на зону обробки, обробляє сигнали, пропорційні енергії струменя, і передає по цифровому протоколу інформацію в комп'ютер.

ВИСНОВКИ

Розроблено систему адаптивного управління процесом плазмового модифікування масивних виробів з чавуну. Встановлено, що використання сучасних систем управління дозволяє отримувати математичну модель процесу модифікування на базі стандартних САП-продуктів.

Список використаних джерел:

1. *Самотугина, Ю. С.* Выбор оптимальных режимов плазменного поверхностного упрочнения деталей металлургического оборудования из высокопрочного чугуна / *Ю. С. Самотугина, Е. И. Иванов, Б. А. Ляшенко* // *Металл и литье Украины.* – 2005. – № 7-8. – С. 79–83.
2. *Залого, В. А.* Имитационное моделирование процесса прерывистого резания керамическими инструментами, упрочнёнными ионно-лучевой имплантацией: постановка задачи / *В. А. Залого, Д. В. Криворучко, В. Я. Лебедев* // *Резание и инструмент в технологических системах.* – 2008. – № 75. – С. 123–127.
3. *Самотугин, С. С.* Плазменное упрочнение инструментальных материалов / *С. С. Самотугин, Л. К. Лецинский.* – Донецк : Новый мир, 2002. – 338 с.

4. Рыкалин, Н. Н. Расчет теплового потока при нагреве тела плазменной струей / Н. Н. Рыкалин, А. В. Николаев, И. Д. Кулагин // Автоматическая сварка. – 1996. – № 6. – С. 1–5.
5. Оптимизация режимов плазменной обработки инструмента / С. С. Самогугин, О. Ю. Нестеров, А. Г. Ярмицкий, В. П. Иванов // Сварочное производство. – 1998. – № 7. – С. 12–15.
6. Николаев, А. В. Плазменно-дуговой нагрев вещества / А. В. Николаев // Плазменные процессы в металлургии и технологии неорганических материалов. – М. : Наука, 1973. – С. 20–32.
7. Самогугіна, Ю. С. Плазнове модифікування деталей та інструменту з високовуглецевих сплавів / Ю. С. Самогугіна. – Маріуполь : ПДТУ, 2017. – 178 с.

Самогугина Ю. С., Джелали В. О.

СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЛАЗМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЧУГУННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Разработана система адаптивного управления процессом плазменного модифицирования массивных деталей из чугуна. Установлено, что использование современных систем управления позволяет получать математическую модель процесса модифицирования на базе стандартных САП-продуктов.

В настоящее время перспективна разработка новых технологий поверхностного упрочнения отдельных наиболее изнашиваемых участков рабочей поверхности чугунных деталей. Эти технологии включают обработку с использованием в качестве источника нагрева высококонцентрированную плазменную струю.

Актуальность разработки новых подходов к управлению процессом плазменного модифицирования обусловлена как необходимостью усовершенствования технологии, так и развитием современных компьютерных систем управления, построенных, как правило, на базе сетевых программирующих логических контроллеров и промышленных компьютеров.

Известны подходы, которые базируются на построении теоретической математической модели технологического процесса, определении целевой функции и решении задачи оптимизации. Цель оптимального управления – нахождение наилучшего из множества возможных вариантов. Недостатком такого подхода является пренебрежение стохастической природы реального технологического процесса.

При решении практических задач управления плазменным модифицированием необходимо использовать системный подход, который включает расчет оптимальных параметров управления на основе математической модели и корректирование параметров режима модифицирования по результатам обработки информации в режиме реального времени.

Исследованиями установлено, что в составе системы управления можно использовать блок измерения температурного поля в зоне обработки (теповизор). Оптическая камера, направленная на зону обработки, обрабатывает сигналы, пропорциональные энергии струи, и передает по цифровому протоколу информацию в компьютер.

Ключевые слова: *чугун, плазменное модифицирование, математическая модель, адаптивное управление.*

Samotugina Yu. S., Dzhelali V. O.

SYSTEM FOR ADAPTIVE CONTROL OF THE PROCESS OF PLASMA MODIFICATION OF MASSIVE CAST IRON PARTS

A system for adaptive control of the process of plasma modification of massive cast iron parts has been developed. It has been found out that the use of modern control systems makes it possible to obtain a mathematical model of the modification process on the basis of standard SAP products.

At the present, the development of new technologies for surface hardening of some of the most worn parts of the working surface of cast iron products is promising. These technologies include surface treatment with a highly concentrated plasma jet as a heat source.

The urgency of developing new approaches to the management of plasma modification processes is due to the need to improve technology and the development of modern computer control systems, built, as a rule, on the basis of network programmable logic controllers and industrial computers.

There are known approaches that are based on the construction of a theoretical mathematical model of the process, the definition of the objective function and the solution of the optimization problem. The purpose of optimal management is to find the best option. The disadvantage of this approach is ignoring the stochastic nature of the real technological process.

When solving practical problems of plasma modification control, it is necessary to use a system approach, which includes the calculation of optimal control parameters based on a mathematical model and adjustment of processing mode parameters based on the results of real-time information processing.

Researchers have found that as part of the control system, you can use the unit for measuring the temperature field in the treatment area (thermal imager). The optical camera, aimed at the processing area, processes signals proportional to the energy of the jet, and transmits information via digital protocol to a computer.

Keywords: *cast-iron, plasma modification, mathematical model, adaptive control.*

Рецензент: професор, д-р техн. наук Анділахай О. О.

Стаття надійшла 25 листопада 2020 р.

УДК 338.47:656.615

Зінченко С. Г., Сенатосенко В. А., Хвостович В. Г.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПЛАНУВАННЯ РІВНЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ МОРСЬКИХ ПОРТІВ В ПЕРІОД ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В якості теоретичної основи для вибору оптимального варіанту технічного експлуатації та ремонту об'єктів інфраструктури морських портів використовується теорія надійності і довговічності транспортних засобів. Під час експлуатації транспортних об'єктів морських портів на них діють різноманітні тимчасові і довготривалі експлуатаційні навантаження, які викликають знос окремих конструктивних елементів, а також призводять до появи втомних деформацій, тріщин і інших ушкоджень елементів споруд, зменшуючи надійність їх експлуатації. При низькій надійності транспортних об'єктів морських портів, особливо в період їх пост-нормативної експлуатації, необхідно раціонально організувати систему ремонту. Велике значення при цьому має критерій оптимального рівня надійності інфраструктури морського порту. Важливе значення в ремонтному циклі мають регулярні огляди і планово-попереджувальні ремонти транспортних об'єктів. Ці елементи системи фактично забезпечують постійну безпеку експлуатації інфраструктури морських портів і якісне надання послуг. Більшість транспортних об'єктів морського порту працюють при великій частоті вантажно-розвантажувальних операцій, широкій номенклатурі вантажів, що перевантажуються на порівняно малих площах і швидкостях руху перевантажувальної техніки. Для визначення показників надійності спостерігають за випробуваннями або експлуатацією транспортних об'єктів в заданих умовах. Точність результатів розрахунку по наближених рівняннях оцінюють методами математичної статистики. Отже, показники надійності складних транспортних систем, що мають резерви різних ресурсів, децю відрізняються від традиційних показників, які звичайно використовуються в теорії надійності. При плануванні рівня надійності складних транспортних об'єктів морського порту в період їх експлуатації в якості альтернативи традиційним методам теорії надійності і довговічності транспортних засобів в дослідженнях можуть застосовуватися методи, засновані на досягненнях теорії нечіткої логіки, штучного інтелекту тощо.

Ключові слова: планування, надійність, транспортна система, морський порт, експлуатація.

Постановка проблеми. В якості теоретичної основи для вибору оптимального варіанту технічного експлуатації та ремонту об'єктів інфраструктури морських портів використовується теорія надійності і довговічності транспортних засобів. Вона встановлює закономірності і причини появи несправностей в вузлах і деталях об'єктів транспорту, можливі методи підвищення їх терміну служби, а також дозволяє з наукової точки зору розробляти системи ремонту обладнання.

Під час експлуатації транспортних об'єктів морських портів на них діють різноманітні тимчасові і довготривалі експлуатаційні навантаження, які викликають знос окремих конструктивних елементів, а також призводять до появи втомних деформацій, тріщин і інших ушкоджень елементів споруд, зменшуючи надійність їх експлуатації.

При цьому об'єктом інфраструктури морського порту може виступати кран, перевантажувальна машина, технологічна лінія, причал, критий склад, перевантажувальний комплекс тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При низькій надійності транспортних об'єктів морських портів, особливо в період їх пост-нормативної експлуатації, необхідно раціонально організувати систему ремонту (зменшити міжремонтний термін), здійснити їх капітальний ремонт для підвищення міцності найбільш ушкоджуваних вузлів, або навіть принципово змінити їх конструкцію, виконавши реконструкцію об'єкта, на прикладі [1].

Мета дослідження. Метою роботи є обґрунтування в сучасних умовах планування рівня надійності транспортних систем морських портів під час їх експлуатації.

Основний матеріал дослідження. Велике значення при цьому має критерій оптимального рівня надійності інфраструктури морського порту. Розглянемо кілька варіантів призначення даного критерію. У першому варіанті, транспортний об'єкт можна зробити дуже міцним, використовуючи великі коефіцієнти запасу міцності, застосовуючи особливо якісні (а значить, дорогі) матеріали і т. д. Однак матеріаломісткість і вартість таких транспортних об'єктів стануть дуже великими. Криві залежності вартості C виготовлення і експлуатації транспортного об'єкта морського порту від його надійності $P(t)$ схематично представлені на рис. 1.

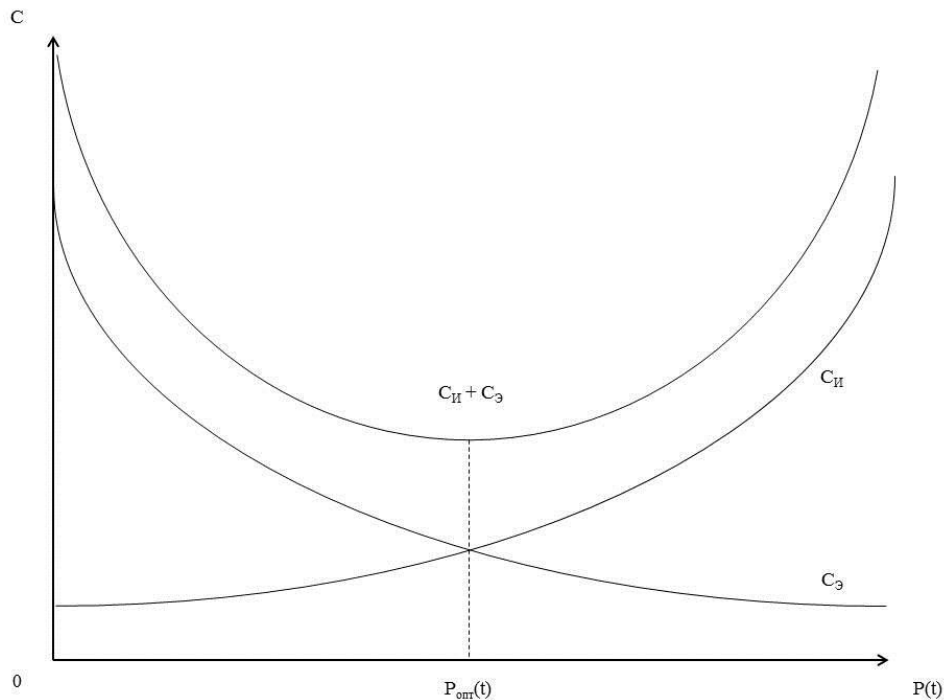


Рисунок 1 – Вибір оптимального рівня надійності транспортного об'єкта морського порту.

Умовні позначення: C_o – вартість експлуатації транспортного об'єкта;
 C_u – вартість виготовлення транспортного об'єкта; $C_u + C_o$ – витрати на побудову і експлуатацію транспортного об'єкта; C – показник вартості об'єкта, умов. од. ціни
 $P(t)$ – оптимальний рівень надійності об'єкта

У другому варіанті, транспортний об'єкт морського порту можна зробити дуже легким і з дешевих матеріалів, але експлуатаційна надійність такого об'єкта буде невелика, він зажадає проведення частих ремонтів, тобто великих витрат на експлуатацію. Найбільш правильне рішення полягає в створенні такого транспортного об'єкта, який забезпечує мінімум сумарних витрат при його виготовленні і експлуатації. Такий транспортний об'єкт буде найбільш ефективним, оскільки має оптимальний рівень надійності.

Під час експлуатації транспортного об'єкта ресурс працездатності його конструктивних елементів знижується, що знижує рівень надійності об'єкта інфраструктури морського порту в цілому. Тому, в практиці організації експлуатації та ремонту транспортних об'єктів морських портів повинна чітко діяти система їх підтримки в справному стані, що включає своєчасне виробництво поточних і капітальних ремонтів [1]. Як нові, так відремонтовані об'єкти транспортної інфраструктури повинні володіти сукупністю властивостей, які обумовлювали б їх придатність задовольняти певним вимогам відповідно до призначення, тобто якість, надійність і безпеку.

Більшість транспортних об'єктів морського порту працює при великій частоті вантажно-розвантажувальних операцій, широкої номенклатури вантажу, що перевантажується на порівняно малих площах і швидкостях руху перевантажувальної техніки.

Важливе значення в ремонтному циклі, мають регулярні огляди і планово-попереджувальні ремонти транспортних об'єктів. Ці елементи системи фактично забезпечують постійну безпеку експлуатації інфраструктури морських портів і якісне надання послуг.

Наприклад, судновласники видають положення про ремонт суден, терміни його проведення відповідно до призначення і типом судна, правила складання та строки подання ремонтної документації; положення про підготовку судна до судноремонту, про обов'язки підприємства і інших питань, пов'язаних з судноремонтом, які передбачає наступні види ремонту: планово-попереджувальний, відновлювальний, аварійний і підтримує.

Аналогічні вимоги впроваджені і діють в морських портах при технічному нагляді за гідротехнічними спорудами, що знаходяться в експлуатації [2].

Показники надійності характеризують, в якому ступені конкретному транспортному об'єкту, агрегату або вузлу (складальній одиниці) притаманні певні властивості, що характеризують його надійність. Чисельні значення показників надійності визначаються за допомогою точних (теоретичних) або наближених (статистичних) рівнянь. Точність наближених рівнянь залежить від обсягу використовуваних статистичних даних. Точність результатів розрахунку по наближеним рівнянням оцінюють методами математичної статистики.

Для визначення показників надійності спостерігають за випробуваннями або експлуатацією транспортних об'єктів в заданих умовах. При спостереженні визначають напрацювання об'єктів на відмову $(t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$ або числа відмов $(r_1, r_2, r_3, \dots, r_n)$ кожного з них до наробки T .

Спостереження за транспортними об'єктами можна вести за різними планами (схемами). Передбачаються наступні основні плани проведення спостережень [3]:

$$(N, U, N); (N, U, r); (N, U, T); (N, R, r) \text{ и } (N, R, T), \quad (1)$$

де N – число об'єктів, що поставлені під спостереження;
 U – плани, в яких вироби, що відмовили, не замінюють новими;
 T – встановлене напрацювання чи календарна тривалість спостережень;
 r – число відмов чи граничних станів, до виникнення яких ведуть спостереження;
 R – плани, в яких вироби, що відмовили, замінюють новими або ремонтують.

Зазначені плани спостережень трактуються наступним чином:

(N, U, N) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть до виникнення відмови або граничного стану всіх об'єктів, об'єкти, що відмовили, не замінюють новими;

(N, U, r) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть до виникнення r відмов або граничних станів, об'єкти, що відмовили, не замінюють новими;

(N, U, T) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть протягом часу T , об'єкти, що відмовили, не замінюють новими;

(N, R, r) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть до виникнення r відмов або граничних станів, об'єкти, що відмовили, замінюють новими, або ремонтують;

(N, R, T) – під спостереження поставлено N об'єктів, спостереження ведуть протягом часу T , об'єкти, що відмовили, замінюють новими або ремонтують.

При планах (N, U, N) ; (N, U, r) і (N, U, T) об'єкти, що відмовили, можна ремонтувати, але дані про їх відмовах після ремонту виключаються з подальшого розгляду. При планах (N, R, T) і (N, R, r) результати спостережень за відремонтованими об'єктами включають в загальні дані спостережень до заміни.

Плани спостережень вибирають в залежності від типу виробу, умов його експлуатації з урахуванням економічної доцільності та технічної необхідності.

Якщо об'єкти випробовували за планом (N, U, r) і всі вони відмовили $r = N$ під час випробування, то середнє напрацювання до відмови T_{cp} визначають відношенням суми напрацювання випробовуваних об'єктів на відмову до кількості спостережуваних об'єктів, а саме:

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (2)$$

де t_i – напрацювання на відмову i -го об'єкта.

Якщо об'єкт випробовували за планом (N, U, T) , то середнє напрацювання до відмови T_{cp} при експоненційному розподілі напрацювань визначають за формулою:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^r t_i + T(N - r)}{r}, \quad (3)$$

де r – число відмов під час випробувань;

T – задане напрацювання об'єкта.

Знос об'єктів інфраструктури морських портів, а отже витрати на кожен з них, їх віддача (ефективність) істотно відрізняються. На рис. 2 показано взаємне розташування різних об'єктів в транспортно-технологічній системі морського порту.

Для подальшого забезпечення надійності всі технічні об'єкти проходять стадію капітального ремонту – відновлення (реновацію). Після цього вони ще певний час демонструють достатні експлуатаційні характеристики, але все одно вимагають до себе більшої уваги і витрат, ніж нові технічні об'єкти [4].

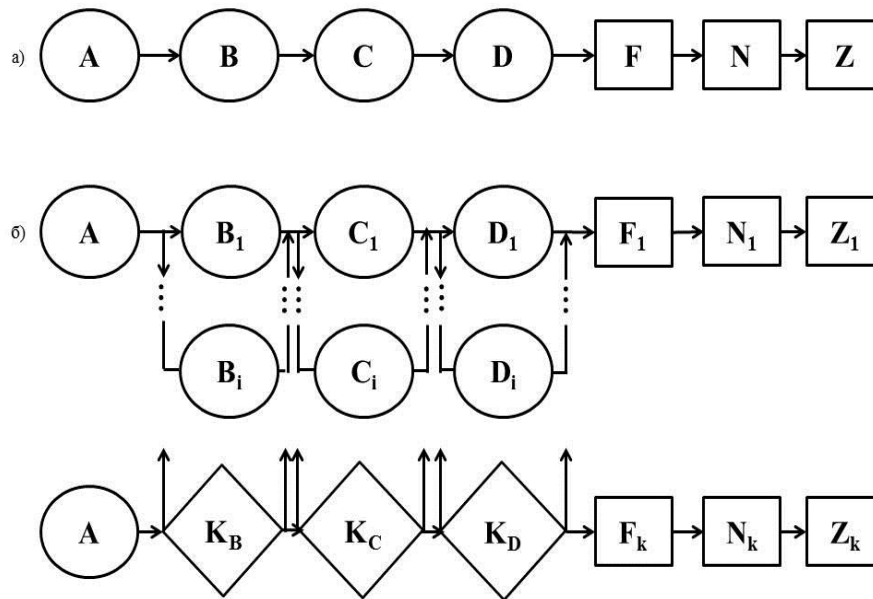


Рисунок 2 – Схема розташування елементів і витрат при забезпеченні надійності технічних об'єктів в транспортно-технологічній системі морського порту

Умовні позначення: а) загальна схема; б) схема ремонту об'єкта;

A – технічний об'єкт; *B* – агрегат і складальна одиниця; *C* – окрема зборка (вузол);

D – деталь; *F* – виконувана функція; *N* – надійність; *Z* – витрати; *K* – запасні частини; *B_i*, *C_i*, *D_i* – однотипні складальні одиниця, окремі збірки і деталі; *K_B*, *K_C*, *K_D* – різні запчастини для агрегатів, вузлів і деталей об'єкта.

Очевидно, що витрати на застаріле обладнання для підтримки його надійності будуть значно вище, ніж на нове [5].

ВИСНОВКИ

1. У морських портах намагаються окремо вибудувувати технологічні лінії з відносно нового (модернізованого) і застарілого обладнання. Так, більш вікові крани виводять в тилові лінії, з ними працюють старі навантажувачі та т. д., А вся нова техніка задіяна безпосередньо на причалах і найвідповідальніших вантажах (контейнери, рулони і листи металу і ін.). Старі судна портового флоту виводяться в відстій на період зниження вантажопотоку і т. п.

2. Таким чином, показники надійності складних транспортних систем, що мають резерви різних ресурсів, дещо відрізняються від традиційних показників, які звичайно використовуються в теорії надійності. Це дозволяє обґрунтувати нові шляхи для забезпечення нормального функціонування транспортно-технологічних систем морських

портів за рахунок утворення запасу часу, продуктивності і т. д., і як наслідок, підвищення надійності роботи цих систем.

3. В перспективі, при плануванні рівня надійності складних транспортних об'єктів морського порту в період їх експлуатації в якості альтернативи традиційним методам теорії надійності і довговічності транспортних засобів в дослідженнях можуть застосовуватися методи, засновані на досягненнях теорії нечіткої логіки, штучного інтелекту тощо.

Список використаних джерел:

1. Зинченко, С. Г. Совершенствование методологии организации ремонтов объектов транспортно-технологической системы морского порта / С. Г. Зинченко, В. Г. Хвостович // Развитие транспорта. – 2018. – Вип. 2. – С. 127–139.
2. Регістр судноплавства України. Правила технічного нагляду за гідротехнічними спорудами у експлуатації та промірними роботами. – Київ, 2012. – 183 с.
3. ГОСТ 17510–79. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений. – Взамен ГОСТ 17510–72; введ. 1980–07–01. – М., 1980. – 23 с.
4. Александровская, Л. Н. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем : учеб. пособие для вузов / Л. Н. Александровская, В. И. Круглов, А. Г. Кузнецов. – М. : Логос, 2003. – 736 с. – (Учебник XXI века).
5. Зинченко, С. Г. Контроллинг эксплуатации и ремонта объектов транспортно-технологической системы морского порта в условиях дерегуляции перевозки грузов и наличия суброгационного оборудования / С. Г. Зинченко. – Мариуполь : ППНС, 2017. – 159 с.

Зинченко С. Г., Сенатосенко В. А., Хвостович В. Г.

ОБОСНОВАНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ МОРСКИХ ПОРТОВ В ПЕРИОД ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В качестве теоретической основы для выбора оптимального варианта технической эксплуатации и ремонта объектов инфраструктуры морских портов используется теория надежности и долговечности транспортных средств. Во время эксплуатации транспортных объектов морских портов на них действуют различные временные и долгосрочные эксплуатационные нагрузки, которые вызывают износ отдельных конструктивных элементов, а также приводят к появлению усталостных деформаций, трещин и других повреждений элементов сооружений, уменьшая надежность их эксплуатации. При низкой надежности транспортных объектов морских портов, особенно в период их пост-нормативной эксплуатации, необходимо рационально организовать систему ремонта. Большое значение при этом имеет критерий оптимального уровня надежности инфраструктуры морского порта. Важное значение в ремонтном цикле имеют регулярные осмотры и планово-предупредительные ремонты транспортных объектов. Эти элементы системы фактически обеспечивают постоянную безопасность эксплуатации инфраструктуры морских портов и качественное оказание услуг. Большинство транспортных объектов морского порта работают при большой частоте погрузочно-разгрузочных операций, широкой номенклатуре грузов, которые перегружаются на сравнительно малых площадях и скоростях движения перегрузочной техники. Для

определения показателей надежности наблюдают за испытаниями или эксплуатацией транспортных объектов в заданных условиях. Точность результатов расчета по приближенным уравнениям оценивают методами математической статистики. Следовательно, показатели надежности сложных транспортных систем, которые имеют резервы разных ресурсов, несколько отличаются от традиционных показателей, которые обычно используются в теории надежности. При планировании уровня надежности сложных транспортных объектов морского порта в период их эксплуатации в качестве альтернативы традиционным методам теории надежности и долговечности транспортных средств в исследованиях могут применяться методы, основанные на достижениях теории нечеткой логики, искусственного интеллекта и т. п.

Ключевые слова: планирование, надежность, транспортная система, морской порт, эксплуатация.

Zinchenko S. G., Senatosenko V. A., Khvostovich V. G.

SUBSTANTIATION OF PLANNING THE LEVEL OF RELIABILITY OF TRANSPORT SYSTEMS OF SEAPORTS DURING THEIR OPERATION

The theory of reliability and durability of vehicles is used as a theoretical basis for choosing the optimal option for the technical operation and repair of infrastructure facilities in seaports. During the operation of seaport transport facilities, various temporary and long-term operating loads act on them, which cause wear of individual structural elements, and also lead to the appearance of fatigue deformations, cracks and other damage to structural elements, reducing the reliability of their operation. With low reliability of seaport transport facilities, especially during the period of their post-standard operation, it is necessary to rationally organize a repair system. In this case, the criterion of the optimal level of reliability of the seaport infrastructure is of great importance. Of great importance in the repair cycle are regular inspections and scheduled preventive maintenance of transport facilities. These elements of the system actually ensure the continuous operation of the seaport infrastructure and quality services. Most of the seaport's transport facilities operate with a high frequency of loading and unloading operations, a wide range of reloaded cargo on relatively small areas and speeds of handling equipment. To determine the reliability indicators, the tests or operation of transport objects are monitored under specified conditions. The accuracy of the calculation results using approximate equations is estimated by the methods of mathematical statistics. Consequently, the reliability indicators of complex transport systems with reserves of different resources are somewhat different from the traditional indicators usually used in reliability theory. When planning the reliability level of complex transport facilities of a seaport during their operation, as an alternative to the traditional methods of the theory of reliability and durability of vehicles, research methods can be used based on the achievements of the theory of fuzzy logic, artificial intelligence, etc.

Keywords: planning, reliability, transport system, seaport, operation.

Рецензент: канд. техн. наук, доцент ДВНЗ «ПДТУ» Хлестова О. А.

Стаття надійшла . . . 2020

УДК 629.5.017.1

Коваленко І. В.

ЕТАПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК З ЗАСТОСУВАННЯМ РІЗНОРІДНИХ СТАЛЕЙ

На сучасному етапі розвитку кораблебудування у світі та Україні, приділяється увага до використання економічно легованих конструкційних матеріалів, які мають стабільні експлуатаційні властивості. При розробці нових технологій застосовуваних при виготовленні суднових допоміжних механізмів дуже важливо виконати дослідження властивостей з'єднань різнорідних сталей і утворену ними виражену хімічну, структурну і механічну неоднорідність. При проведенні аналізу даних факторів повинні враховуватися як властивості і призначення матеріалів конструкції, так і вибір технології її виготовлення.

Застосовувані при розробці даної технології методи зварювання повинні забезпечувати мінімізацію витрат і оптимізацію геометрії зварного шва. Також важливим фактором являються оцінка ступеня легування марок зварювальних сталей та рівень сумарної собівартості виготовлення виробу. Дослідження властивостей перехідних шарів шва і основного металу і їх вплив на кількість циклів навантаження при випробуваннях також являються ключовими. Тому мінімізація числа дифузійних прошарків в зоні сплаву знижують циклічну втому металу шва є основним фактором.

Важливим є порівняння зварних з'єднань різного ступеня і класу легування. Наприклад порівняння термічно-зміцненої і дисперсно-твердих аустенітних сталей. Для сталей даного класу термічна обробка після зварювання є обов'язковою для відновлення властивостей околошовної зони. Також важливим є підсумкова структура шва, яка безпосередньо визначає число циклів до початку першого етапу руйнування. В даному випадку, найкращі властивості з точки зору експлуатації у дрібнодисперсної аустенітної і перлитної структур. Особлива роль приділяється вибору режимів термічної обробки зварного з'єднання, вона залежить від рівня легування Ni, Mg, Cr як основного металу, так і зварного з'єднання. Також необхідно розглянути і величини експлуатаційних навантажень на суднові енергетичні установки.

Ключові слова: легуючі елементи, аустеніт, основний метал, наплавлений метал, перехідний шар, структура металу.

Постановка проблеми. Різнорідні сталі являються універсальним матеріалом, який застосовується в багатьох секторах світової економіки: металургії, машинобудуванні, енергетиці, будівництві, оборонному комплексі, кораблебудуванні.

Також різнорідні сталі являються високотехнологічним матеріалом, який сприяє підвищенню ефективності виробництва, енергоефективності, матеріалоефективності, періоду і циклу експлуатації, та рівня якості виготовляється обладнання.

У світовій практиці, при використанні різнорідних сталей для виготовлення конструкцій, найбільшого поширення набули поєднання основного шару з конструкційної сталі, а робочого шару з низьколегованої матеріалу у якого підвищені експлуатаційні властивості.

Найбільш раціональним є використання різнорідних сталей в якості основного матеріалу при виготовленні вузлів суднових агрегатів. Даний вид конструкційного матеріалу

найбільш стійкий до впливу, як циклічних деформацій, так і агресивних середовищ. У багатьох джерелах представлений досвід застосування різнорідних сталей в якості основного матеріалу суднових металоконструкцій. При цьому вибір різнорідної сталі, що складається з шару конструкційного матеріалу і легованого шару мало висвітлений у науково-технічних джерелах. Не в повній мірі розкрито методи підбору класу сталі, ступеня легування і типу термічної обробки. Недостатньо описані процеси взаємодії легуючих елементів з перехідним шаром.

Тому питання отримання якісних зварних з'єднань в суднових металоконструкціях з двошарових сталей здатних тривалий час сприймати статичні навантаження і працювати в умовах підвищених температур і агресивних середовищ є досить актуальним.

Актуальність досліджень в цьому напрямку є важливим для багатьох компаній і підприємств які спеціалізуються на ремонті і виготовленні елементів суднового енергетичного устаткування. Результати досліджень наведені в даній статті допоможуть зменшити змінну частину собівартості виготовлення і ремонту суднового устаткування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При розгляді технології виготовлення вузлів суднових конструкцій з різнорідних сталей різними методами зварювання, основною вимогою вибору зварювального режиму є забезпечення заданого співвідношення проплавлення кожної зі зварювальних кромки. Але важливим залишається пошук технологічного підходу до зварювання плавленням з вимогою відомості до мінімуму частки основного металу в шві. Цей результат досягається процесом на режимах з мінімальною силою струму при помірних швидкостях.

Широко відомо, що способи зварювання плавленням, формування шва в яких йде тільки за рахунок проплавлення основного металу, впливають на властивості шва [1]. Причиною цього можуть бути грубозернисті структури схильні до охрупчення. Вирішення цього питання полягає в використанні автоматичного зварювання під флюсом при зварюванні шипів зі сталі типу сіхромаль до труб з маловуглецевої сталі до поверхні нагрівання котлів [2]. Даний підхід дозволяє стверджувати, що в швах за рахунок проплавлення матеріалу дроту утворюється однофазна феритна структура і вони стають крихкими після експлуатації в інтервалі температур 400-500 °С. Стійкість швів проти охрупчення не була помітно підвищена, коли ввели перед зварюванням операцію нікелювання зварної ванни [3]. Тому важливий пошук конструкційних матеріалів в яких нікель переходив в шов, тому додатково легують його що призводить до усунення однофазної великої феритної структури.

Актуальним залишається питання вибору зварювальних матеріалів. Від легування наплавленого металу істотно залежить можливість утворення в перехідних шарах шва тендітних структур і тріщин, а також інтенсивність розвитку в зоні сплаву кристалізаційних і дифузних шарів. У комбінованих суднових конструкціях метал шва по своїй міцності може задовольняти вимогам менш міцною зі сталей. Зазвичай зварні шви за механічними властивостями в жароміцних сталях близькі або навіть перевершують властивості основного металу [4]. Тому використання зварювальних матеріалів близького складу але менших по міцності, і з менш легованими складами задовольняє вимогам, що пред'являються до міцності суднових конструкцій. При цьому помітно спрощується технологія зварювання таких виробів і підвищується їх експлуатаційна міцність [5].

Тому необхідно виконати і сформулювати обґрунтування вибору в якості основного металу так і зварювальних матеріалів, для виготовлення суднових конструкцій. Найбільш

необхідне обґрунтування вибору матеріалів в з'єднаннях різнорідних перлитових і високохромистих сталей. Однак при зварюванні перлитових сталей з аустенітними існує небезпека утворення загартованих структур і тріщин в ділянках шва, що примикають до аустенітної сталі [6]. Тому в даному випадку необхідно застосувати високолеговані зварювальні матеріали які мають різну структуру після кристалізації.

Все це дає підстави стверджувати, що проведення аналізу та дослідження в цьому напрямку є актуальними.

Метою дослідження. У даній роботі основною метою є аналіз та обґрунтування забезпечення правильного підбору основного металу і зварювальних матеріалів при виготовленні суднових енергетичних установок вузлів з різнорідних сталей. Також необхідно виконати обґрунтування супутніх режимів термічної обробки.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- обґрунтувати вибір матеріалу і режиму термічної обробки з урахуванням основних і додаткових вимог вибору зварювального режиму, щодо забезпечення заданого співвідношення проплавлення кожної з зварювальних кромок, без виникнення мартенситних структур;

- структурувати вимоги до аустенітного матеріалу, суднових конструкцій з різними геометричними параметрами при стиковому зварюванні при переході від м'яких до жорстких режимів;

- визначити вплив легуючих елементів при різних методах зварювання плавленням на частку основного металу в шві за рахунок ведення процесу на режимах з мінімальною силою струму при помірних швидкостях.

Основний матеріал дослідження. При дослідженні процесу обґрунтування вибору матеріалів для зварювання перлитових сталей доцільно використовувати зварювальні матеріали, близькі за складом до менш легованої сталі [7]. Так як технологічна міцність перлитових швів знижується з підвищенням ступеня їх легування, то необхідно забезпечити відсутність в швах тріщин за рахунок пропорції елементів. У зварних з'єднаннях високохромистих мартенситних, феритних і ферито-аустенітних сталей, вибір електродних матеріалів для зварних з'єднань різнорідних високохромистих сталей визначаються рядом вимог. Найголовніша з них отримання швів без тріщин і відсутності в них тендітних складових [8]. При зварюванні цих сталей внаслідок високого вмісту в основному металі енергійного карбідотворюючого елемента - хрому - помітного розвитку дифузних шарів в зоні сплаву очікувати не слід. Дослідження зварювання 12-відсоткових хромистих мартенситних або мартенситно-феритних сталей різного легування, показало що для даного виду зварювання можуть застосовуватися електродні матеріали з легуванням хромом не менше 10 % для будь-якої зі зварювальних сталей. При автоматичному зварюванні під флюсом сталей даного класу або в вуглекислому газі, необхідно використовувати зварювальний дріт типу 08X14ГТ. Даний зварювальний дріт забезпечує високу циклічну стійкість до тріщин металу шва.

Режим підігріву для сталей вищевказаних класів слід вибирати за вимогами стали яка має найбільшу схильність до загартовування і має, як правило, підвищений вміст вуглецю. Його температура в залежності від жорсткості конструкції і вмісту в сталі вуглецю може коливатися в межах 200-400 °С [9]. Після зварювання обов'язковим є термічний відпустку при температурі 700-750 °С. Якщо товщина зварювальних елементів перевищує

30 мм, то експериментально доведено що до охолодження конструкції не нижче температури 100-150 °С необхідно поміщати її в термічну піч для нагрівання під відпустку.

Дослідження зварювання 12-відсоткових хромистих мартенситних сталей з високохромистого феритними і ферито-аустенітними сталями, показали що найбільш доцільно використовувати зварювальні матеріали ферито-аустенітного класу. Перевагою цих матеріалів в порівнянні з феритної (типу ЕФХ17) є мала схильність металу шва до зростання зерна і висока його пластичність в початковому стані після зварювання рис. 1.

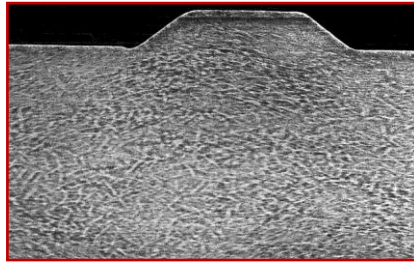


Рисунок 1 – Вид зварного з'єднання сталі з феритною структурою

Температура підігріву таких з'єднань при зварюванні повинна вибиратися з термічного режиму з розрахунку для 12 - відсоткової хромової сталі. Після зварювання необхідно виконати відпустку при в інтервалі 700-750 °С.

В ході термічної обробки слід вживати заходів до прискореного охолодження конструкції щоб уникнути прояву ефекту крихкості при температурі 475 °С [10]. Проведення відпустки помітно підвищує корозійну стійкість зварного з'єднання, перш за все в районі околшовної зони сталей ферито-аустенітного класу, що підтверджено результатами експерименту.

При зварюванні з'єднання 08X13 + 10XСНД застосовуються також аустенітні, електродні та присадочні матеріали. Температура підігріву може бути знижена при цьому на 100-150 °С, на відміну від необхідного режиму для високохромистих сталей [12] .

При проведенні дослідження визначено що температура підігріву при зварюванні перебувала в межах 130-180 °С. При необхідності викликані умовами забезпечення необхідного рівня властивостей і стійкості проти міжкристалітної корозії температура термічної відпустки виробу може бути підвищена до 800-850 °С.

Для попередньої оцінки придатності зварювальних матеріалів доцільно використовувати поділ аустенітних сталей по зварюваності на дві групи [13]. До першої з них відносяться найбільш поширені аустенітні сталі, в яких вміст основного легуючого елемента - хрому, перевищує або близько до змісту нікелю > 1 %. Ці сталі можуть зварюватися найбільш технологічними електродними матеріалами аустенітно-феритного класу. Друга група охоплює сталі з підвищеним запасом аустеніту, в яких вміст нікелю перевершує вміст хрому <1 % і які аустенітно-феритними електродними матеріалами зварюватись не можуть [14].

Вищевказані доводи були ключовими при розробці технології зварювання суднового вузла - елемента відцентрового насоса.

Особливий акцент необхідно зробити на те, що при виготовленні суднових конструкцій найбільш поширені хромо-молібденованадієві сталі марок 12X1МФ і 15X1М1Ф. Їх властивості більш стабільні через наявність в них вільних карбідотворюючих елементів

(Cr, Mo і V). У той же час, ці сталі при тривалих витримках на температурах вище 500 °С також схильні до утворення дифузійних шарів в зоні сплаву з аустенітним швом. Тому температура їх експлуатації повинна обмежуватися 500 °С.

Дослідження показали що найбільш стабільними перлітний сталями є 5-процентні хромисті сталі марок X5, X5M і X5MФ, а також високолеговані сталі марок 15X2M2ФБС і 25X3BMФ (EN 415). При їх експлуатації для роботи в зоні температур до 550 – 580 °С можна не побоюватися помітного розвитку дифузійних шарів [15].

Також на підставі даних проведених досліджень можна відзначити, що гранична температура застосування в різнорідних зварних з'єднаннях частки перлітної складової може бути підвищена:

а) при введенні перехідників з перлітної сталі з більш високим вмістом в них активних карбідоутворюючих елементів;

б) використання захисних облицювальних перлітових наплавлень на кромки перлітної сталі, при цьому облицювальний шар повинен мати більший вміст активних карбідоутворюючих елементів, ніж перлітний основний метал.

Вставки - перехідники з стабільних перлітових сталей найбільш доцільно застосовувати в стиках трубопроводів (рис. 2). З'ясовано що важливими для підготовки під зварювання є геометричні розміри (рис. 2) стиків: α , β - кути розділу основного металу, b, c - зазор і притуплення металу. Слід звернути увагу на те, що облицювання кромки зварювальних в з'єднаннях різнорідних сталей (рис. 2) крім зменшення інтенсивності дифузійних шарів може використовуватися також для усунення підігріву при зварюванні. А також і зменшення небезпеки утворення тріщин при зварюванні конструкцій підвищеної жорсткості зі сталями схильними до гартування [16].

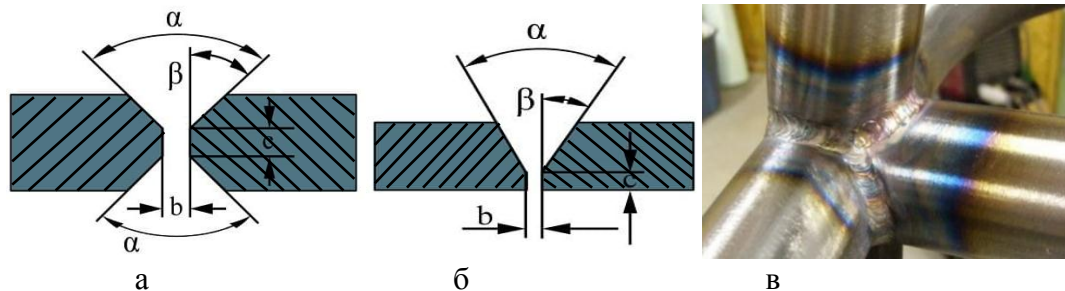


Рисунок 2 – Схеми розділок під зварювання з обробленими перлітними крайками:

- а – X-подібна оброблення ; б – V - образна оброблення ;
- в – зварне з'єднання труб з розширеним кордоном сплаву

Результати вимірів визначили товщину облицювального шару при зварюванні незагартованих сталей в межах 5-6 мм. У випадках застосування сталей схильних до гартування товщина облицювального шару повинна бути збільшена до 9 мм. Метал облицювання при цьому не може бути піддано загартуванню при зварюванні. Схема обробки крайок зварного шва після нанесення облицювання, може бути обрана по аналогу стикового зварного з'єднання.

В результаті дослідження і розрахунків визначено вплив легуючих елементів при зварюванні плавленням на частку основного металу в шві. Відсоток основного наплавленого металу склав інтервал близько 56 - 60 %, а залишок обсягу 40 - 43 % - структура легуючих елементів і перехідні структури металу шва.

ВИСНОВКИ

1. В ході дослідження та аналізу експлуатаційних властивостей матеріалів застосовуваних у суднових умовах, визначено максимально Рекомендований значення робочої температури для вуглецевих і хромомолібденових сталей з вмістом Cr 1 % і Mo 1 % на рівні 500 °С.

2. Визначено що при температурі експлуатації суднових конструкцій в інтервалі 450-500 °С не виникає розвитку дифузійних шарів в зоні сплаву хромомолібденової стали зі швом, обґрунтовано що ці умови експлуатації є оптимальними для сталей даного класу.

3. Визначено співвідношення пропорцій зварного шва і легуючих елементів при зварюванні плавленням на частку основного металу. Відсоток основного металу 60 %, а залишок обсягу 40 % - структура легуючих елементів і перехідні структури шва.

4. Сформульовано основні напрямки впровадженнь проведеного аналізу і досліджень. Розроблено технологію виготовлення і ремонту вузлів суднових енергетичних установок із застосуванням низьколегованих сталей і обґрунтованих видів термічної обробки.

Список використаних джерел:

1. *Chigarev, V. V. Flux-cored strips for surfacing / V. V. Chigarev, A. G. Belik // Welding International. – 2012. – Vol. 26. – P. 975–979.*
2. *Фока, А. А. Судовой механик. Т. 1 / А. А. Фока. – Одесса : Феникс, 2010. – 1030 с.*
3. *Коваленко, И. В. Оценка эксплуатационной надежности судовых энергетических трубопроводов с применением методов математического моделирования и ультразвуковой дефектоскопии = Operation reliability evolution of the ship power pipelines with application of mathematical modeling and ultrasonic testing methods / И. В.Коваленко, В. В. Спиридонов // The scientific heritage. – 2016. – Vol. 6, N 6. – P. 88–91.*
4. *Chigarev, V. Optimization of the fractional composition and performance melting powder tapes with exothermic mixture in the filler / V. Chigarev, A. Belik, D. Zarechenskii // Welding International. – 2016. – Vol. 30, N 7. – P. 557–559.*
5. *Чигарев, В. В. Способ увеличения срока службы металлургического оборудования / В. В. Чигарев, И. В. Коваленко // Вісник Приаз. держ. техн. ун-ту : зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2010. – Вип. 20. – С. 231–235. – (Серія : Технічні науки).*
6. *Чигарев, В. В. Исследование эксплуатационных свойств биметаллических сварных соединений / В. В. Чигарев, И. В. Коваленко // Вісник Приаз. держ. техн. ун-ту : зб. наукових праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2011. – Вип. 22. – С. 161–165. – (Серія : Технічні науки).*
7. *Готальский, Ю. Н. Сварные соединения разнородных сталей / Ю. Н. Готальский. – М. : Техника, 1981. – 185 с.*
8. *Перспективы производства толстостенных биметаллических корпусов высокого давления / Б. Е. Патон [и др.] // Автоматическая сварка. – 2004. – № 1. – С. 30–39.*
9. *Закс, И. А. Сварка разнородных сталей / И. А. Закс. – М. : Статус-Эко, 1973. – 208 с.*
10. *Махненко, В. И. Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций / В. И. Махненко. – Киев : Наукова думка, 2006. – 618 с.*
11. *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.*
12. *Медовар, Б. И. Сварка хромоникелевых аустенитных сталей / Б. И. Медовар. – М. :*

Машгиз, 1958. – 258 с.

13. *Mohammad Essa Ahmad* Application of flux-cored strips for ruggedization and reconditioning of machine parts / *Mohammad Essa Ahmad, V. V. Chigarev, A. G. Belik* // Modern Developments in Renewable Energy and Sustainability. – Kuala Lumpur, 2008. – P. 110–118.

14. *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.

15. *Харин, В. М.* Судовые машинные установки устройства и системы / *В. М. Харин*. – 2010. – Одесса : Феникс. 2010. – 648 с.

16. *Muller, E.* Geschweisste Turbinenlaufer / *E. Muller* // BBC-Nachrichten. – 1965. – Vol. 47, N 6. – P. 277–288.

Коваленко И. В.

ЭТАПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

На современном этапе развития кораблестроения в мире и Украине, уделяется внимание к использованию экономно легированных конструкционных материалов, которые имеют стабильные эксплуатационные свойства. При разработке новых технологий применяемых при изготовлении судовых вспомогательных механизмов очень важно выполнить исследования свойств соединений разнородных сталей и образовавшуюся ими выраженную химическую, структурную и механическую неоднородность. При проведении анализа данных факторов должны учитываться как свойства и назначения материалов конструкции, так и выбор технологии ее изготовления.

Применяемые при разработке данной технологии методы сварки должны обеспечивать минимизацию затрат и оптимизацию геометрии сварного шва. Также важным фактором являются оценка степени легирования марок сварочных сталей и уровень суммарной себестоимости изготовления изделия. Исследование свойств переходных слоев шва и основного металла и их влияние на количество циклов нагрузки при испытаниях также являются ключевыми. Поэтому минимизация числа диффузных слоев в зоне сплава снижают циклическую усталость металла шва является основным фактором.

Важным является сравнение сварных соединений разной степени и класса легирования. Например сравнения термически-укрепленной и дисперсно-твердых аустенитных сталей. Для сталей данного класса термическая обработка после сварки является обязательным для восстановления свойств околошовной зоны. Также важно итоговая структура шва, непосредственно определяет число циклов до начала первого этапа разрушения. В данном случае, лучшие свойства с точки зрения эксплуатации в мелкодисперсной аустенитной и перлитной структуры. Особая роль отводится выбора режимов термической обработки сварного соединения, она зависит от уровня легирования Ni, Mg, Cr как основного металла, так и сварного соединения. Также необходимо рассмотреть и величины эксплуатационных нагрузок на судовые энергетические установки.

Ключевые слова: *легирующие элементы, аустенит, основной металл, наплавленный металл, переходный слой, структура металла.*

STAGES OF ENSURING RELIABILITY IN THE OPERATION OF SHIP POWER PLANTS WITH THE USE OF DISSIMILAR STEELS

At the present stage of development of shipbuilding in the world and in Ukraine, attention is paid to the use of economically alloyed structural materials that have stable performance properties. When developing new technologies used in the manufacture of ship auxiliary mechanisms, it is very important to study the properties of joints of dissimilar steels and the pronounced chemical, structural and mechanical inhomogeneity formed by them. When conducting the analysis of these factors, both the properties and purpose of the construction materials and the choice of its manufacturing technology must be taken into account.

The welding methods used in the development of this technology should minimize costs and optimize the geometry of the weld. Another important factor is the assessment of the degree of alloying of welding steel grades and the level of the total cost of manufacturing the product. Studies of the properties of the transition layers of the weld and the base metal and their effect on the number of load cycles in the tests are also key. Therefore, minimizing the number of diffusion layers in the alloy zone reduces the cyclic fatigue of the weld metal is a major factor.

It is important to compare welded joints of different degrees and classes of alloying. For example, the comparison of thermally strengthened and dispersed hard austenitic steels. For steels of this class, heat treatment after welding is mandatory to restore the properties of the seam area. Also important is the final structure of the seam, which directly determines the number of cycles before the first stage of destruction. In this case, the best properties in terms of operation in fine austenitic and pearlitic structures. A special role is given to the choice of heat treatment modes of the welded joint, it depends on the level of doping of Ni, Mg, Cr as the base metal and the welded joint. It is also necessary to consider the magnitude of operating loads on ship power plants.

Keywords: *alloying elements, austenite, base metal, weld metal, transition layer, metal structure.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. ДВНЗ «ПДТУ» Самоутугін С. С.
Стаття надійшла 11.11.2019 р.

УДК 621.436

Дакі О. А., Ткаченко В. В., Будолак С. Ю., Бажак О. В.

МОДЕЛЬ РОБОТИ МАЛОРОЗМІРНОГО ДИЗЕЛЯ ЗАСОБУ КОЛЕКТИВНОГО ПОРЯТУНКУ ПРИ ВИКОНАННІ СТАНДАРТНОЇ РЯТУВАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ

Призначенням засобу колективного порятунку та його енергетичної установки є порятунок екіпажу і пасажирів судна у випадку виникнення критичної ситуації за максимально короткий час, що менший або дорівнює гранично нормативному часу, який встановлений вимогами (Safety of Life at Sea) – СОЛАС. Для моделювання рятувальної операції та оцінки тривалості виконання окремих операцій, етапів і в цілому всієї операції може бути використана модель функціонування енергетичної установки при реалізації стандартної рятувальної операції, що і розробляється в цій статті.

На підставі даної моделі доцільно досліджувати параметри і показники, як енергетичної установки, так і судна в цілому. На основі наукового розкриття взаємозв'язків між ними встановити закономірності підвищення оперативності застосування і покращення експлуатаційних характеристик, а також розробити:

– критерії оцінювання постійної готовності, надійності функціонування та енергетичної ефективності енергетичної установки засобу колективного порятунку;

– основи підвищення зберігання, надійності своєчасного запуску та функціонування, пускових й маневрених властивостей дизеля енергетичної установки засобу колективного порятунку.

Актуальність даної статті обумовлена: великою кількістю аварій і катастроф на воді з численними людськими жертвами; підвищенням вимог до забезпечення безпеки на воді; якісною зміною вимог до дизелів енергетичної установки засобу колективного порятунку; затребуваністю задачі удосконалювання існуючих дизелів енергетичної установки засобу колективного порятунку. Узагальнюючим фактором вище викладеного є нагальна потреба розробки моделей та методів забезпечення високого рівня надійності при заданих функціональних характеристиках дизеля засобу колективного порятунку на всіх етапах його життєвого циклу.

Ключові слова: безпека на морі, засіб колективного порятунку, енергетична установка, надійність, модель, рятувальна операція.

Постановка проблеми. Важливим напрямком забезпечення безпеки морських суден, разом з підвищенням надійності самих суден є оснащення їх безвідмовними та ефективними засобами колективного порятунку (ЗКП). Найбільш ефективними ЗКП, здатними в стислий термін забезпечити проведення рятувальної операції та відхід екіпажа й пасажирів на безпечну відстань від судна, що терпить лихо, є моторні рятувальні шлюпки, оснащені надійними енергетичними установками (ЕУ) на базі малорозмірних дизелів. Отже, умовою успішного проведення рятувальної операції є, у першу чергу, безвідмовна й ефективна робота малорозмірного дизеля ЕУ ЗКП.

Для проведення теоретичних та експериментальних досліджень з метою підвищення оперативності застосування та покращення функціональних характеристик ЕУ ЗКП виникла необхідність у розробці моделі роботи ЕУ ЗКП при реалізації стандартної рятувальної

операції. На базі даної моделі доцільно досліджувати параметри і показники, як ЕУ, так і судна в цілому, на основі наукового розкриття взаємозв'язків між ними встановити закономірності підвищення оперативності застосування і покращення експлуатаційних характеристик, а також розробити:

– критерії оцінювання постійної готовності, надійності функціонування та енергетичної ефективності ЕУ ЗКП;

– основи підвищення зберігання, надійності своєчасного запуску та функціонування, пускових й маневрених властивостей дизеля ЕУ ЗКП.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз виконаних раніше досліджень, присвячених проблемам підвищення функціональних характеристик дизелів ЕУ ЗКП і удосконалення процесів організації рятувальних операцій [1–5] показав, що в цих роботах розглядалися окремі експлуатаційні показники і параметри дизеля без комплексного підходу до підвищення ефективності і надійності функціонування дизеля при реалізації рятувальної операції. Тому, з огляду на особливу важливість і актуальність проблеми порятунку людського життя на морі, виникла необхідність проведення комплексних досліджень процесів реалізації рятувальних операцій з метою підвищення надійності і функціональних характеристик дизелів рятувальних шлюпок з урахуванням впливу різних факторів та особливостей функціонування дизеля при реалізації рятувальної операції.

Метою статті є розробка моделі роботи малорозмірного дизеля засобу колективного порятунку при виконанні стандартної рятувальної операції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Засоби колективного порятунку на морських судах повинні знаходитися в постійній готовності до негайного застосування в дію і реалізації рятувальної операції в будь-яких умовах, можливих в експлуатації. На рис. 1 наведено структурну схему малорозмірного дизеля, який може застосовуватися для засобів порятунку та інших малорозмірних суден.

Енергетична установка представляє собою двигун внутрішнього згоряння (4) із запаленням від стиску, обладнаний: реверсивно-редукторної передачею (3) для роз'єднання валопроводу (2) від двигуна, забезпечення необхідної частоти обертання гребного гвинта (1) і руху ЗКП переднім і заднім ходом; водяними насосами для осушення ЗКП (7) і зрошення танкерного ЗКП (9); основною – ручною і дублюючою – електростартерними системами пуску й інших вузлів систем життєзабезпечення ЕУ ЗКП.

Моторні ЗКП згідно міжнародних і національних норм, зберігаються на судах у стані постійної готовності для негайного використання в будь-яких умовах, можливих в експлуатації. Їх застосовують тільки в трьох випадках:

1) при проведенні планових навчальних або тренувальних занять для екіпажу або пасажирів;

2) при наданні допомоги і порятунку особам, які опинилися за бортом судна;

3) евакуації екіпажу і пасажирів із судна, що терпить лихо.

Після того, як боротьба за живучість аварійного судна визнана безнадійною і подальше перебування пасажирів та екіпажу на судні, що гине, небезпечно для їх життя, по команді "Залишити судно" починається рятувальна операція.

Стандартна рятувальна операція [6–7], реалізовується послідовно та безперервно, вона складається з множини підоперацій, які виконуються часто паралельно, а вся операція складається з п'яти взаємопов'язаних етапів (рис. 2).

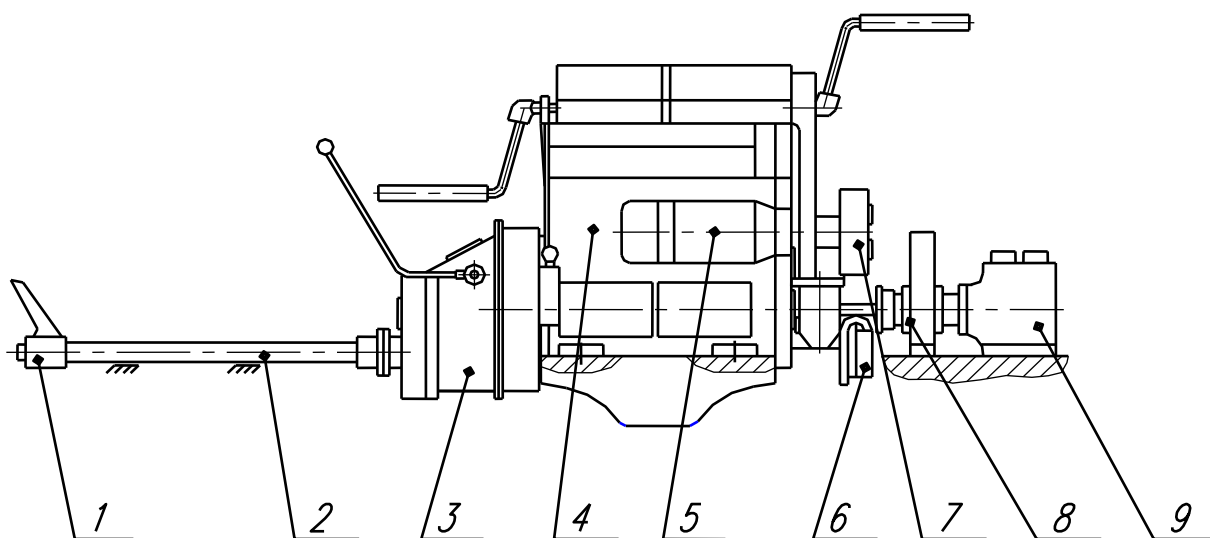


Рисунок 1 – Загальний вигляд енергетичної установки засобу колективного порятунку:

- 1 – гвинт гребний; 2 – валопровід; 3 – реверс-редукторна передача;
- 4 – двигун; 5 – генератор живлення бортової мережі і радіостанції;
- 6 – насос заборотної води; 7 – насос осушення;
- 8 – добір потужності з торця коленвалу; 9 – насос зрошення

На першому етапі здійснюється паралельно збір екіпажу і пасажирів для посадки в ЗКП, підготовку ЗКП для посадки людей і ЕУ для пуску, а також запуск ЕУ на палубі. Одночасне виконання даних операцій дозволяє скоротити тривалість першого етапу і визначити його величину. За даними [8–9] тривалість підготовки τ_0 та пуску τ_{II} двигуна у сумі не повинна перевищувати тривалість збору людей до місця посадки в ЗКП ($\tau_{ЗБ}$), а тривалість підготовки ЗКП для посадки людей ($\tau_{ЗКП}$) повинна бути меншою за ($\tau_{СБ}$). У зв'язку з тим, що умова $\tau_{ЗКП} < \tau_{ЗБ}$, як правило, завжди дотримується, через малу трудомісткість підготовки ЗКП для посадки людей і складності операцій збору людей до місць посадки в ЗКП, можна написати: $\tau_0 + \tau_{II} \leq \tau_{ЗБ}$.

Отже, гранично припустимі тривалості операцій підготовки і пуску двигуна можна визначити за найменшим значенням $\tau_{ЗБ}$.

Транспортні технології

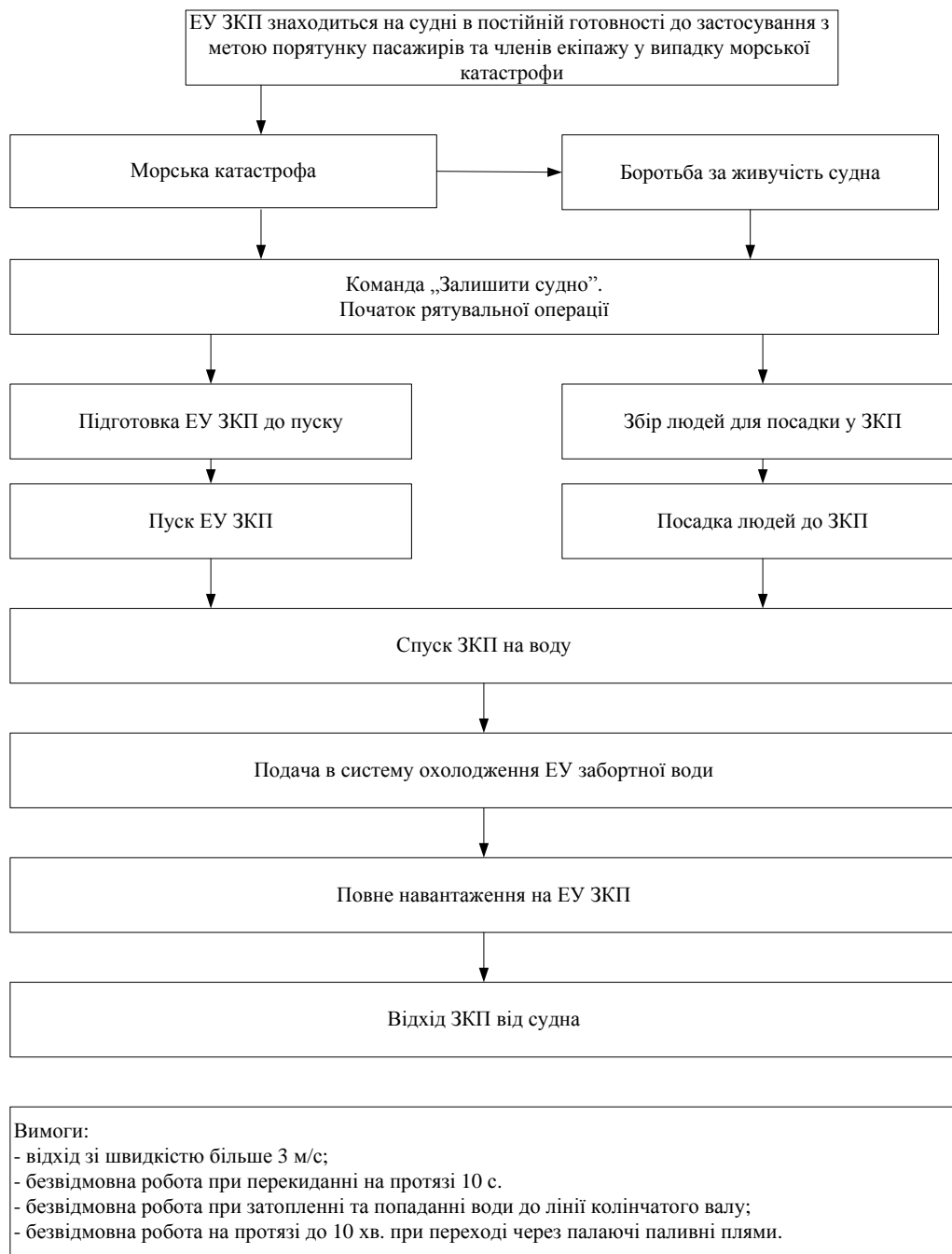


Рисунок 2 – Модель роботи ЕУ ЗКП при проведенні рятувальної операції

За даними роботи [10] найменша тривалість операцій збору людей до місця посадки в ЗКП залежить від швидкості руху членів екіпажу і пасажирів по коридорах, трапам і відкритим ділянкам палуби, їх віку і статі, часу доби та освітленості, крену судна і багатьох інших факторів і тому завжди має визначене значення, величина, що, наприклад, на рибальських і вантажних суднах довжиною до 100 м та з екіпажем до 22 осіб складає (120...150) с.

В інших випадках використовуються моторні ЗКП $\tau_{ЗБ} > 120$ с. Це дозволяє зробити висновок: на підготовку та пуск ЕУ, без втрати ефективності рятувальної операції можна затратити до 120 с, що не є протиріччям відносно вимоги (дизель ЕУ повинен запускатися з однієї з трьох спроб за час, що не перевищує 60 с). Отже, для першого етапу рятувальної операції можна прийняти:

$$\tau_{ЗБ} = 120 \text{ с.}; \tau_{П} = \sum_{i=1}^3 \tau_{Пi} \leq 60 \text{ с.}; \tau_0 \leq 60 \text{ с.},$$

де: $\tau_{Пi} \leq 20$ с. тривалість пускової спроби.

На другому етапі здійснюється паралельно посадка людей у ЗКП і прогрівання двигуна на холостому ході на палубі без води в системі охолодження протягом не більш 7 – 10 хв. Одночасне виконання зазначених операцій дозволяє скоротити тривалість другого етапу і визначити тривалість початкової стадії прогріву двигуна.

Тривалість другого етапу $\tau_{ПС}$, як і першого, залежить від різних факторів та одночасно визначає тривалість початкової стадії прогріву двигуна. Для оцінки $\tau_{ПС}$ можна використовувати заміри часу посадки людей до ЗКП, що виконані в натурних умовах [10, 11], які співпадають з тривалістю до 180 с, що встановлена Міжнародною конвенцією СОЛАС.

Тому тривалість початкової стадії прогріву двигуна на ЗКП можна прийняти $\tau_{ПС} = 180$ с.

На третьому етапі здійснюється паралельно спуск ЗКП на воду і заключну стадію прогріву двигуна. Тривалість третього етапу $\tau_{СП}$ і заключна стадія прогріву двигуна не повинна перевищувати 120 с. Отже, для сумарної тривалості роботи ЕУ ЗКП на холостому ході до надходження в систему охолодження забортної води, для тривалості прогріву двигуна $\tau_{ПР}$ можна записати: $\tau_{ПР} = \tau_{ПС} + \tau_{СП} = 180 + 120 = 300$ с.

На четвертому етапі, на самому початку ЕУ витримує температурні навантаження, що виникають у прогрітих деталях двигуна від зіткнення з забортною водою з можливою температурою до 271К, а потім приймати повне навантаження і завершувати евакуацію людей шляхом відходу ЗКП від судна, що гине, з конвенційною швидкістю не менш 3,1 м/с, щоб уникнути можливого влучення шлюпки під борт судна, яке перевертається. Тут 3,1 м/с (6 вузлів) – це та максимально можлива швидкість, яку може розвинути ЗКП із двигуном потужністю до 25 кВт, у повному навантаженні.

Таким чином, повну потужність необхідну для руху ЗКП зі швидкістю не менш 3,1 м/с і роботу всіх систем життєзабезпечення ЕУ повинна розвивати через 5 хвилин після пуску двигуна.

На п'ятому етапі рятувальної операції ЕУ повинна забезпечувати:

- рух ЗКП із заданою швидкістю ходу;
- роботу всіх систем життєзабезпечення ЗКП, у тому числі насосів осушення і зрошення ЗКП, генераторів зарядки акумуляторної батареї та живлення бортової мережі й радіостанції;

– безвідмовне функціонування у випадку потрапляння води до ЗКП й затоплення ЕУ по лінії осі колінчатого вала; перекиданні ЗКП із затримкою протягом 10 с у положенні, переверненому на 1800; проходженні танкерного ЗКП зони розливу палива (нафтопродуктів) протягом 8...10 хв;

– безвідмовне функціонування протягом часу, який необхідний для виходу в безпечну зону або на оживлені морські шляхи, не менш 24 годин після відходу ЗКП від борта аварійного судна.

Рятувальну операцію прийнято вважати завершеною успішно, якщо вона була технічно здійснена, а час її реалізації був коротшим тривалості загибелі судна. Ефективність її прийнято оцінювати абсолютною або відносною кількості врятованих людей [1, 10].

ВИСНОВКИ

Аналіз розробленої моделі та алгоритму функціонування ЕУ, а також комплексу вимог, що є наслідком проведених досліджень свідчить, що експлуатаційними якостями, які визначають успішне завершення евакуації людей із судна, яке гине, є комплексні оціночні показники:

– підтримання ЕУ ЗКП в постійній готовності для негайного застосування в дію при можливих тривалих періодах перебування в стані готовності;

– оперативність ЕУ при застосуванні, що включає швидку підготовку до пуску, пуск, прогрів і видачу максимальної потужності протягом заданого періоду часу при температурах навколишнього середовища до 258К;

– максимально можливу надійність функціонування ЕУ при будь-яких умовах, можливих при евакуації людей із судна, яке гине.

Список використаних джерел:

1. *Алексеев, В. В.* Анализ показателей функциональной эффективности энергетической установки средств коллективного спасения экипажей морских судов / *В. В. Алексеев* // Теоретические и практические аспекты современной науки : материалы IX Междунар. научно-практ. конф. (Москва, 16 октября 2013 г.). – М., 2013. – С. 10–19.

2. *Дюмин, И. Е.* Проблемы совершенствования ремонта и повышения эффективности использования автомобильных двигателей: дис. ... докт. техн. наук : 05.22.10 / *Дюмин Иван Елисеевич.* – Харьков, 1979. – 388 с.

3. *Каргин С. А.* Теоретическое обоснование и экспериментальное исследование рабочего процесса судового ДВС с комбинированным смесеобразованием и принудительным воспламенением : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.08.05 / *Каргин Сергей Александрович.* – Астрахань, 2006. – 177 с.

4. *Фатахов, М. М.* Пути улучшения маневренных качеств дизельных энергетических установок малых судов / *М. М. Фатахов, М. М. Аливагабов, М. А. Масуев* // Вестник АГТУ. – 2005. – № 6. – С. 155–157.

5. *Чайнов, Н. Д.* Конструирование двигателей внутреннего сгорания / *Н. Д. Чайнов, Н. А. Иващенко, А. Н. Краснокутский, Л. Л. Мягков*; под ред. *Н. Д. Чайнова.* – М.: Машиностроение, 2008. – 496 с.

6. *Алексеев, В. В.* Структура реализации стандартной спасательной операции с вводом в действие энергетической установки спасательной шлюпки / *В. В. Алексеев* // Вестник АГТУ. – 2013. – № 2. – С. 72–78.
7. *Алексеев, В. В.* Математическое моделирование процесса реализации спасательной операции / *В. В. Алексеев* // Второй балтийский международный форум (Светлогорск, 27–28 мая 2014 г.): тез. докл. – Калининград, 2014. – Т. 1. – С. 15–17.
8. *Аливагабов, М. М.* Специфические условия эксплуатации энергетических установок средств коллективного спасения и требования к ним / *М. М. Аливагабов* // Двигателестроение. – 1985. – № 2. – С. 14–16.
9. *Аливагабов, М. М.* Двигатели спасательных шлюпок и катеров : моногр. / *М. М. Аливагабов*. – Л. : Судостроение, 1980. – 224 с.
10. *Александров, М. Н.* Безопасность человека на море : моногр. / *М. Н. Александров*. – Л. : Судостроение, 1983. – 208 с.
11. *Александров, М. Н.* Вероятностный метод оценки эффективности спасательных средств морских судов / *М. Н. Александров* // Судостроение. – 1971. – № 9. – С. 6–16.

Даки Е. А., Ткаченко В. В., Будолак С. Е., Бажак О. В.

МОДЕЛЬ РАБОТЫ МАЛОРАЗМЕРНОГО ДИЗЕЛЯ СРЕДСТВА КОЛЛЕКТИВНОГО СПАСЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СТАНДАРТНОЙ СПАСАТЕЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ

Назначение средства коллективного спасения и его энергетической установки – спасение экипажа и пассажиров судна в случае возникновения критической ситуации за максимально короткое время, которое меньше или равно предельно нормативному времени, установленному требованиями (Safety of Life at Sea) – СОЛАС. Для моделирования спасательной операции и оценки продолжительности выполнения отдельных операций, этапов и в целом всей операции может быть использована модель функционирования энергетической установки при реализации стандартной спасательной операции, которая и разрабатывается в данной статье.

На основании данной модели целесообразно исследовать параметры и показатели, как энергетической установки, так и судна в целом. На основе научного раскрытия взаимосвязей между ними установить закономерности повышения оперативности применения и улучшения эксплуатационных характеристик, а также разработать:

– критерии оценки постоянной готовности, надежности функционирования и энергетической эффективности энергетической установки средства коллективного спасения;

– основы повышения хранения, надежности своевременного запуска и функционирования, пусковых и маневренных свойств дизеля энергетической установки средства коллективного спасения.

Актуальность данной статьи обусловлена: большим количеством аварий и катастроф на воде с многочисленными человеческими жертвами; повышением требований к обеспечению безопасности на воде; качественным изменением требований к дизелям энергетической установки средства коллективного спасения; востребованностью задачи совершенствования существующих дизелей энергетической установки средства

коллективного спасения. Обобщающим фактором выше изложенного есть необходимость разработки моделей и методов обеспечения высокого уровня надежности при заданных функциональных характеристиках дизеля средства коллективного спасения на всех этапах его жизненного цикла.

Ключевые слова: безопасность на море, средство коллективного спасения, энергетическая установка, надежность, модель, спасательная операция.

Daki O. A., Tkachenko V. V., Budolak S. Y., Bazhak O. V.

MODEL OF OPERATION OF A SMALL-SIZED DIESEL OF A COLLECTIVE RESCUE DURING A STANDARD RESCUE OPERATION

The purpose of the collective rescue device and its power plant is to rescue the crew and passengers of the vessel in the event of a critical situation in the shortest possible time, which is less than or equal to the maximum standard time established by the requirements (Safety of Life at Sea) - SOLAS. To simulate a rescue operation and estimate the duration of individual operations, stages and the entire operation as a whole, a model of the operation of a power plant can be used in the implementation of a standard rescue operation, which is being developed in this article.

On the basis of this model, it is advisable to investigate the parameters and indicators of both the power plant and the vessel as a whole. On the basis of the scientific disclosure of the relationships between them, establish patterns for increasing the efficiency of application and improving operational characteristics, and also develop:

– criteria for assessing the constant readiness, operational reliability and energy efficiency of the power plant of the collective rescue facility;

– fundamentals of increasing storage, reliability of timely launch and operation, starting and maneuvering properties of a diesel engine of a power plant of a collective rescue facility.

The relevance of this article is due to: a large number of accidents and disasters on the water with numerous casualties; increasing requirements for water safety; a qualitative change in the requirements for diesel engines of the power plant of the collective rescue facility; the demand for the task of improving the existing diesel engines of the power plant of the means of collective rescue. The generalizing factor of the above is the need to develop models and methods to ensure a high level of reliability for given functional characteristics of a diesel engine, a means of collective rescue at all stages of its life cycle.

Keywords: *means of collective rescue, model, power plant, reliability, rescue operation, safety at sea.*

Рецензент: д-р техн. наук, професор Тимошук О. М.

Стаття надійшла 30.11.2020 р.

УДК 347.77.023:658.8.013

Тахтамиш І. В., Аніщенко О. С., Тарасюк Л. І.

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ – ЕФЕКТИВНИЙ ШЛЯХ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Наведені відомості про вплив об'єктів інтелектуальної власності (ОІВ) на конкуренцію підприємств в їх боротьбі за ринки збуту продукції. Вказується на необхідність зростання інноваційної активності підприємств, швидкого використання у виробництві технічних рішень, які є ОІВ підприємства. Вказані пункти комерційної пропозиції, де найбільш ефективно виявляються вигоди від застосування ОІВ. Зокрема, технічні рішення, які забезпечують збільшення продуктивності технологій, обумовлюють зниження собівартості і ціни продукції, а також зниження термінів поставки партій виробів. Терміни поставки виробів часто є основним чинником в торгах на поставку деталей для аварійних ремонтів обладнання. Показано, як застосування нової автомобільної техніки для транспортування великогабаритних ковшів дозволило скоротити не тільки терміни доставки ковшів в Словаччину, але і відмовитися від великого обсягу складальних і монтажних робіт. Стверджується ефективність створення кластерів підприємств для успішної боротьби на тендерах. На прикладі технічних і комерційних досягнень та невдач двох конкуруючих підприємств, що виготовляють візки для конвеєрних машин, обумовлюється необхідність патентування нових технічних рішень в Україні та країнах з потенційними ринками збуту продукції.

***Ключові слова:** власність, тендер, інтелектуальна, продукція, вартість, терміни, технічні, рішення, характеристики, патенти.*

Постановка проблеми. В умовах ринкової економіки стійка прибуткова робота підприємства багато в чому залежить від його конкурентоспроможності в боротьбі за стабільну присутність в обраному сегменті ринку і освоєння нових ринків збуту продукції. Одним із значущих результатів цієї боротьби є перемога в тендерних процедурах (торгах) на право поставки тієї чи іншої продукції.

Тендерні торги обумовлюють необхідність здійснення гнучкої та ефективною маркетингової політики підприємств стосовно всіх пунктів комерційної пропозиції, що виставлена на тендер.

Одним з ефективних способів боротьби з конкурентами на тендерних торгах є використання прогресивних технічних рішень, що закладені в предмет торгів і є об'єктами інтелектуальної власності (ОІВ) підприємства-учасника тендеру [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Міцні конкурентоспроможні позиції підприємства взаємопов'язані, в першу чергу, з конкурентоспроможністю його продукції (товарів, послуг і т.п.), яка виявляється тільки на ринку в момент реалізації продукції, і визначається, в кінцевому рахунку, покупцем, який, купуючи продукцію, визнає відповідність її своїм потребам [2].

Ринковим механізмом придбання продукції покупцем є тендерні торги. Покупець, виступаючи в ролі замовника продукції, організовує проведення тендерних торгів, метою яких є визначення підприємства-виробника продукції, що забезпечує в оптимальному ступені для замовника відповідність її трьом основним умовам [2]:

- споживча цінність (якість продукції, економічний ефект від її використання і т.п.);
- мінімальні витрати замовника (на покупку, споживання, експлуатацію, ремонт, техобслуговування і т.д.);
- комплекс додаткових умов (гарантії, сервісне обслуговування, терміни виготовлення, умови оплати і т.п.).

Відповідно до цього, продукція, що виставляється на тендер, повинна відповідати ряду технічних, нормативних та економічних параметрів [3, 4].

Технічні параметри представляють собою характеристику властивостей продукції, що визначають основні сфери її застосування, функції, які продукція повинна виконувати при експлуатації або споживанні.

Нормативні параметри визначають відповідність продукції вимогам ДСТУ, ТУ, нормативно-правовим законодавчим актам.

Економічні параметри дають уявлення про прибутковість експлуатації продукції і витрати на її придбання.

Одним з трьох напрямків, що збільшують конкурентоспроможність підприємства і його продукції, за твердженням М. Портера [5], є зростання інноваційної активності підприємства шляхом швидкого використання у виробництві інновацій і технологічних знань, які є об'єктом інтелектуальної власності підприємства. Однак у науковій літературі мало відомостей про те, де і яким чином слід використовувати ОІВ для збереження і зміцнення високих конкурентоспроможних позицій підприємства на ринку.

Мета статті - визначення областей ефективного використання ОІВ підприємств і прийомів конкурентної боротьби за допомогою ОІВ за ринки збуту продукції.

Виклад основного матеріалу. Основним документом, що надаються підприємством-потенційним виробником продукції на тендер, є комерційна пропозиція.

Як правило, комерційна пропозиція складається з наступного мінімально допустимого числа пунктів:

1. Найменування продукції, що пропонується до виготовлення і постачання.
2. Специфікація (креслення, технічні, експлуатаційні та інші характеристики продукції, сервісне обслуговування).
3. Кількість / маса продукції, що поставляється в штуках, тоннах тощо.
4. Ціна продукції.
5. Умови оплати продукції.
6. Терміни виготовлення.
7. Умови поставки продукції.

Пункти 1 і 3 визначаються замовником і зміні не підлягають.

Ціна на продукцію часто складається із заводської собівартості, обсягу і процентної ставки за кредит, взятий на виготовлення цієї продукції, транспортних, митних витрат, а також прибутку, на який розраховує потенційний виробник. Все частіше Україна та інші держави для участі в тендерах вимагають від учасників сертифікат на право виготовлення даної продукції і наявність квоти або ліцензії на право поставки цієї продукції в конкретну державу. Вартості ліцензії та сертифікату також входять в ціну продукції.

З наведених вище складових ціни продукції ОІВ підприємства можуть впливати лише на заводську собівартість. За термінологією М. Портера [5], в цьому проявляється «перевага у витратах». Дійсно, прогресивні технічні та технологічні рішення, впроваджені на підприємстві, можуть, зокрема, забезпечувати зниження трудомісткості продукції і тим

самим зменшувати її заводську собівартість. Зауважимо, що при цьому дані рішення не обов'язково патентувати як ОІВ підприємства.

Найчастіше ОІВ, спрямовані на зниження трудомісткості продукції, забезпечують досягнення поставленої мети за рахунок збільшення продуктивності, що впливає на встановлення термінів виготовлення всієї партії продукції.

Умови оплати продукції залежать лише від благополучного фінансового стану виробника (при поставці продукції без передоплати) і замовника, який погоджується на часткове авансування замовлення.

В даний час умови поставки продукції встановлюються навіть для поставок в межах України за правилами Incoterms, що практично виключає вплив на ці умови за допомогою ОІВ.

Однак є окремі випадки, коли вдале техніко-логістичне рішення дозволяє змінити не тільки умови поставки, а й інші параметри виконання замовлення.

Таким прикладом може бути унікальна в своєму роді поставку одним з машинобудівних підприємств Маріуполя двох сталерозливних ковшів, що вміщують 190 тонн рідкого металу (рис. 1а) в м. Кошице (Словаччина) на металургійний комбінат компанії «US Steel».



а)



б)

Рисунок 1 – Сталерозливні ковші (маса рідкого металу – до 190 т):
а) відносні габарити ковшів; б) ківш на спеціальному автотранспорті

Раніше такі величезні по висоті ковші поставлялися замовникам декількома частинами. Висота ковша не дозволяла його транспортування залізничним або автомобільним транспортом через наявність на маршруті слідування тунелів, мостів і т.д. з обмеженням габаритів вантажів по висоті. В межах міст транспортуванню ковша стандартним автотранспортом додатково заважали тролейбусні і трамвайні тролєї.

Проблему вдалося вирішити, застосувавши для транспортування ковша новий вид італійських автомобілів з вантажною платформою, яка має аномально малий і регульований (аж до 0) кліренс (рис. 1б). В результаті ківш був поставлений в зібраному вигляді. Це дозволило заощадити 3-5 робочих днів, які були необхідні при старій схемі постачання для монтажу ковша з його окремих частин, здійснюваного на виробничих площах замовника.

Найбільш результативно ОІВ можуть бути використані при неціновій конкуренції, тобто в поліпшенні конструкції і паспортних характеристик продукції. Це джерело переваг в конкурентній боротьбі відоме як «диференціація» [5]. Для ефективної боротьби з конкурентами використовуються кілька прийомів:

1. В пункті «Специфікація» комерційної пропозиції декларуються покращені технічні

та експлуатаційні характеристики продукції в порівнянні з її прототипом, використовуваним замовником на дату проведення тендеру. Ці характеристики досягаються тільки за рахунок використання запатентованих ОІВ. Конкуренти залишаються в програші, оскільки не мають права застосовувати запатентовані ОІВ без дозволу патентовласника - підприємства, що бореться з ними за перемогу в тендері.

2. Пропонується нова, більш досконала конструкція продукції, що забезпечує ряд переваг в порівнянні з існуючою. Креслення конструкції обговорюються з технічними службами замовника. Після їх схвалення в умови тендеру вноситься пункт про те, що продукцію необхідно виготовити за новим еталоном, свого роду «стандартом замовника», тобто за вищезазначеними кресленнями. Проведена жорстка «стандартизація» ускладнить оперативне вплив конкурентів на замовника і їх гнучке реагування на зміну попиту. Зокрема, оскільки «стандартизована» замовником конструкція запатентована, конкуренти, не маючи дозволу патентовласника, не можуть використовувати ці креслення у виробництві і змушені відмовлятися від участі в тендері.

3. Кілька підприємств домовляються на період участі в тендері і виконання замовлення (у разі перемоги в тендері) про об'єднання своїх техніко-економічних та інтелектуальних можливостей. Утворюється тимчасовий кластер підприємств (за термінологією Портера [5]), а по суті – корпоративна змова. На тендерні торги подаються або одна об'єднана комерційна пропозиція нібито від одного підприємства, або (рідше) комерційні пропозиції від кожного з підприємств. Об'єднані можливості кластера підприємств дозволяють при тендерних торгах варіювати параметрами практично всіх пунктів комерційної пропозиції: зниженням ціни, термінів виготовлення та поставки продукції, лібералізацією умов оплати, поліпшенням технічних характеристик, сервісного обслуговування, збільшенням термінів гарантії якості продукції і т.д. Це, як правило, не під силу одному підприємству, через що перемога в тендері дістається кластеру підприємств. Обсяги робіт з виготовлення продукції для замовника розподіляються за попередньою домовленістю на всі підприємства, які беруть участь в корпоративному змові.

Розглянемо позитивні приклади використання ОІВ для підвищення конкурентоспроможності машинобудівних підприємств Приазовського регіону, які поставляють в країни СНД і далекого зарубіжжя візки для спікальних і випалювальних машин, що виготовляють агломерат і окатиші (рис. 2, а, б).



а)



б)

Рисунок 2 – Візки конвеєрних машин: а) спікальний візок для виготовлення агломерату; б) випалювальний візок для виготовлення котунів

Історія їх виробництва така. В СРСР візки виготовляли два заводи: «Уралмаш» (нині - «Машинобудівна корпорація «Уралмаш-УЗТМ») і «Южуралмаш» (нині – «ОРМЕТО-

ЮУМЗ»). Для забезпечення нормативного завантаження своїх величезних ливарних потужностей заводи розробили керівний документ, який наказував виготовляти великогабаритні корпуси візків з масою від 1 до 5 тонн, тільки литтям. Таким шляхом заводи позбулися значної частини потенційних конкурентів, які не мають потужностей для великогабаритного лиття.

З розпадом СРСР цей керівний документ втратив чинність, і в якості альтернативи литим корпусам маріупольські конструктори розробили і успішно випробували на аглофабриці ПрАТ «МК «Азовсталь» спікальні візки, корпус яких був виготовлений зварюванням з листового прокату [6]. При збереженні тієї ж несучої здатності в корпусі вдалося зменшити товщину стінок і, отже, його масу. Зменшилися навантаження на привід агломераційної машини, прокат в порівнянні з литим металом став краще протистояти впливу високих температур при спіканні. Зниження маси прокатно-зварного корпусу і трудомісткості його зварювання в порівнянні з литим варіантом зумовило зменшення заводської собівартості візків і в півтора-два рази зменшення термінів виготовлення першої партії візків і всього замовлення в цілому.

Таким чином, перевага комерційних пропозицій маріупольців на спікальні візки по пунктах «Специфікація», «Ціна продукції» та «Терміни виготовлення» забезпечили високу конкурентоспроможність підприємства і перемогу на перших порах у багатьох тендерах.

На жаль, відсутність патентної служби і непрофесіоналізм укладачів заявки на патент України [6] привели до того, що бердянські конкуренти створили і запатентували ряд конструкцій корпусів візків [7], зокрема – [8], які «обходять» патент маріупольців і мають низку інших переваг, як, втім, і недоліків перед прототипом [6]. Головне, чого домоглися машинобудівники Бердянська, – втрата маріупольцями правових переваг ОІВ для своєї конструкції візків, що забезпечило більш часті перемоги бердянського підприємства в тендерах.

Часткова втрата конкурентоспроможності на вітчизняних ринках змусило маріупольців шукати збут продукції в Росії та Казахстані. На цих ринках конкуренти пропонували візки з корпусом, відлитим з чавуну з глобулярним графітом. Вартість візків була вище, але і термін служби корпусів перевищував аналогічний показник маріупольських візків. Разом з тим, чавунні корпуси більшою мірою піддавалися високотемпературній ерозії і були непридатні до ремонту.

Таким чином, на новому ринку маріупольські візки з прокатно-звареним корпусом в цілому не мали переваг перед продукцією конкурентів.

Успіх в тендерних торгах було досягнуто за рахунок поліпшення технічних параметрів роликів вузлів візків. Як ОІВ для роликів візків були запропоновані нові підшипники з оригінальними антифрикційними наповнювачами, а для ущільнень між роликами і осями – новий матеріал «термографеніт» [9]. Запатентовані нововведення як збільшували (для підшипників), так і знижували (для ущільнень) заводську собівартість візків, однак в цілому забезпечували в 2-2,5 рази більший термін служби підшипників і ліквідацію операцій їх змазування.

Переваги технічних нововведень маріупольських машинобудівників виявилися вагомішими, ніж пропозиції конкурентів. Це дозволило виграти тендери на поставку в довоєнний час спікальних візків на металургійні комбінати «Северсталь» (Череповець) і «Тулачермет», хоча прибутковість замовлень істотно знизилася.

Однак навіть ці нововведення виявилися недостатніми для конкурентної боротьби в

Казахстані за ринок випалювальних візків, які за масою більш ніж в 2 рази перевищують їх аналоги для спікання агломерату.

Для перемоги в тендері на поставку великогабаритних випалювальних візків на Соколовсько-Сарбайське гірничо-збагачувальне виробниче об'єднання довелося вводити технічні нововведення практично в кожен вузол візків. Зокрема, додатково до вищесказаного в конструкціях візків були застосовані нові повзуни в вузлі ущільнення «візок-вакуум-камера» [10] і нові борти [11]. Однак тільки додаткове удосконалення корпусу візка дозволило мариупольському підприємству отримати вирішальну перевагу перед конкурентами. Корпус, найбільш дорогий в ціні візка, був сконструйований не тільки прокатно-звареним, а й розбірним. Це дозволяло після досягнення корпусом при експлуатації критичного прогину вниз відокремлювати його від стінок і роликів, перевертати прогином вгору і знову з'єднувати в єдиний візок [12]. Термін служби корпусу збільшився в 3-4 рази, і гірники Казахстану віддали перевагу українським випалювальним візкам.

У таблиці 1 наведені середньостатистичні дані про собівартість і ціну на спікальні і випалювальні візки на тендерних торгах в країнах СНД.

Таблиця 1 – Відносна частка витрат і прибутку в ціні спікальних і випалювальних візків

Найменування вузлів візків	Спікальні візки		Випалювальні візки	
	усталений рівень цін	нова ціна (з ОІВ)	усталений рівень цін	нова ціна (з ОІВ)
<u>Корпус:</u> - литий; - прокатно-зварювальний	0,41	0,32	0,45	0,35
<u>4 роликівих вузли:</u> - стандартний підшипник + лабіринтне ущільнення; - підшипник з наповнювачем + термографеніт	0,29	0,30	0,25	0,28
<u>Змінні борти та вузли рухомого ущільнення:</u> - литі борта і повзуни; борти з прокату з прорізами + двотаврові повзуни	0,18	0,15	0,15	0,12
Собівартість	0,88	0,77	0,85	0,75
Прибуток	0,12	0,08	0,15	0,08
Σ	1,0	0,85	1,0	0,83

Техніко-економічний аналіз впровадження ОІВ, тобто прокатно-зварної (в тому числі розбірної) конструкції корпусу замість литої, термографенітового ущільнення осі з роликом замість лабіринтового, підшипників з антифрикційним наповнювачем, повзунів і бортів нових конструкцій показав наступне.

1. За умови зниження прибутку від продажу кожного візка до 8 % можна знизити ціну на тендерних торгах до рівня (0,85 і 0,83 – див. таблицю), який нижче встановленого рівня собівартості виготовлення спікальних (0,88) і випалювальних (0,85) візків традиційних конструкцій.

2. Нова ціна на візки є збитковою для підприємств-конкурентів і забезпечує перемогу в тендері власника вищеназваних ОІВ.

В середньостатистичній ціні на випалювальні візки прибуток становить 13-20 %. Це пов'язано, по-перше, з тим, що лише невелика кількість підприємств в змозі виготовити таку великогабаритну продукцію, особливо якщо потрібно литий корпус. Мале число учасників тендерів дозволяє підтримувати ціни на випалювальні візки з високою часткою прибутку.

Собівартість візків для випалу котунів в 3-6 разів (в залежності від типорозмірів) вище, ніж візків для спікання агломерату. Одна конвеєрна машина може мати в своєму складі 500 випалювальних візків, тоді як машини для виробництва агломерату містять від 50 до 175 спікальних візків. Неважко зрозуміти, наскільки вигідно перемогти в тендері на поставку такої великої за загальною масою продукції навіть при зменшенні частки прибутку в ціні на візок.

Заміна лабіринтових ущільнень на термографенітові шнури і застосування підшипників з антифрикційним наповнювачем збільшує в цілому собівартість роликівих вузлів випалювальних візків, спроектованих маріупольськими конструкторами. Однак заміна литих корпусів на прокатно-зварні з можливістю кантування на 180° і повторного використання знижує собівартість корпусів більшою мірою, ніж зростання вартості роликівих вузлів. Зниження відсотка прибутку до 8 % і в цьому випадку дозволяє зробити збитковим виробництво випалювальних візків-прототипів на тендерних торгах у підприємств-конкурентів. А невеликий відсоток прибутку з урахуванням великих ціни і кількості візків в замовленні забезпечує в абсолютних цифрах значно більший приплив фінансових коштів, ніж від замовлень на спікальні візки навіть з більшим відсотком прибутку в їхній ціні.

Дані, наведені в таблиці 1, відносяться до комерційних пропозицій з умовами поставки EXW (Incoterms), тобто продукція переходить у власність замовника після її навантаження зі складу виробника на транспорт замовника або його контрагента. Якщо в тендері обумовлені інші умови поставки, наприклад, DDP, то виробник зобов'язаний доставити візки в пункт призначення, зазначений замовником. При цьому у виробника з'являться додаткові витрати на митні збори, податки, збори, транспортні витрати і витрати на страхування вантажу при його транспортуванні. Внаслідок цього планований прибуток може істотно скоротитися.

Втім прибуток, що склався на ринку візків Казахстану з лишком компенсував як витрати на впровадження нових ОІВ, так і чималі витрати на транспортування візків з України в Казахстан.

Як видно з викладеного, конкурентоспроможність продукції і, отже, підприємства залежить не тільки від використання в продукції прогресивних технічних рішень, які є ОІВ підприємства, але і від певного ринку [2], утвореного кластером [5] декількох підприємств, що конкурують на цьому ринку.

Важливим фактором конкурентоспроможності підприємств є продуктивна патентно-ліцензійна діяльність [13]. Створювані технічні нововведення повинні бути або надійно захищені патентами, або засекречені до такої міри, що без «ноу-хау» відтворити їх самостійно не представляється можливим. Патенти на ці нововведення повинні бути отримані як в Україні, так і в країнах з потенційними ринками збуту продукції.

Ігнорування необхідної патентного захисту ОІВ тягне за собою непередбачувані негативні наслідки.

Звернемося знову до діяльності маріупольського підприємства-виробника візків. Його

не зовсім успішна конкуренція з бердянськими машинобудівниками, здавалося б, показала необхідність серйозного ставлення до захисту своїх авторських прав на створювані технічні нововведення. Однак, маючи в штаті креативних конструкторів, високопрофесійних технологів, які одночасно професійно володіють патентною справою, власники підприємства не змінили свого прохолодного ставлення до питань, що стосуються інтелектуальної власності. Винахідництво належним чином не стимулювалося, через що кваліфіковані кадри з часом знайшли інше місце роботи. До сьогодення патентної служби на підприємстві, як і раніше, немає. Патенти України, що належать підприємству, не продубльовані в інших країнах. Конкурентні переваги, пов'язані з цими патентами, загублені, так як закордонні конкуренти на законних підставах використовують їх в своїх конструкціях. Більш того, дію всіх українських патентів, що належать підприємству, припинено в зв'язку з відсутністю щорічних платежів за підтримання чинності цих патентів, що зазвичай здійснює патентна служба. Як наслідок, немає необхідного числа замовлень, що призвело до катастрофічного фінансового становища маріупольського підприємства.

Практично з тих же причин аналогічна фінансова ситуація склалася і на бердянському підприємстві. При цьому був період часу, коли ці підприємства кооперувалися у виробництві продукції. Об'єднавши свій науково-технічний потенціал і ОІВ, підприємства могли б успішно витіснити з ринків збуту своїх конкурентів, висуваючи, як мінімум, дві відмінні одна від одної комерційні пропозиції, а роботу по виконанню виграних в тендері замовлень розподіляти на обидва підприємства. Однак амбіції власників підприємств виявилися вищими здорового глузду.

ВИСНОВКИ

Об'єкти інтелектуальної власності є дієвим засобом конкурентної боротьби підприємств на тендерних торгах, що впливає на технічні переваги, терміни виготовлення, ціну і якість продукції. Перемога в тендерних торгах в чималому ступені залежить від умінь учасників тендерів у вигідному світлі піднести в специфікації до комерційної пропозиції рівень перевищення якості пропонованої продукції в порівнянні з прототипом. Ефективним прийомом тендерної боротьби є заміна прототипу тендерної продукції на новий «стандарт», в якому по максимуму використані ОІВ окремого підприємства-учасника тендера. Корпоративна змова декількох підприємств з об'єднанням їх ОІВ в конструкції продукції, пропонованої в комерційній пропозиції на тендер, також підвищує конкурентоспроможність цих підприємств і забезпечує успіх в тендерах. Ефективне використання об'єктів інтелектуальної власності як засобу підвищення конкурентоспроможності підприємства передбачає кваліфіковане патентування цих об'єктів у всіх країнах з потенційними ринками збуту продукції.

Список використаних джерел:

1. Управління інтелектуальною власністю / П. М. Цибульов, В. П. Чеботарьов, В. Г. Зінов, Ю. Суїні. – К. : К.І.С., 2005. – 448 с.
2. Конкурентоспособность предприятия : оценка, диагностика, стратегия / Ю. Б. Иванов [и др.]. – Харьков : ХГЭУ-Торнадо, 2003. – 324 с.
3. Горбатко, Е. А. Конкурентоспособность промышленной продукции : учеб.

пособие / *Е. А. Горбатко*. – СПб. : Изд-во СПбУЭФ, 1991. – 64 с.

4. Основы внешнеэкономических знаний : словарь-справочник / *С. М. Долгов [и др.]*. – М. : Высшая школа, 1990. – 432 с.

5. *Портер, М.* Конкуренция : учеб. пособие / *М. Портер*. – М. : Вильямс, 2001. – 495 с.

6. Пат. 605 Україна, МПК⁵ C22В 1/20, F27В 21/04, F27В 21/08 (2006.01). Спікальний візок / *Агарков В. Я., Дюбін В. Ю., Кучеров В. А., Беспалов О. П.* – № 99105734; заявл. 20.10.1999; опубл. 16.10.2000, Бюл. № 5.

7. Державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності» (Укрпатент) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://base.uipv.org/>

8. Пат. 2421 Україна, МПК⁵ F27В 21/06 (2006.01). Візок для виготовлення агломерату та котунів / *Гершиков І. В., Нехим А. Л.* – № 20031211024; заявл. 04.12.2003; опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3.

9. Пат. 13808 Україна, МПК⁵ F27В 21/06. Роликовий вузол візка конвеєрної машини / *Агарков В. Я., Дюбін В. Ю., Беспалов О. П., Яроцький В. Г., Іванов М. П., Аніщенко О. С.* – № u200510244; заявл. 31.10.2005; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4.

10. Пат. 7923 Україна, МПК⁵ F27В 21/06 (2006.01). Ущільнення вакуум-камер конвеєрних машин / *Агарков В. Я., Дюбін В. Ю., Беспалов О. П., Іванов М. П., Ямпілець Р. Г.* – № 20041210362; заявл. 16.12.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7.

11. Пат. 980 Україна, МПК⁵ F27В 21/00, C22В 1/16 (2006.01). Спікальний візок / *Агарков В. Я., Дюбін В. Ю., Кучеров В. А., Беспалов О. П., Марченко О. О.* – № 2001010048; заявл. 03.01.2001; опубл. 16.07.2001, Бюл. № 6.

12. Пат. 2253 Україна, МПК⁵ F27В 21/06. Корпус спікального візка агломераційної машини / *Агарков В. Я., Беспалов О. П., Кошелев О. В., Іванов М. П., Аніщенко О. С.* – № 2003032114; заявл. 11.03.2003; опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.

13. *Жиль, В.* Конкурентоспособность: общий подход (проект) / *В. Жиль*. – М. : РЕЦЭП, 2005. – 52 с.

Тахтамыш И. В., Анищенко А. С., Тарасюк Л. И.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ – ЭФФЕКТИВНЫЙ ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Приведены сведения о влиянии объектов интеллектуальной собственности (ОИС) на конкуренцию предприятий в их борьбе за рынки сбыта продукции. Показана необходимость роста инновационной активности предприятий, быстрого использования в производстве технических решений, которые являются ОИС предприятия. Указаны пункты коммерческого предложения, где наиболее эффективно проявляются выгоды от применения ОИС. В частности, технические решения, которые обеспечивают увеличение производительности технологий, обуславливают снижение себестоимости и цены продукции, а также снижение сроков поставки партий изделий. Сроки поставки изделий часто являются основным фактором в торгах на поставку деталей для аварийных ремонтов оборудования. Показано, как применение новой автомобильной техники для транспортировки крупногабаритных ковшей позволило сократить не только сроки

доставки ковшей в Словакию, но и отказаться от большого объема сборочных и монтажных работ. Подтверждается эффективность образования кластеров предприятий для успешной борьбы на тендерах. На примере технико-коммерческих достижений и неудач двух конкурирующих предприятий, изготавливающих тележки для конвейерных машин, обуславливается необходимость патентования новых технических решений в Украине и странах с потенциальными рынками сбыта продукции.

Ключевые слова: *собственность, тендер, интеллектуальная, продукция, цена, сроки, технические, решения, характеристики, патенты.*

Takhtamysh I. V., Anischenko O. S., Tarasyuk L. I.

THE USE OF INTELLECTUAL PROPERTY IS AN EFFECTIVE WAY TO INCREASE THE COMPETITIVENESS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

The article contains information on the impact of intellectual property (IP) on the competition of enterprises in their struggle for markets for products. Objects of intellectual property are an effective means of competition of enterprises in tenders, which affects the technical advantages, production times, price and quality of products. The victory in the tender bidding largely depends on the ability of bidders in a favorable light to raise in the specification to the commercial offer the level of excess quality of the proposed products compared to the prototype. An effective method of tendering is to replace the prototype of the tender product with a new "standard", in which the maximum use of IP of an individual enterprise participating in the tender. The corporate conspiracy of several companies to combine their IPRs in the design of products offered in a commercial tender also increases the competitiveness of these companies and ensures success in tenders. The authors point to the need for the growth of innovative activity of enterprises, the rapid use in the production of technical solutions, which are the IP of the enterprise. The article shows the points of the commercial proposal, where the most effective are the benefits of the application of IP rights. In particular, technical solutions that provide an increase in the productivity of technologies determine a reduction in the cost and price of products, as well as a reduction in the delivery time of batches of products. Product delivery times are often a major factor in bidding for the supply of parts for emergency repairs of equipment. The authors show how the use of new automotive equipment for transporting large-sized buckets allowed to reduce not only the delivery time of buckets to Slovakia, but also to abandon a large amount of assembly and installation work. The article shows the effectiveness of the formation of enterprise clusters for the successful struggle at tenders. On the example of the technical and commercial achievements and failures of two competing enterprises that manufacture carts for conveyor machines, the authors determine the need for patenting new technical solutions in Ukraine and countries with potential markets for products.

Keywords: *property, tender, intellectual, production, cost, terms, technical, solutions, specs, patents.*

Рецензент: д-р екон. наук, професор Логутова Т. Г.

Стаття надійшла

УДК 620.9:536

Волошин В. С.

ТЕРМОДИНАМІКА ВІДХОДОУТВОРЕННЯ І СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На підставі численних літературних даних зроблено аналіз ролі та ефективності сучасного енергетичного потенціалу з як позицій ефективності виробництва товарної продукції, так і утворення відходів, віднісши до них і енергетичні втрати, і пов'язану з ними ефективність використання різних джерел енергії. Показано роль енергетичної залежності суспільства в забезпеченні його сукупного добробуту. Запропоновано підхід до аналізу ефективності відомих джерел енергії з позицій їх впливу на якість наявних технологічних процесів, зокрема, на процеси відходоутворення. Зроблено спробу обґрунтувати подальшу неперспективність вуглеводневої енергетики для майбутніх технологій. Розглянуто деякі енергетичні альтернативи. Спалювання вуглеводнів майже у всіх його проявах поступово стає як економічно, так і термодинамічно невиправданим процесом. Оскільки в будь-якому випадку сконцентрована енергія сировини перетворюється в енергію за допомогою найбільш неефективних методів: горіння, нагрівання пара або іншого теплоносія. Ентропія процесу при цьому, як правило, дуже висока. Значна частина енергії розсіюється у вигляді тепла, забруднює навколишнє середовище і втрачається, як матеріальна субстанція, для подальшого використання. Зроблено висновок, що сучасна енергетика позиціонується не тільки як ресурс можливостей для добробуту сучасного суспільства, але і як джерело величезної кількості забруднень, що впливають на середовище проживання людини. Ресурси вуглеводневої енергетики, незважаючи на відомі побоювання, скінчаться ще не скоро, через їх різноманіття і поширеність на планеті, але вже сьогодні стає очевидним нераціональність її використання в технологічних процесах і для побутових потреб. Розробка нових вуглеводневих джерел енергії потребує розвитку незалежно від сформованої структури економічних і соціальних відносин, спрямованих на застосування вугілля, нафти, природного газу. Певною мірою це стає однією з найбільш актуальних завдань для сучасної інженерії.

Ключові слова: енергоефективність, енергозалежність, енергоспоживання, термодинаміка, нерівноважні процеси, альтернативні джерела енергії, перспективи сучасних технологій.

Мета роботи. Обґрунтувати проблематичність використання наявних вуглеводневих джерел енергії, як одну з найважливіших причин порушення екологічної рівноваги і джерело небезпеки для людини.

Стан питання.

Якщо відволіктися від теоретичних досліджень на користь прикладної енергетики, то стає зрозумілим, що енергоекономічні аспекти проблем сучасного суспільства мають свої пояснення з позицій енергоентропіки всіх систем, які виробляють енергію і були створені або створюються людиною. Твердження про те, що сучасне суспільство побудоване таким чином, що вироблений сукупний продукт формує не просто систему споживання, але й нерівномірний розподіл вироблених благ серед споживачів, у тому числі, благ енергетичних, є одним з основоположних для нього. Безпідставно вважати, що складена світова система

розподілу сукупних товарних продуктів, зокрема джерела енергії, є оптимальною і не підлягає зміні. Швидко змінити цю систему не вдасться, навіть, якщо б таке завдання довелось вирішувати. Загальна економічна система співвідносно енергозабезпечення є вкрай інертною, консервативною і будь-які зміни в ній загрожують соціальними конфліктами. Зміни можуть бути прийнятними тільки тоді, якщо система з одного стійкого стану перейде в інший, не менш стійкий стан.

Особливістю такого стану речей є те, що сучасне суспільство дуже тісно пов'язане з ресурсним потенціалом і, зокрема, саме з тим, який забезпечує енергетичний стан економіки.

Певною мірою цей потенціал і його витрачання стають домінуючим показником не тільки для розвитку світової економіки, але й для реорганізації системи раціонального розподілу сукупного валового продукту. Така економічна парадигма, на перший погляд, може здаватися малоінформативною. Однак, вона існує.

Можна показати, що ефективність використання енергетичних ресурсів в цілому відображає не тільки ефективність економіки.

Світ не знає таких економічних укладів, за яких зростання валового продукту не супроводжувалось би зростанням енерговитрат. Починаючи з часів Римської імперії до наших днів витрати на життєдіяльність однієї людини зросли в два рази (з 0,2 т.н.е. / особу 2000 років тому, до 1,9 т.н.е. / особу в наш час) [4]. При тому зростання енерговитрат на одну тону нафтового еквівалента зріс від \$2500 до \$5500.

Енергетична залежність є тим критерієм, заради якого може відбуватися навіть переформатування сучасного суспільства. Будь-яким шляхом, еволюційним, революційним. Зростання такої залежності є однією з головних причин можливих суспільних змін. Якими б не були аргументи "Pro-contra" для Європейського Союзу, один з них, до речі той, який особливо не афішується, є одним з найбільш важливих. Мається на увазі зовнішня енергетична залежність Європи, частка енергоресурсів в її валовому сукупному продукті співвідносно з власними ресурсами. Європа спочатку мала досить спірні позиції за власними енергоресурсами, але володіла стійким соціально-політичним потенціалом, високопродуктивним людським ресурсом, науковими знаннями, які постійно розвиваються, новими технологіями, у тому числі, для отримання енергії. У кінцевому результаті, вона зуміла отримати розвинену економіку, яка із століття в століття базується на нових технологіях, енерговитратність яких, тим не менше, постійно штучно обмежувалася. Створення ЄС було у тому числі відповіддю для найбільш розвиненої частини світової спільноти на власні енергетичні виклики, які могли або возвеличити Старий світ, або поставити його на службу гнучкішій економіці США. У перші роки існування ЄС його країни позбулися індивідуального енергетичного голоду за рахунок перерозподілу сукупного продукту, що виробляється, і стали інтенсивно використовувати вуглеводні Північного моря. Були встановлені колективні взаємозв'язки з країнами ОПЕК, натомість їх було допущено до фінансових ресурсів європейських банків, дано гарантії колективної безпеки деяким з них (Саудівська Аравія, Кувейт, ОАЕ), надано доступ до сучасних Ні-технологій. При цьому було отримано доступ до дешевої енергії. В останні роки, в результаті зміни співвідношень у торгівлі російськими вуглеводнями через територію України, нестабільність у країні і подальші військові дії, Європейський Союз знову отримав порцію дестабілізуючого антидопінгу, і знову шукає способи реструктуризації суспільства. Зокрема, проект BREXIT став однією з перших ластівок такої реформації. А йому передували проблеми з Грецією, Іспанією, сукупний енергетичний витратний ресурс яких перевищує середній для ЄС у три з

половиною рази. І це ще не кінець такої реструктуризації. Можна припустити, що вкотре ми отримуємо причинно-наслідковий зв'язок між станом розбалансованого енергоринку і вимушеним прагненням до структурного переформатування суспільства.

У літературі наводяться дані про граничні витрати на енергоспоживання в сукупному світовому валовому продукті в розмірі 10%, вище за які починається поріг нестійкості в економіці будь-якої країни [4, 5]. Якщо це правильно, то країни колишнього СНД вже давно і "комфортно" розташувалися в зоні економічної кризи. Мало того, і кілька країн ЄС також знаходяться в кризовій зоні (табл. 1).

Таблиця 1 – Діапазони частки витрат на первинні енергоносії в валовому продукті деяких країн, (частка одиниці, в 2010 р.) в зіставленні зі споживанням нафти Ω млн. барель \ день (дані 2009 [6], розрахунки Δ велися за методикою [4])

№№ п/п	Країна	Δ	Ω
1	Росія	0,12	2,85
2	Україна	0,145	0,348
3	Казахстан	0,165	0,241
4	Узбекистан	0,145	0,145
5	Білорусь	0,115	0,173
6	Туркменія	0,161	0,120
7	Естонія	0,0995	0,030
8	Литва	0,114	0,074
9	Греція	0,144	0,414
10	Великобританія	0,084	1,699
11	Німеччина	0,095	2,437
12	Болгарія	0,120	0,125
13	Румунія	0,135	0,214
14	США	0,075	18,69

Сучасне суспільство вже не може обійтися без ефективних джерел штучної енергії. Ми давно вже перейшли ту межу, коли свої потреби могли задовольняти тільки за рахунок лише біологічної сили: власної або домашніх тварин. Щорічно світова спільнота споживає до $5 \cdot 10^{20}$ Дж енергії [21]. З них 94 % - це енергія, так чи інакше, витягнута з вуглеводневих джерел, які одержують за допомоги розробки підземних накопичень і витрачаються на відносно невисокоєфективних енергетичних установках. Причому динаміка споживання щорічно зростає на 5-7 % (рис. 1). Більшість видів енергії споживання (рис. 2) так чи інакше пов'язані зі споживанням вуглеводнів.

А починалося все з виразу: "Ignis mutat res" - вогонь рухає речами. Це латинський вислів дав старт цивілізованому багатомільйонному освоєнню людством, в тому числі, низькомолекулярних вуглеводневих копалин і продуктів як палива. Від дерева і вугілля, до нафти і природних газів. Відомо, що вся сучасна природна вуглеводнева енергія має біологічне походження, джерело якого, у свою чергу, - сонце, його випромінювання, що досягає поверхні Землі. З щорічних $1 \cdot 10^{21}$ ккал енергії Сонця, що досягає земної поверхні, тільки соті частки відсотку використовуються для створення різноманіття

Екологічна безпека

природної біологічної маси, частина якої протягом 50-200 млн. років поступово перетворювалася у вуглеводневі відкладення торфу, вугілля, нафти, метанового газу. У підсумку процес спалювання вуглеводневого палива можна розглядати як процес вивільнення сонячної енергії, яка була сконцентрована в біологічній масі. Але, одночасно, це і один з перших технологічних процесів, який був пов'язаний з відходоутворенням у вигляді енергетичних втрат за рахунок розсіювання енергії найнижчої якості – теплової.

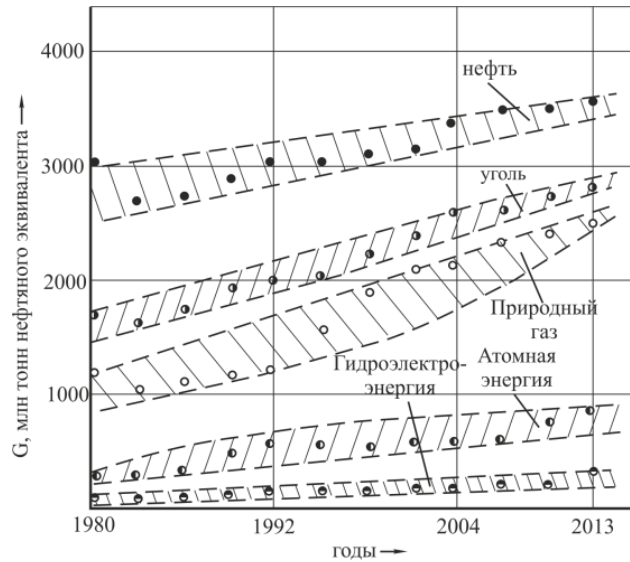


Рисунок 1 – Динаміка світового споживання природних енергоресурсів (За даними джерел [23, 27])



Рисунок 2 – Технічні системи, призначені для використання вуглеводневого палива

Природа створила величезну кількість джерел енергії, які використовує людина - органіку, природні вуглеводні, водень, енергію радіоактивного випромінювання, сонячне випромінювання, тепло надр і атмосфери тощо, залежно від того, які технології переробки використовуються. У історичному аспекті суспільство швидше відреагувало на вуглеводневі матеріали, як на реальне джерело енергії та протягом багатьох років і століть розробляло, вдосконалювало машини для переробки вуглеводнемістких копалин у корисну енергію. Для цього були підстави. Спочатку емпіричні, а потім і теоретичні. Головним було те, що горіння палива, за допомогою збільшення обсягу тіла, що нагрівається, *здійснювало роботу*. У ХІХ столітті тепла машина тим і підкорила світ, що вона з дуже неякісної теплової енергії *виробляла дію*. Наступні одна за одною роботи і дослідження в галузі збереження енергії Майер (1842), Гельмгольца (1847), початкові дослідження другого закону термодинаміки, виконані Лазарем і Саддам Карно (1824), Клаузиусом (1850), Томсоном (1852) зробили теплову машину чи не єдиним і незамінним джерелом корисної енергії, створивши таким чином для майбутнього своєрідний тупиковий бар'єр у науці ХІХ століття, який благополучно перекочував і у ХХ, а потім в ХХІ століття. Навіть енергію сонячного випромінювання, сконцентровану за допомогою дзеркал, традиційно намагаються використовувати для нагріву води, перетворення її в пару і далі, за відомим ланцюжком ... Незважаючи на те, що вже в ХХ столітті стало ясно, що такий вид енергії пов'язаний з величезними втратами енергії, своєрідними відходами в енергетиці.

За В. Томсоном, у тепловій машині тепло перетворюється в рух тільки за рахунок певних втрат і марною дисипацією. Якісної порівняльної оцінки втрат і роботи для теплових машин не існувало. Але інших подібних машин на той час не було. Зіставляти було ні з чим [7, 8]. Незважаючи на те, що вже у ХХ столітті стало ясно, що такий вид енергії пов'язаний з величезним навантаженням на навколишнє природне середовище, це не стало гальмувати суспільство. З'явилися інші джерела, що виробляють роботу - електрика, гідравліка і пневматика, термоелектричні, п'єзо-, фото- і віброефекти і ін. У ХХ столітті І. Пригожин, реалізувавши відоме рівняння $dS = d_e S + d_i S$, сміливо розділив необоротне розсіювання енергії, ентропію на приріст її оборотної частини $d_e S$ і на рівноправно вироблену, але незворотну частину $d_i S$, і відповідно останню поставив відповідальною за економічну частину енергоефективності. Але з цього не було зроблено розумні практичні висновки про вкрай неефективне використання теплових машин для виробництва енергії, руху, роботи [9]. Ми протягом величезного періоду часу вперто тримаємося саме за малоефективні теплові та подібні їм машини, приводячи до них майже всі інші джерела енергії - АЕС, ТЕС, ДВС та ін.

Основна частина роботи.

На сьогодні витрати енергії на видобуток одиниці об'єму нафти у співвідношенні з її продуктивністю, як палива становлять 1: 5, 20 % нафти у вигляді енергії витрачається на її видобуток. Уже через 20 років ця цифра приблизно буде становити 1: 1. А якщо буде потрібно видобувати "недоступну" нафту, витрати зростуть у рази. Сенс видобутку нафти втратиться, якщо не буде інших джерел енергії. Можемо бути впевненими, що ми станемо свідками того, що подальший видобуток вуглеводнемістких продуктів енергетично затратний, він буде здійснюватися тільки заради сировини для виробництва унікальних матеріалів, але не заради енергії.

Спалювання вуглеводнів поступово стає як економічно, так і термодинамічно невиправданим процесом майже у всіх його проявах. Тому що в будь-якому випадку, сконцентрована енергія сировини перетворюється в енергію за допомогою найбільш

неефективних методів: горіння, нагрівання пари або іншого теплоносія. Ентропія процесу при цьому, як правило, дуже висока. Велика частина енергії розсіюється у вигляді тепла, забруднює навколишнє середовище і втрачається, як матеріальна субстанція, для подальшого використання.

Будь-яка система отримання корисної енергії в певний період своєї роботи приходить у стан сильної нерівноваги, оскільки тільки такий режим дозволяє системі позбутися зростання ентропії (мінімізувати її) і бути спрямованою на протилежні їй репаративні процеси отримання власне корисного продукту [7, 10].

При загальній невизначеності та величезній кількості теплових та інших процесів, що дозволяють отримувати корисну енергію, сформуємо для них область феноменологічних кривих Л. Онсагера за запропонованою методикою (рис. 3) від стану $X_1 = X_2 = X_3 = 0$ (мінімум дисипації, крива 1) до $X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq 0$ (максимальна ентропія процесу, крива 2). І будемо вимагати власних співвідношень репаративних і дисипативних процесів для різних способів отримання корисної енергії, у тому числі, за допомогою лише механічних зусиль (використовуючи закони Ньютона, Архімеда, крива 3), тепломеханічних перетворювальних процесів (в основі лежить закон Фур'є, крива 4), фотоелектричного синтезу (закон Столетова, крива 5) і керованого термоядерного синтезу (крива 6).

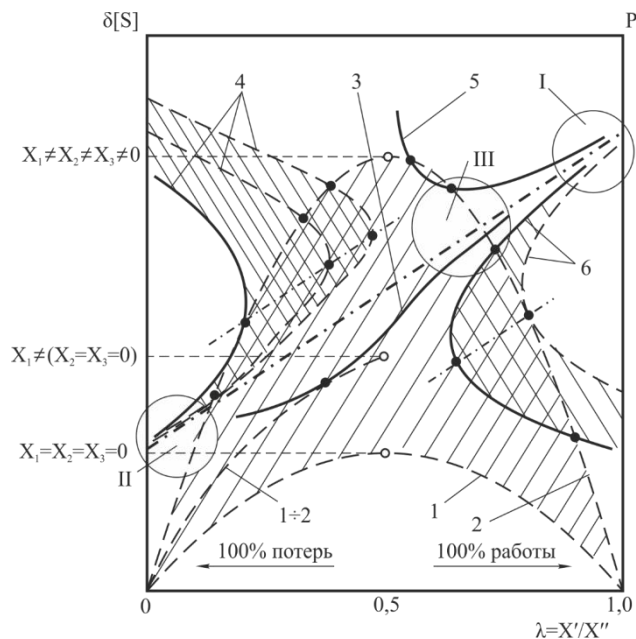


Рисунок 3 – Відображення стійкості і нерівноважності в різних системах отримання корисної енергії (позначення по тексту)

З огляду на те, що феноменологічні криві Л. Онсагера покликані описувати слабонерівноважні лінійні системи (розташовані поблизу області рівноваги), у так званих "співвідношеннях взаємності", а отримання корисної енергії, за І. Пригожиним, має відноситися до сильно нерівноважних процесів [11], на нашу думку, заслуговують на увагу тільки ділянки асимптотичних зближень I, II і III (див. рис. 3), далекі від атракцій. Тобто там, де можна вважати процеси отримання енергії відносно стійкими. Відомо, що стійкість

термодинамічної системи для отримання енергії відбивається перетином енергетичних кривих $P(\lambda)$ ($3 \div 6$) з однією з феноменологічних кривих $\{\delta[S](\lambda)\}$ Л. Онсагера. Екстремуми, які показані (максимуми термодинамічних потенціалів) задаються станами-аттракторами, до яких мимовільно прагне енерговиробна термодинамічна система, якщо при цьому виконуються граничні умови в області слабкої нерівноваги.

Розрахункові дані показують, що термодинамічна ефективність усіх сукупних теплових процесів отримання енергії, пов'язаних, у першу чергу, зі спалюванням вуглеводнів, в інтегральному показнику не може перевищувати позначку $\lambda = 0,5$ навіть у нестійкому режимі. Стійкий режим робить цю позначку ще менше (див. рис. 3, крива 4, зліва). І навпаки, термодинамічна ефективність термоядерного синтезу, фотоелектричного синтезу відбувається практично при $\lambda > 0,5$ і в окремих випадках навіть при $\lambda > 0,9$ (див. Рис. 3, криві 5 і 6, праворуч). Ці процеси здійснюються з мінімальною дисипацією енергії, що витрачається, або з мінімальним для таких систем приростом ентропії $d_e S$. Такий підхід дозволяє оцінити можливі варіанти економічно ефективного отримання енергії з позицій її втрат.

З одного із зазначених вище проблем, а саме, з енергетичними відходами, пов'язаний стан довкілля суб'єкта енергокористування, а саме, людини. Так само, як і вплив на кліматичні умови на планеті, виснаження природних ресурсів, зокрема, вуглеводнів, які за інших умов могли б стати величезним джерелом матеріальних багатств тощо. Сучасна енергетика лідирує у забрудненні навколишнього середовища відходами газів. А якщо до цього додати сучасний транспорт, в основі якого також здебільшого лежить спалювання вуглеводневого палива, і пов'язані з ним теплові процеси, то можна спостерігати пряму й дуже високу кореляцію кількості вивільненої з вуглеводнемісткими матеріалами енергії та забруднення навколишнього середовища. Динаміка зростання CO_2 , найбільш типового забруднювача атмосфери, пов'язаного з горінням вуглеводневого палива, досить красномовна і прогнози до 2030 року вкрай невтішні (рис. 4).

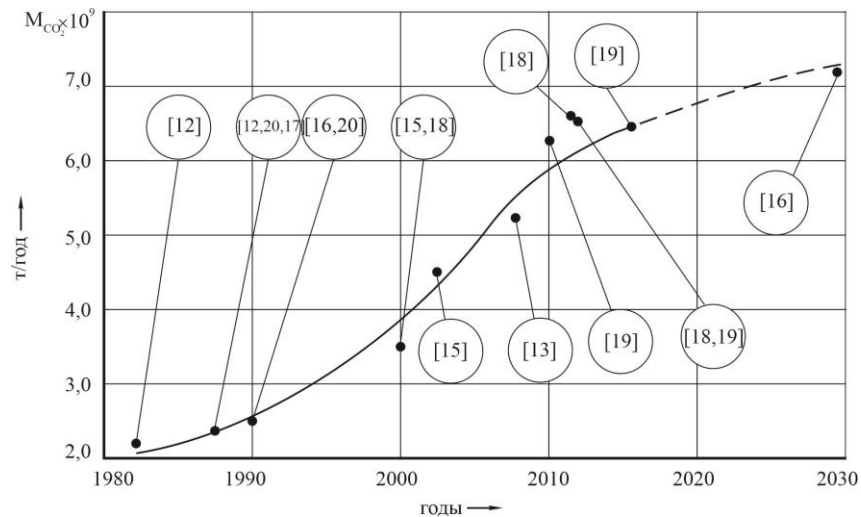


Рисунок 4 – Динаміка зростання викидів CO_2 , в атмосферу за останні 35 років (За даними міжнародних джерел, див. Перелік літератури на графіку)

Тільки цей фактор мав би орієнтувати суспільство на відмову від застосування подібних джерел енергії та інтенсивні пошуки альтернативи. Використовуючи нафту, газ, ми неефективно і варварськи спалюємо потенційні високоцінні матеріали, які іншими способами

не одержати, зокрема, пластмаси, синтетику, лаки, фарбу та ін. (словами У. Черчілля - "опалюємо банкнотами").

Таким чином, формується висока сукупна, у тому числі економічна ціна за сучасні вуглеводневі способи виробництва енергії, яка споживається, що вже сьогодні робить цю галузь господарювання фактором **глухого кута розвитку** для людства.

Величезна кількість машин і механізмів, технологічних процесів, обладнання та матеріалів створені на основі застосування вуглеводнів. В основі абсолютної більшості з них лежать теплові процеси. Двигуни внутрішнього згоряння, дизельні та газові двигуни автомобілів, турбіни різноманітних видів, реактивні двигуни літаків, технології отримання чавуну і сталі, прокату й аміаку, пластичних мас і численних синтетичних речовин, гумових виробів вимагають значної кількості вуглеводнемістких матеріалів. З кожних 100 патентів, які оформлюються у світі, 13 стосуються пристроїв і способів спалювання або переробки вуглеводнемістких палив і речовин.

Перші двигуни внутрішнього згоряння, які й донині переможно крокують планетою, з'явилися приблизно 100 років тому. Паливом був газ. Пізніше - рідке паливо. З'явилися електромобілі, покликані скоротити кількість викидів у навколишнє середовище насамперед міст. Енергетична ефективність електричних двигунів досить висока, 90-95% перетворення проведеної електроенергії на корисну роботу. Проте, в системі "електромобіль - електроенергія" нарівні з екологічно чистим автомобілем існує ще одна підсистема - теплоелектростанція, яка виробляє цю електроенергію. Ми отримуємо добуток ККД теплоелектростанцій і ККД власне електричного двигуна. А це вже цифри порядку $(0,40 \cdot 0,55) \cdot (0,9 \div 0,95) = 0,36 \div 0,52$. Та й за викидами в навколишнє середовище теплоелектростанції, як підсистеми даної системи, посідають провідні позиції в світі. У кращому випадку це далеко від ідеалу.

Інакше кажучи, у подібній системі інтегральне забруднення природи просто перерозподіляється між підсистемами, що є одним з ознак глухого кута розвитку таких систем.

З деякими уточненнями можна стверджувати, що на сучасному рівні розвитку науки і суспільства глобальне виробництво енергії з вуглеводневого палива шляхом активізації теплової енергії або енергії нагрітої пари є стратегічною науково-технічною помилкою. Те, що визнавалося як прогрес в минулому столітті, у нинішньому столітті має розглядатися як глухий кут, з якого необхідний вихід: інженерний, технологічний, економічний. Науковий вихід з такого глухого кута давно існує у вигляді розробок інших джерел енергії, крім вуглеводневих.

Сучасною наукою створено безліч так званих неуглеводневих джерел енергії. Їх провісником була атомна енергетика, початок якої було покладено в 1954 році будівництвом Обнінської АЕС в СРСР. З тих пір атомна енергетика набула промислового значення. У 32 державах світу налічується більше 190 діючих АЕС, загальною потужністю 393 ГВт. Величезні надії фізики поклали на керований термоядерний синтез, прототипом якої стали перші Токамаки.

З 2011 року існують розробки в області так званого низькоенергетичного ядерного синтезу (ефект E-cat або генератори Россії). Технологія LENR заснована на ефекті резонансного злиття нанопорошкового нікелю з атомами водню і подальшим утворенням атомної міді та заліза. У результаті екзотермічної ядерної реакції за наявності певного каталізатора вивільняється близько 10 мегаелектронвольт енергії, що в 10^7 разів більше, ніж

Екологічна безпека

при спалюванні водню в термоядерному реакторі (1,5 ЕВ). Розрахунки та експериментальні демонстрації (наприклад, на конференції в Лугано, 2014 р.) показують, що маса палива 1 г дозволила за 32 діб провести 1600 квт ч теплової енергії в 3 кВт, при потужності, яка безперервно генерується. Джерелом є нікель. Декларована вартість 1 кВт енергії - 1 цент [22, 23].

Існує цілий науковий напрям, який називається водневої енергетикою. У основі її використання один із найбільш поширених елементів на Землі – водень, як засіб для виробництва, акумулювання і споживання енергії. Водень має одну з найвищих теплоту згоряння, і продуктом його згоряння є вода. Він безпечний для навколишнього середовища, не токсичний для людини, вкрай енергоємний. Все це робить водень перспективним заміником вуглеводневих джерел енергії. Сучасні наукові дослідження пропонують людству величезний ресурс підземного водню [24, 25, 26]. Природа постаралася для людини, природним шляхом відокремила вкрай високоенергетичний водень зі складу підземної води і упакувала його в так звані металогідридні конгломерати. При цьому людині залишилося тільки отримати цей вільний водень із зон рифтогенезу на поверхні планети і включити його до складу власних енергоресурсних продуктів. Причому такого палива, яке не забруднює навколишнє середовище, людству вистачить на сотні мільйонів років.

Немає потреби знову повторювати аргументи щодо наявних альтернативних джерел енергії, які знаходять все більше застосування.

Людству є з чого обирати, щоб скласти раціональну репаративну альтернативу вуглеводневому паливу. При цьому виникає нове завдання - створення абсолютно нових підходів до інженерно-технічного забезпечення взаємодії з новими джерелами енергії, що є метою багатьох майбутніх поколінь фахівців в галузі інженерії.

ВИСНОВКИ

Сучасна енергетика позиціонується не тільки як ресурс можливостей для добробуту сучасного суспільства, але і як джерело величезної кількості забруднень, що впливають на середовище проживання людини. Ресурси вуглеводневої енергетики, незважаючи на відомі побоювання, скінчаться ще не скоро, у силу їх різноманіття і поширеності на планеті, але вже сьогодні стає очевидним нераціональність їх використання в технологічних процесах і для побутових потреб. Розробка нових неуглеводневих джерел енергії потребує свого розвитку незалежно від сформованої структури економічних і соціальних відносин, спрямованих на застосування вугілля, нафти, природного газу. Певною мірою це стає однією з найбільш актуальних завдань для сучасної інженерії.

Список використаних джерел:

1. *Голубенцев, А. Н.* Термодинамика процесса производства / *А. Н. Голубенцев.* – Киев : Техника, 1969. – 182 с.
2. *Волошин В. С.* Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах / *В. С. Волошин, П. М. Семенченко.* – Донецк : Донеччина, 1997. – 71 с.
3. *Александров, Е. А.* Основы теории эвристических решений. Подход к изучению естественного и построению искусственного интеллекта / *Е. А. Александров; под ред. П. Г. Кузнецова.* – М. : Сов. Радио, 1975. – 256 с.

4. *Цибульский, В. Ф.* Энергетический индикатор состояния экономики / *В. Ф. Цибульский* // Вести в электроэнергетике. 2013. – № 4. – С. 37–41.
5. Энергетика в экономике XXI века / *Е. П. Велихов, А. Ю. Гагаринский, С. А. Субботин, В. Ф. Цибульский.* – М. : ИздАТ. 2010. – 176 с.
6. Потребление нефти странами мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iformatsiya.ru/tab1/539-potreblenie-nefti-stranami-mira.html>
7. *Elkana, Y.* The Discovery of the Conservation of Energy / *Y. Elkana.* – London, Hutchinson Educational, 1974. – 213 p.
8. *Elkana, Y.* Helmholtz's Kraft : An Illustration of Concepts in Flux / *Y. Elkana* // Historical Studies in the Physical Science. – 1970. – Vol. 2. – P. 263–298.
9. *Prigogine, I.* Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles / *I. Prigogine.* – Paris : Dunon 1947.
10. *Prigogine, I.* Etude Thermodynamique des Phénomènes Irréversibles. Thèse D'agrégation présentée en 1945 à l'Université Libre de Bruxelles // *I. Prigogine.* – Paris : Dunon 1947.
11. *Prigogine, I.* The Second Law as a Selection Principle : The Microscopic Theory of Dissipativ Processes in Quantum Systems / *I. Prigogine, C. George* // Proceeding of the National Academy of Science. – 1983. – Vol. 80, July. – P. 4590–4594.
12. *Нухаус, Ф.* Влияние производства энергии на концентрацию в атмосфере газов, обуславливающих парниковый эффект [Электронный ресурс] / *Ф. Нихаус, Э. Янсита* // Бюллетень МАГАТЭ. – 1989. – N 2. – Режим доступа: https://www.iaea.org/sites/default/files/31204091220_ru.pdf
13. Загрязнение атмосферы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.globaltrouble.ru/ekologiya_atmosfery_gidrosfery_pedosfery/zagryaznenie_atmosfery.html
14. Выбросы двуокиси углерода в результате сжигания ископаемого топлива на душу населения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b09_66/isswww.exe/stg/04-20.htm
15. Глобальные последствия загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/2987/ekologiya/globalnye_posledstviya_zagryazneniya_okruzhayushey_sredy
16. Защита атмосферы Земли - международная проблема : промежуточный отчет Комиссии по социологическим исследованиям 11-й сессии Бундестага. – Бонн, 1988.
17. Атом в промышленности: радиационные технологии на службе развития [Электронный ресурс]. – Бюллетень МАГАТЭ. – 2015. – Сентябрь. – Режим доступа: https://www.iaea.org/sites/default/files/bull563_sept2015_ru.pdf
18. Дискуссии о парниковом эффекте : взгляд изнутри. Вопросы энергетики и обсуждение проблемы глобального потепления [Электронный ресурс] // Бюллетень МАГАТЭ. – 2000. – Декабрь. – С. 2–5. – Режим доступа: https://www.iaea.org/sites/default/files/vol42_no4_russian_ru.pdf
19. Лемыш, А. Нефть получила тепловой удар [Электронный ресурс] / *А. Лемыш.* – Режим доступа: <http://www.chitalnya.ru/work/1406582>
20. *Larin, V. N.* Hydridic Earth : the New Geology of Our Primordially Hydrogen-rich Planet / *V. N. Larin.* – [S. l.] : Polar Publishing, 1993. – 273 p.

21. Ларин, В. Н. Наша Земля : (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли) / В. Н. Ларин. – М. : Агар, 2005. – 248 с.
22. Белов, С. Н. Чистое топливо будущего [Электронный ресурс] / С. Н. Белов // Российские недра. – 2006. – № 18 (31). – С. 3. – Режим доступа: <http://www.asgeos.ru/article/320.html>
23. BP Statistical Review of World Energy [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
24. Трегуб, О. А. Податок за розміщення відходів як складова економіко-правового забезпечення поводження з ними [Електронний ресурс] / О. А. Трегуб // Юридичний науковий електронний журнал. – 2016. – № 4. – С. 97–100. – Режим доступу: http://lsej.org.ua/4_2016/27.pdf
25. Податковий кодекс України [Електронний ресурс] : від 02.12.2010 р. № 2755-VI (із змінами, редакція від 17.11.2020 р.). – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>
26. Энергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс] : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>
27. Мельник, Л. Г. Синергетическая методология исследования экономических систем / Л. Г. Мельник // Вопросы политической экономии. – 2014. – № 4 (13). – С. 69–95.

Волошин В. С.

ТЕРМОДИНАМИКА ОТХОДООБРАЗОВАНИЯ И СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

На основании и многочисленных литературных данных выполнен анализ роли и эффективности современного энергетического потенциала с позиций эффективности производства как товарной продукции, так и отходов, отнеся к ним и энергетические потери и связанную с ними эффективность использования различных источников энергии. Показана роль энергетической зависимости общества в обеспечении его совокупного благосостояния. Предложен подход к анализу эффективности известных источников энергии с позиций их влияния на качество существующих технологических процессов, в частности, на процессы отходаобразования. Сделана попытка обосновать дальнейшую неперспективность углеводородной энергетики для будущих технологий. Рассмотрены некоторые энергетические альтернативы.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергезависимость, энергопотребление, термодинамика, неравновесные процессы, альтернативные источники энергии, перспективы современных технологий.

WASTE THERMODYNAMICS AND DEVELOPMENT STRATEGY MODERN ENERGY TECHNOLOGIES

On the basis of numerous literature data, the analysis of the role and efficiency of modern energy potential from the standpoint of production efficiency of both marketable products and waste, including energy losses and related efficiency of various energy sources. The role of society's energy dependence in ensuring its overall well-being is shown. An approach to the analysis of the efficiency of known energy sources from the standpoint of their impact on the quality of existing technological processes, in particular, on the processes of waste generation. An attempt is made to substantiate the further unpromising nature of hydrocarbon energy for future technologies. Some energy alternatives are considered. Hydrocarbon combustion is gradually becoming both economically and thermodynamically unjustified process in almost all its manifestations. Because in any case, the concentrated energy of raw materials is converted into energy by the most inefficient methods: combustion, heating of steam or other coolant. The entropy of the process is usually very high. Most of the energy is dissipated in the form of heat, pollutes the environment and is lost as a material substance for further use. It is concluded that modern energy is positioned not only as a resource of opportunities for the well-being of modern society, but also as a source of a huge amount of pollution that affects the human environment. Resources of hydrocarbon energy, despite known fears, will not run out soon, due to their diversity and prevalence on the planet, but today it becomes clear the irrationality of its use in technological processes and for domestic use. The development of new hydrocarbon energy sources requires its development regardless of the existing structure of economic and social relations aimed at the use of coal, oil and natural gas. To some extent, this is becoming one of the most pressing challenges for modern engineering.

Keywords: *energy efficiency, energy dependence, energy consumption, thermodynamics, nonequilibrium processes, alternative energy sources, the prospects of modern technologies.*

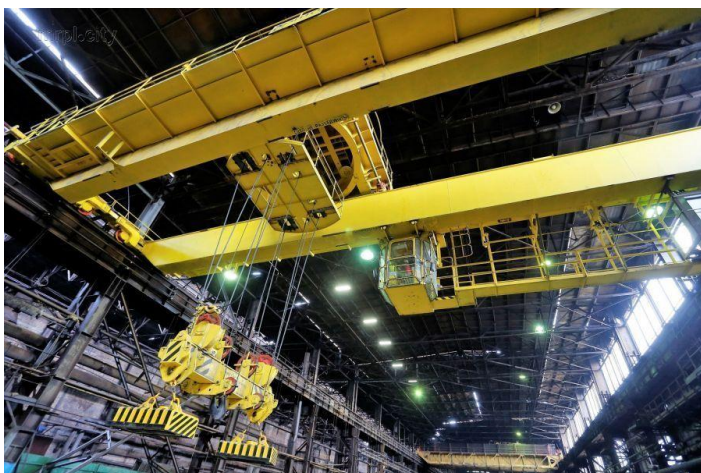
Рецензент:

Стаття надійшла

Новини України та світу

НА МАРІУПОЛЬСЬКОМУ МЕТКОМБІНАТІ МОДЕРНІЗУЮТЬ ВИРОБНИЧІ ПОТУЖНОСТІ

У листопрокатному цеху ММК імені Ілліча встановили сучасний кран для транспортування слябів. Інвестиції склали 28 млн грн. Передає Національний Промисловий Портал з посиланням на mrpl.city. Устаткування виготовили в Харкові на заводі транспортного машинобудування. Кран оснащений автоматичною системою безпеки, яка



спрацьовує при порушеннях в роботі. Техніка забезпечена вантажним візком, який передбачає використання гака, кліщів або електромагнітів. Вантажопідйомність крана становить 50 тонн. Робоче місце машиніста комфортне, звукоізоване та обладнано тепловентилятором і кондиціонером. Закупівля сучасного устаткування – невід’ємна частина розвитку підприємства. В рамках реконструкції листопрокатного цеху на ділянці сортування і відвантаження слябів до 2025 року ми замінимо ще

чотири крани. Нові крани більш ефективні, спрощують роботу співробітникам і підвищують безпеку праці, – зазначив генеральний директор ММК імені Ілліча Тарас Шевченко.

Нагадаємо, що в доменному цеху ММК ім. Ілліча Групи Метінвест в активну фазу увійшов проект реконструкції існуючих і будівництва нових газоочисних установок на третій печі. Інвестиції в проект становлять близько 20 млн доларів США.

[Http://Uprom.Info](http://Uprom.Info)

ВАЛЮТНА ВИРУЧКА ВІД ЕКСПОРТУ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ ЗРОСЛА НА 12 %



Металургійні підприємства України в січні 2019 збільшили надходження від експорту чорних металів на 12,3 % в порівнянні з аналогічним періодом 2018 року – до \$ 980 млн. Передає Національний Промисловий Портал з посиланням на дані ДФС. Протягом січня 2019-го року на чорні метали припало 24,11 % загального обсягу надходжень від експорту товарів. У грудні 2018-го року надходження від експорту чорних металів становили \$ 760,141 млн.

Україна у 2018 році збільшила надходження від експорту чорних металів на 14,7 % в порівнянні з 2017 роком – до \$ 9 млрд. 937,369 млн. При цьому на чорні метали у 2018-му році припало 20,99 % загального обсягу надходжень від експорту товарів. <http://uprom.info>

АЛЧЕВСЬКИЙ ЗАВОД МЕТАЛОПРОКАТУ ПЕРЕЇДЖАЄ НА МИКОЛАЇВЩИНУ



Завод з виробництва металопрокату «Метали і Полімери», який знаходиться на окупованій території не працює з 2014 року, тож власник підприємства буде такий самий завод в м. Первомайськ Миколаївської області. Потужність заводу становитиме 78 тис. тонн прокату з полімерним покриттям на рік. Запуск підприємства заплановано на травень цього року. Передає Національний Промисловий Портал з посиланням на Ukraine Now.

За словами директора Дениса Рисухіна, фактично йдеться про відновлення роботи алчевського заводу «Метали і Полімери» на підконтрольній Україні території. Очікується, що після запуску у травні, першу продукцію завод випустить на ринок вже 1 червня

Річна потужність підприємства 78 тис. тонн. За 2 роки плануємо вийти на максимальне завантаження. На підприємстві буде використовуватися обладнання Bpox International Ltd. (Великобританія / Австралія). Основною сировиною для нового виробництва стане оцинкований прокат з Туреччини, – сказав директор.

Обсяг інвестицій в нове підприємство не називався. Втім, будівництво заводу у 2011-му році обійшлося у \$ 40 млн <http://uprom.info>

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.**
10. **Економіка та управління підприємствами.**
11. **Екологічна безпека.**

Усі статті повинні відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України №7-05/1 від 15.01.2003. Вартість публікації однієї статті в збірнику становить 200 грн. в разі дотримання авторами таких вимог до оформлення:

- текст статті набирається на комп'ютері в текстовому редакторі MicrosoftWord (шрифт 12-й Times New Roman, 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. Рецензент:а.

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.

До перерахованих матеріалів необхідно додавати CDз текстом статті (Word 2010 або формат **.rtf**).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ CD

- експертний висновок про можливість опублікування – *файл expert.doc*;
- рецензія доктора технічних наук – *файл recenz.doc*;
- рекомендація кафедри чи організації – *файл recomend.doc*;
- відомості про авторів – *файл sved_avt.doc*;
- анотація українською, англійською та російською мовою – *файл an.doc*;
- текст статті – *файл article.doc*;

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: 87500, 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 20.02.2020 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.