

Міністерство освіти і науки
Український державний університет науки і технологій
Дніпровський державний технічний університет
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
Криворізький національний університет
Харківський національний університет радіоелектроніки
Херсонський національний технічний університет
Чорноморський державний університет імені П. Могили
Aalto University (Університет Аалто, Фінляндія)
American University of Central Asia (Бішкек, Киргизстан)
Tallinna Tehnikaülikool (Таллінн, Естонія)
AGH University of Science and Technology (Краків, Польща)
Politechnika Rzeszowska (Жешув, Польща)
Ariel University (Аріель, Ізраїль)
Michigan State University (Іст-Лансінг, США)
Leibniz Universitat Hannover, Institute of Photogrammetry and Geoinformation
(Ганновер, Німеччина)



МАТЕРІАЛИ
Міжнародної науково-технічної конференції
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В
МЕТАЛУРГІЇ та МАШИНОБУДУВАННІ

MATERIALS
of Scientific and Technical International Conference
INFORMATION TECHNOLOGY IN
METALLURGY AND MACHINE ENGINEERING

10 - квітня 2024 року

м. Дніпро

Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2024: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 10 – 11 квітня 2024 р.) / Міністерство освіти і науки України, Український державний університет науки і технологій, Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» та ін. – Дніпро: УДУНТ, 2024. – 561 с.

Друкується за рішенням вченої ради

Українського державного університету науки і технологій від 31.01.2024 р., № 6

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Голова: Величко О.Г. – член-кореспондент НАНУ, д.т.н., професор,
директор ННІ «ІПБТ» УДУНТ (Дніпро, Україна)

Заступник голови:

Гнатушенко Вік.В. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Члени оргкомітету:

Радкевич А.В. – д.т.н., професор, перший проректор УДУНТ (Дніпро, Україна)

Пройдак Ю.С. – д.т.н., професор, проректор з наукової роботи УДУНТ (Дніпро, Україна)

Камкіна Л.В. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Програмний комітет:

Алпатов А.П. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Архипов О.Є. – д.т.н., професор (Київ, Україна)

Бахрушин В.Є. – д.ф.-м.н., професор (Запоріжжя, Україна)

Бодяньський Є.В. – д.т.н., професор (Харків, Україна)

Бородяньський К. – Ph.D. (Ariel University, Israel)

Гасик М.М. – д.т.н., професор (Aalto University, Espoo, Finland)

Гуда А.І. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Гнатушенко В.В. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Гожий О.П. – д.т.н., доцент (Миколаїв, Україна)

Зеленцов Д.Г. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Зубов Д.А. – Ph.D. (American University of Central Asia, Kyrgyzstan)

Корсун В.І. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Heipke Christian – Prof. Dr.-Ing. Habil. (Leibniz Universitat Hannover,

Institute of Photogrammetry and Geoinformation Ганновер, Німеччина)

Купін А.І. – д.т.н., професор (Кривий Ріг, Україна)

Малайчук В.П. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Островська К.Ю. – к.т.н., доцент (Дніпро, Україна)

Петленков Э. – Ph.D. (Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, Estonia)

Рудакова Г.В. – д.т.н., професор (Херсон, Україна)

Светличний Д.С. – д.т.н., професор (AGH UST, Krakow MP, Poland)

Селівьорстов В.Ю. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Селівьорстова Т.В. – к.т.н., доцент (Дніпро, Україна)

Сетлак Г. – д.т.н., професор (Politechnika Rzeszowska, Rzeszow, Poland)

Скалозуб В.В. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Сладковський О.В. – д.т.н., професор (Silesian University of Technology, Gliwice, Poland)

Тарабара В.В. – Professor, Dr.-Ing. (Michigan State University, USA)

Тогобицька Д.М. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Шинкаренко В.І. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

У збірник включені тези доповідей, які були представлені на Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні – ITMM'2024».

Режим доступу: <https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/itmm>

СЕКЦІЯ 1

**СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І СИНТЕЗ
ПРОЦЕСІВ У МЕТАЛУРГІЇ ТА МАШИНОБУДУВАННІ**

SECTION 1

**SYSTEM ANALYSIS AND SYNTHESIS
OF PROCESSES IN METALLURGY AND MACHINE-BUILDING**

ДІАГНОСТИЧНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ МЕХАНІЗМУ КОЛИВАНЬ КРИСТАЛІЗАТОРУ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК

Мазур І.А., Волох В. І.

Український державний університет науки та технологій, м. Дніпро Україна

Анотація. *Діагностичні пристрої для контролю коливального механізму кристалізатора дозволяють підвищити стабільність розливання сталі на МБЛЗ. Амплітуда коливань кристалізатора виражається як сума гармонійних коливань з різними частотами і описується перетворенням Фур'є. Знос гільз кристалізатора відбувається в нижній частині. Постійний діагностичний контроль за станом механізму хитання кристалізатора збільшить довговічність мідних гільз. Надано рекомендації щодо підвищення довговічності мідних гільз.*

Ключові слова: *діагностичний прилад, коливання рівня, МБЛЗ, амплітуда, кристалізатор, мідні гільзи, датчик руху, хромоване покриття.*

Вступ

Механізм хитання кристалізатора призначений для передачі кристалізатору зворотно-поступального руху фіксованої траєкторії. Відхилення тих, чи інших, параметрів механізму хитання кристалізатору (МХК) призводить до спотворення форми кривої і, як наслідок, деформації оболонки злитка [1].

Визначено, що більшість існуючих методів і засобів діагностики МХК засновані на контролі зусилля витягування злитка і прогнозуванні можливості прориву в робочому циклі руху кристалізатора, однак вони не дозволяють контролювати якість формованої траєкторії руху кристалізатора, а також ідентифікувати і виробляти якісну оцінку дефектів в налаштуванні і роботі МХК [1]. У зв'язку з цим поставлено завдання вдосконалення існуючих методів контролю МХК, шляхом вирішення задачі контролю стану підшипникових вузлів і якості формованої МХК траєкторії руху кристалізатора за допомогою діагностичного приладу SIMETAL OsciChecker (рис.1).

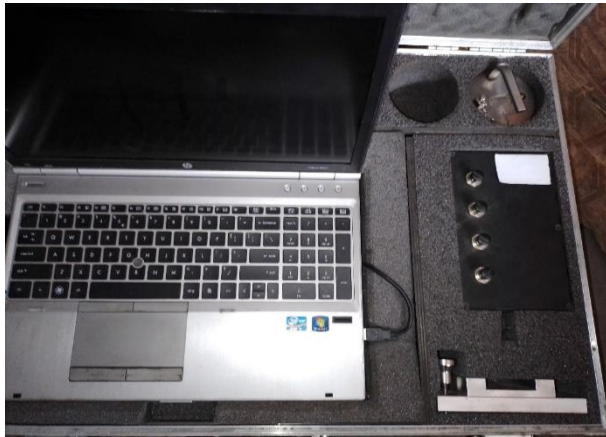


Рисунок 1 - Діагностичний прилад SIMETAL OsciChecker для налаштування механізму хитання кристалізатору.

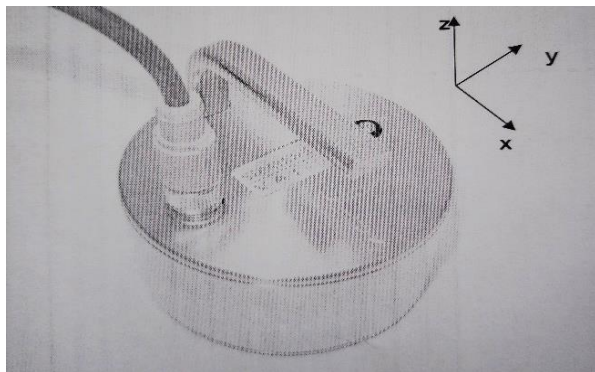


Рисунок 2 - Датчик контролю рухів кристалізатору

Результати дослідження

Встановлено, що при відсутності дефектів в механізмі хитання кристалізатора, траєкторія руху згаданої точки перетину нормалі описується практично правильною синусоїдальною залежністю, а положення середньої лінії синусоїди в процесі експлуатації механізму хитання кристалізатора зберігає незмінне значення[2]. При появі люфтів в вузлах сполучення важелів, невірному налаштування або зміщенні опор механізму хитання кристалізатора відбувається зміна положення середньої лінії траєкторії руху точки перетину заданої нормалі за повний період

повороту валу приводу механізму хитання кристалізатора.

У якості детектору використовується датчик осі, який встановлюється на поверхню кристалізатора та фіксує його рух у трьох проекціях(див. рис.2).

Принцип вимірювання: значення прискорень для напрямку коливань кристалізатора машини безперервного лиття заготовок реєструється в кожному просторовому напрямку за допомогою 3-осьового датчика прискорень. Сигнал прискорення поділяється на основні коливальні рухи аналізом коливань (швидке перетворення Фур'є). Відповідне значення швидкості та відстані визначається інтеграцією або зворотним перетворенням Фур'є після необхідної фільтрації.

Основною причиною появи тріщин на поверхні злитку, є порушення в роботі МХК, пов'язані, в першу чергу, з дією невірноважених навантажень,

дефектів в налаштуванні і зазорів в підшипникових вузлах, роботі гідроциліндрів, осьовим перекосам при хитанні, що особливо впливає на знос мідної гільзи кристалізатору.

Для опису хитання кристалізатора за допомогою перетворення Фур'є можна скористатися аналізом коливань, який відображає сигнал прискорення у частотному просторі. Після виконання швидкого перетворення Фур'є отримуємо спектр частот, де кожен пік відповідає певній частоті коливань.

Хитання кристалізатора можна описати за допомогою амплітудного спектру коливань. Нехай $A(f)$ буде амплітудою спектру коливань, де f – частота. Тоді хитання кристалізатора може бути виражено як сума гармонічних коливань з різними частотами:

$$x(t) = \sum_f A(f) \times \sin(2\pi ft + \phi(f)) \quad (1)$$

де $x(t)$ – функція хитання кристалізатора в часовому домені;

$\phi(f)$ – фазовий кут для кожної частоти f .

Отже, формула хитання кристалізатора визначається амплітудним спектром коливань $A(f)$, який можна отримати за допомогою швидкого перетворення Фур'є від сигналу прискорення.

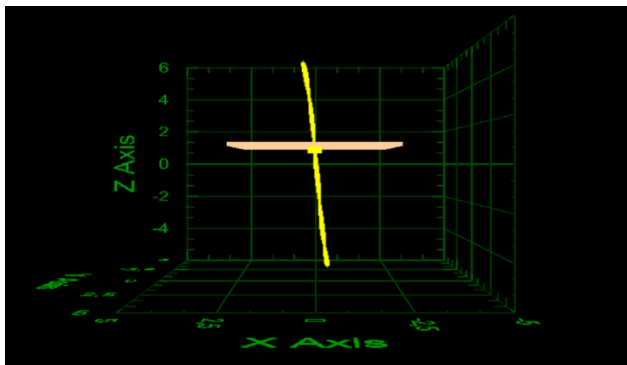


Рисунок 3 - Коливання кристалізатору у трьох вимірному просторі.

На рис.3 показано, що коливання у осях Z та X відбувається з незначним відхиленням від вертикальної вісі. Відхилення складає до 1,5 мм.

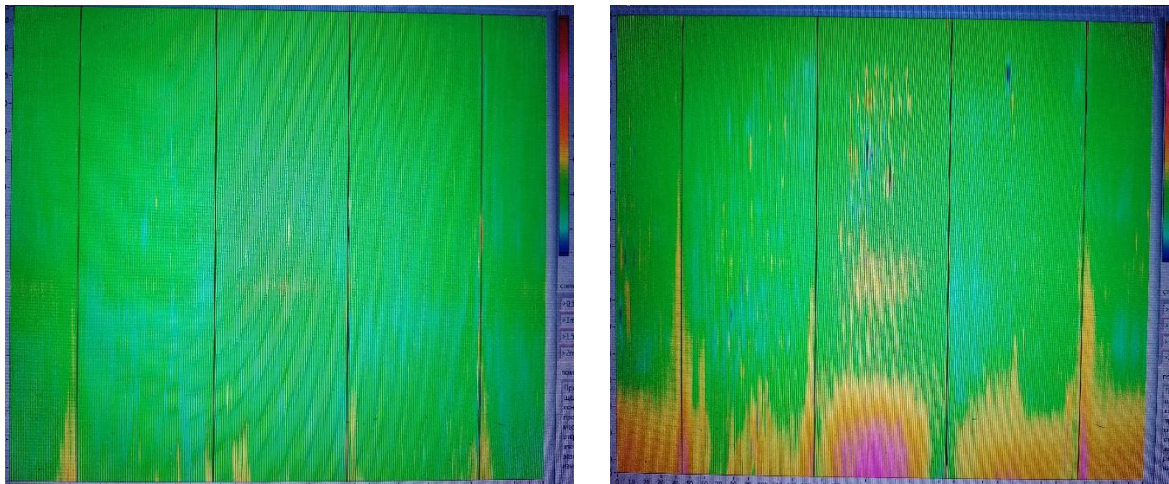
Налаштування механізму хитання відбувається за допомогою двох шпильок з фіксуючими контро гайками та настроюванням пружинного блоку з другої сторони.

Напрацювання роботи кристалізаторів, а саме мідної гільзи складає від 270 до 350 плавов. Знос мідної гільзи відбувається, у нижній частині яка формує оболонку заготовки. Підвищення швидкості розливання призводить до формування підвищеного теплового потоку, що призводить до деформації гільзи. Розливка сталі перерізом 130x130 мм призводить до посиленого зносу

гільзи, що обумовлено підвищеними швидкостями розливки. Також до зносу гільзи проводить розливка сталі з високовуглицевих марок сталей що призводить до посиленого зносу хромистого покриття з внутрішніх стінок мідної гільзи, яке при цьому товщина покриття складає від 150 до 200 мкм.

На рис.4 відображені гістрограми до встановлення у кристалізатор та після відпрацювання. На рис.4 (б) відображено, що нижній частині гільзи відбувся знос її до недопустимих параметрів до 10-20 мкм. При зносу хромового покриття, відбувається посилений знос мідної стінки гільзи, що відображено розовим кольором у нижній частині рисунка.

Характер зносу і деформації поверхні в сортових кристалізаторах залежить від конструкції гільзи і умов її охолодження.



а) до зносу стінки гільзи

б) після зносу стінки гільзи

Рисунок 4 - Гістрограми внутрішніх стінок мідної гільзи

Підвищення швидкості розливання інтенсифікує тепловий потік і збільшує деформацію профілю гільзи. У цих умовах не тільки прискорюються процеси зносу, але і можуть проявлятися дефекти виготовлення гільзи, нанесення покриття, які не виявляються при низьких швидкостях розливання [3]. Дослідження та узагальнення даних з руйнування гільз кристалізаторів в умовах інтенсивної експлуатації дозволять вибрати оптимальні технології їх виготовлення, а також впроваджувати на виробництві нові методи діагностування гільз з розробкою методичних вказівок.

Висновок. Таким чином, можна зробити висновок, що при дотриманні технології, можна значно підвищити ресурс гільз. Постійне діагностування

обладнання та моніторинг коливань рівня металу у кристалізаторі дозволить підвищити стійкість гільз. Крім технологічного процесу, велику роль відіграє персонал, від недбалості якого також залежить термін служби гільз.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гільзові кристалізатори високошвидкісних сортових МНЛЗ / В.Б.Ганкін, Б.А.Співак, Г.І.Ніколаєв та ін. *Важке машинобудування*. 1997. № 5. С. 19–22.
2. Взаємодія злитка з кристалізатором при безперервному розливі тонких слябів / В.Л.Данілов, С.В.Зарубин, Б.А.Сивак та ін. *Вісники вищих навчальних закладів. Чорна металургія*. 1997. № 6. С. 11–13.
3. Лисенко Т.В., Васильєв Д.С., Смирнов О.С. Знос гільзи кристалізатору в процесі експлуатації на виробництві. *Метал та лиття України*. 2021. №3. Вип. 326. С. 44–49.

DIAGNOSTIC METHOD OF CONTROLLING THE OSCILLATION MECHANISM OF THE CRYSTALLISER OF THE CONTINUOUS CASTING BARREL MACHINE

Ihor Mazur, Vitaly Volokh

Abstract. *Diagnostic devices for monitoring the oscillation mechanism of the mold can increase the stability of steel casting on a continuous caster. The amplitude of crystallizer oscillations is expressed as a sum of harmonic oscillations with different frequencies and is described by the Fourier transform. Wear of the crystallizer sleeves occurs in the lower part. Constant diagnostic monitoring of the state of the crystallizer swing mechanism will increase the durability of copper sleeves. Recommendations for increasing the durability of copper sleeves are provided.*

Keywords: *diagnostic device, level fluctuations, MBLZ, amplitude, crystallizer, copper sleeves, motion sensor, chrome coating*

REFERENCES

1. Sleeve crystallizers of high-speed grade MNLZ V. B. Hankin, B. A. Spivak, G. I. Nikolaev. etc.. *Heavy engineering*. 1997. no. 5. pp. 19–22.
2. Danilov V.L., Zarubyn S.V., Sivak B.A. etc. Interaction of the ingot with the crystallizer during continuous casting of thin slabs. *Bulletins of higher educational institutions. Ferrous metallurgy*. 1997. no. 6. pp. 11–13.
3. Lysenko T.V., Vasiliev D.S., Smirnov O.S., Wear of the crystallizer sleeve during operation at the factory. / *Metal and casting of Ukraine*. 202.1 no. 3(326.) pp. 44–49.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ДОСЯГНЕННЯ ХІМІЧНОЇ ПОДОБИ ПРИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Голуб Т. С., Молчанов Л.С., Семикін С. І.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ

Анотація. *Дослідження хімічного обміну речовин між фазами є надзвичайно важливим питанням для металургійних систем. Водночас для якісного моделювання цього процесу необхідно забезпечити подібність моделей, тобто актуальним стає певний критерій хімічної подібності, який забезпечить адекватність моделювання.*

Для досягнення хімічної подібності можна використовувати різні критерії, вибір яких залежить від важливості того чи іншого аспекту, що впливає на реальну хімічну реакцію. Можливість використання подібності енергій Гіббса як індикатора можливості реакції при температурах металургійних процесів і подібності початкових концентрацій була запропонована і досліджена в роботі при високотемпературному моделюванні окиснення кремнію з чавуну. Також було обов'язковим використання модифікованого критерію Фруда. Завдяки запропонованому методу подібного моделювання в якості модельного середовища обрано латунь з масовою часткою цинку 1%, яка має нижчу температуру плавлення, ніж чавун, тобто потребує менших витрат на моделювання. Порівняння отриманих результатів з результатами продувки в аналогічних умовах чавуну показало близькість отриманих даних, що свідчить про доцільність запропонованого способу.

Ключові слова: *високотемпературне моделювання, кисневе конвертування, верхня продувка, процеси окиснення, хімічна подоба*

Перенесення хімічних речовин між фазами вкрай важливий показник для металургійних систем. На практиці він визначається, за звичай, як час досягнення однорідності в системі або, як час перенесення речовини з однієї фази в іншу. При цьому змодельовати протікання хімічної реакції можливо двома шляхами: або високотемпературним моделюванням з використанням як модельних рідин реальних розплавів металів і шлаків (в цьому випадку моделювання зводиться до повноцінного повторення питомої реакції проте в менших об'ємах), або замінити питому реакцію на модельну, тобто іншу, яка може бути схожою. У всіх випадках необхідно забезпечення подібності моделей. У першому випадку така подібність пов'язана з подібністю

геометричною та гідродинамічною. А у другому випадку ще й важливим стає певний критерій хімічної подоби, який забезпечить адекватність моделювання.

Дослідження по досягненню однорідної системи проводиться з метою визначення можливості перемішування розчинних не реагуючих між собою речовин, перенесення яких не впливає на потоки рідини розчинника [1]. Це можливо у випадку, коли на процес, що моделюється, значний вплив здійснює макроперемішування, а не молекулярна дифузія [2]. У зазначеному випадку можливо використовувати будь-який розчинний трасер. Нерозчинні трасери можуть змінювати реальну картину за рахунок дії сил виштовхування чи гравітації.

Моделювання фізико-хімічних гетерогенних процесів – значно складніша задача. У такому випадку приймають відповідність коефіцієнту масопереносу – критерію Шервуда, який є функцією критерію Рейнольдса та Шмідта

$$Sh = f(Re, Sc) \quad (1)$$

Проте, при виконанні експериментальних досліджень, важко підібрати такі модельні речовини, щоб вони повністю відповідали обраним критеріям, й вказана функція є невідомою для системи, тому для фізичного моделювання обирають макроскопічну подоби реакції для якої зумовлені співвідношенням якихось показників [3, 4]. У зазначеному випадку отримані результати моделювання носять якісний характер і немає можливості їх перенесення на промисловий агрегат у повній мірі.

Також є ряд дослідників, які використовують критерій Дамкелера [5-9] для моделювання хімічних процесів:

$$Da = kC_0^{n-1}t \quad (2)$$

або

$$Da = \frac{kC_0^n(dH)l}{\rho C_p T_v} \quad (3)$$

де k – константа швидкості реакції;

C – концентрація речовини, [кг/м³];

t – час, [с];

dH – тепловий ефект хімічної реакції, [Дж/моль];

C_p – теплоємність при постійному тиску, [Дж/моль К];

T – температура, [К], l -характеристична довжина, м.

Для процесів, що відбуваються у реальних металургійних агрегатах характерно досить високі температури (1500 °С і вище), а як відомо, питома теплоємність та густина металевих речовин залежать від температури; константа швидкості протікання реакцій обумовлюється інтенсивністю підведення окислювача, тобто конструкцією продувного пристрою й фізичними показниками рідини (поверхневим натягом та густиною), подібність яких вже враховуються іншими критеріями, такими як Фруда модифікований, який є обов'язковим при моделюванні. Окрім того протікання певних реакцій окиснення в металургійному агрегаті підпорядковано термодинамічним показникам, таким як вільна енергія Гіббса. Тому можна зробити висновок, що критерій Дамкелера досить складно використовувати при моделюванні металургійних реакцій. У якості більш доступного варіанту для проведення дослідження було обрано подібність показника енергії Гіббса реакцій та однакова початкова концентрація речовин.

Для перевірки зазначеного твердження було проведено дослідження процесу окислення кремнію шляхом моделювання на 60 кг високотемпературній моделі конвертера шляхом продування реального чавуну киснем, так і заміна менш високотемпературним процесом – продуванням киснем сплаву системи $Cu - Zn$, яка має температуру плавлення до 1000 °С. Агрегатний стан вихідних компонентів та продуктів реакції відповідав подібності агрегатного стану компонентів чавуну. Латунь була обрана після аналізу термодинамічних показників процесів окислення домішок чавуну та металів у відомих металевих системах й встановлено, що з точки зору окислення у реальних умовах рідкого чавуну із домішками, що містить C , Si та Mn , співвідношенню енергій Гіббса окислення, наприклад, Si та Fe відповідають співвідношення енергій Гіббса окислення Zn та Cu (див. рисунок 1). Крім того вихідні компоненти та продукти реакції для процесів окислення кремнію у складі чавуну та цинку, складі латуні подібні. Тому в проведеному моделюванні процес окислення кремнію у складі чавуну

вивчали на моделі процесу окислення цинку у складі сплаву системи $Cu - Zn$, що було доведено до 1% вмісту цинку задля забезпечення подібності вмісту цього компоненту. Продувку здійснювали у лабораторній установці за умов продувки крізь циліндричне сопло з діаметром $3,2 \times 10^{-3} \text{ м}$.

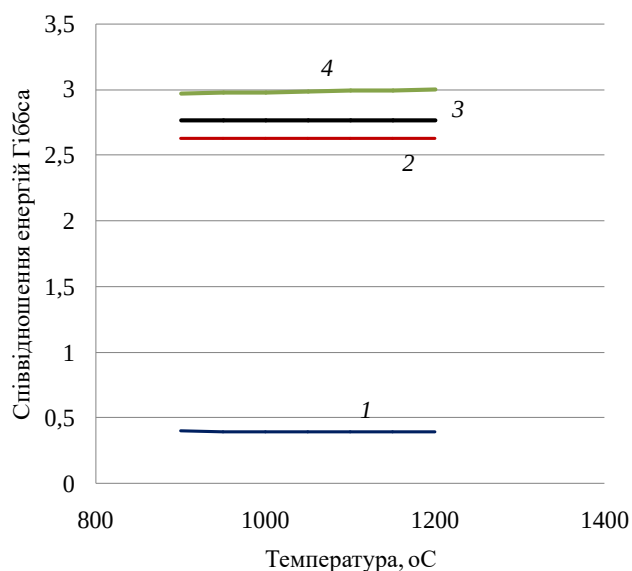


Рисунок 1 – Зіставлення співвідношень енергій Гіббса реакцій окислення:

1 – вуглецю до заліза; 2 – марганцю до заліза,
3- кремнію до заліза; 4- цинку до купруму

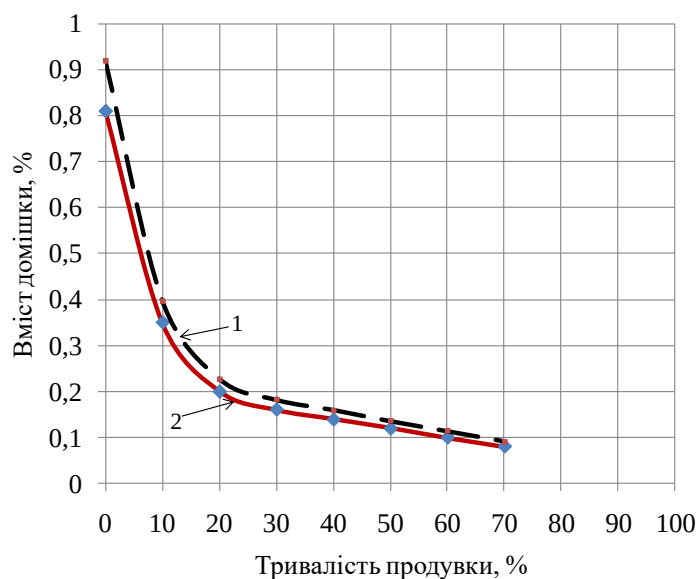


Рисунок 2 – Зміна вмісту домішок у чавуні за ходом продувки крізь одно соплову фурму діаметром сопла $3,5 \times 10^{-3} \text{ м}$ [10] та при моделюванні на латуні з аналогічною продувною фурмою, 1- окислення кремнію у чавуні при продувці крізь сопло $3,5 \times 10^{-3} \text{ м}$, 2 - окислення цинку при продувці крізь циліндричне сопло діаметром $3,2 \times 10^{-3} \text{ м}$

Отримані результати порівнювали із наявними даними продувки чавуну у моделі кисневого конвертера крізь одно соплову фурму із діаметром сопла $3,5 \times 10^{-3}$ м [10]. Встановлено, що крива зміни концентрації цинку у системі Cu-Zn (1% Zn) при використанні циліндричного сопла $3,2 \times 10^{-3}$ м є близькою до кривої окислення кремнію у складі чавуну при продуванні крізь односоплову фурму із діаметром $3,5 \times 10^{-3}$ м, що підтверджує доцільність обраного модельного параметру.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fox R.O. Computational models for turbulent reacting flows. Cambridge University Press. -2003. 438. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610103>
2. Taylor R., Krishna R. Multicomponent mass transfer I. Theory. John Wiley.- 1993.616 p. ISBN: 978-0-471-57417-0
3. Kim S-H. Physical modeling of liquid/liquid mass transfer in gas stired ladles/ S-H Kim, R.J. Fruehan // Metall Trans. B Jun.-1987. Vol.18(2). P. 381-390
4. The criteria of chemical similarity revisited /V.D. Barsky, A.V. Kravchenko, V.M. Gulyaev, D.V. Jakovlev-Barsky// Математичне моделювання .- 2018. Vol.1(40). P. 130-138
5. Закгейм А. Ю. Загальна хімічна технологія: введення у моделювання хіміко-технологічних процесів: навч. посібник / А. Ю. Закгейм. Логос.- 2009. 303с.
6. Яковлев Ю. М. Фізико-хімічна подоба металургійних процесів / Ю.М. Яковлев, Л.В. Камкіна// Збірник наукових праць Державної металургійної академії України "Сучасні проблеми металургії". -1999. №1. С. 90-100.
7. Rehage Hendrik The first Damköhler number and its importance for characterizing the influence of mixing on competitive chemical reactions/Rehage Hendrik , Kind Matthias// Chemical Engineering Science.- 2021. Vol.16. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116007>
8. A Novel Methodology for Chemical Time Scale Evaluation with Detailed Chemical Reaction Kinetics / Benjamin J. Isaac, Alessandro Parente, Chiara Galletti, Jeremy N. Thornock// Energy Fuels. -2013. Vol.27(4). P. 2255–2265. <https://doi.org/10.1021/ef301961x>
9. Пінчук С. І. Організація експерименту при моделюванні та оптимізації технічних систем / С.І. Пінчук – Учбовий посібник, Дніпропетровськ, Вид. «Дива».- 2008. 248 с.
10. Зміна складу металу та шлаку при продуванні чавуну з різним вмістом кремнію та марганцю / Є.Я. Зарвін, А.Л. Ніколаєв, М.І. Волошин// Известия ВУЗов. Чорна металлургия.-1970.№2.С. 47-52

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF ACHIEVING CHEMICAL SIMILARITY DURING HIGH-TEMPERATURE MODELING OF METALLURGICAL PROCESSES

Golub Tetiana, Molchanov Lavr, Semykin Sergiy

Abstract. *Transfer of chemicals between phases is an extremely important indicator for metallurgical systems. At the same time, for high-quality modeling, it is necessary to*

ensure the similarity of the models, that is, a certain criterion of chemical similarity, which will ensure the adequacy of the modeling, becomes relevant.

Different criteria can be used to achieve chemical similarity, the choice of which depends on the importance of one or another aspect that affects the actual chemical reaction. The possibility of using the similarity of Gibbs energies as an indicator of the possibility of the reaction at the temperatures of metallurgical processes and the similarity of the initial concentrations was proposed and studied in the work during high-temperature modeling of the oxidation of silicon from hot metal. It was also mandatory to use the modified Froude criterion. Due to the proposed method of similitude modeling, brass with a mass fraction of zinc of 1%, which has a lower melting point than cast iron, was chosen as a model environment, that is, it requires less modeling costs. Comparison of the obtained results with the results of purging in similar conditions of hot metal showed the closeness of the data, which indicates the feasibility of the proposed method.

Keywords: *high-temperature simulation, oxygen converter process, top blowing, oxidation processes, chemical similarity*

REFERENCE

1. Fox R.O. Computational models for turbulent reacting flows. *Cambridge University Press.* - 2003. 438. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610103>
2. Taylor R., Krishna R. Multicomponent mass transfer I. Theory. John Wiley.- 1993.616 p. ISBN: 978-0-471-57417-0
3. Kim S-H. Physical modeling of liquid/liquid mass transfer in gas stired ladles/ S-H Kim, R.J. Fruehan // *Metall Trans. B Jun.*-1987. Vol.18(2). P. 381-390
4. The criteria of chemical similarity revisited /V.D. Barsky, A.V. Kravchenko, V.M. Gulyaev, D.V. Jakovlev-Barsky// *Mathematical modeling.*- 2018. Vol.1(40). P. 130-138
5. Zakgeym A. Yu. General chemical technology: introduction to the modeling of chemical technological processes: textbook./A. Yu. Zakgeym. Logos.- 2009. 303p. [in Russian]
6. Yakovlev Yu. N. Physical-chemical similarity of metallurgical processes / Yu. N. Yakovlev, L.V. Kamkina// *Collection of scientific works of the State Metallurgical Academy of Ukraine "Modern problems of metallurgy".* -1999. №.1. C. 90-100. [in Russian]
7. Rehage Hendrik The first Damköhler number and its importance for characterizing the influence of mixing on competitive chemical reactions/ Rehage Hendrik , Kind Matthias// *Chemical Engineering Science.*- 2021. Vol.16. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116007>
8. A Novel Methodology for Chemical Time Scale Evaluation with Detailed Chemical Reaction Kinetics / Benjamin J. Isaac, Alessandro Parente, Chiara Galletti, Jeremy N. Thornock// *Energy Fuels.* -2013. Vol.27(4). P. 2255–2265. <https://doi.org/10.1021/ef301961x>
9. Pinchuk S. I. Organization of an experiment in modeling and optimization of technical systems / S.I. Pinchuk – Textbook, Dnepropetrovsk, Ed. "Diva".-2008. 248 p. [in Russian]
10. Changes in the composition of metal and slag when blowing cast iron with different contents of silicon and manganese / E.Ya. Zarvin, A.L. Nikolaev, M.I. Voloshin // *News of Universities. Ferrous metallurgy.*-1970. №2. P. 47-52. [in Russian]

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ МЕТОДАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Гречаний О.М., Васильченко Т.О., Виприжкін П.О., Якимчук Д.

Запорізький національний університет, Україна

Анотація. *Зношеність основних виробничих засобів підприємств металургійного комплексу потребує не тільки оновлення, а й постійної модернізації морально застарілого обладнання в умовах діючого виробництва. До основного обладнання поточкових ліній широкоштабових прокатних станів відносяться моталки, від якісної роботи яких залежить як ритмічність роботи прокатного обладнання, так і якість відвантаженого матеріалу споживачеві. Імітаційне моделювання процесу намотки гарячекатаної штаби дозволило встановити можливість виникнення в приводі барабана моталки крутильних коливань. Подальший аналіз форми виникаючих коливань дозволить створити передумови для дослідження вимушених коливань, що виникають в приводі барабана моталки та визначити найбільш несприятливий технологічний режим з точки зору динамічних складових навантажень.*

Ключові слова: *моталка, штаба, імітаційне моделювання, пружні деформації, вільні коливання*

Вступ. Більшість обладнання металургійного комплексу України сконструювано та запущено у виробництво у другій половині минулого сторіччя [1-2]. Тому перед конструкторами-механіками гостро постає питання модернізації існуючого обладнання, з акцентом на розробку достатньо надійної конструкції, яка може забезпечити швидке та легке регулювання під час перетікання технологічного процесу [3,4].

В умовах невизначеності під час воєнного стану в країні досить важко провести натурні експерименти, які б дозволили підтвердити або спростувати ті чи інші аспекти технологічного процесу, тому набуває актуальності використання імітаційного моделювання та експерименту при конструюванні металургійного обладнання [5].

Імітаційне моделювання дозволяє досліджувану модель замінювати математичною і над нею вже проводити дослідження шляхом статистичного моделювання чисельними методами в спеціалізованих програмах обчислювальних експериментів [6].

Основний матеріал. Враховуючи важливість технологічного процесу намотування гарячекатаної штаби, метою дослідження була розробка імітаційної моделі намотування штаби в рулон в залежності від зміни технологічних параметрів, для подальшого її використання в умовах діючого виробництва з метою оптимізації не тільки технологічного циклу, а й при модернізації конструктивних елементів технологічного оснащення.

Характер руху барабана моталки при намотуванні гарячекатаної штаби – обертальний, тобто динамічні процеси при цьому, будуть характеризуватися моментом інерції.

Зосереджені маси, які при обертovому русі в різні моменти часу, або випереджають або відстають по відношенню одна до одної, створюють крутні коливання. З точки зору міцності вузлів машини це може бути дуже небезпечно, тому що при цьому явищі моменти сил пружності можуть значно перевищувати розрахункові навантаження., особливо якщо додається циклічність технологічних навантажень [7].

При складанні розрахункової схеми для розрахунку на коливання багатомасової системи варто враховувати, що чим більше елементів в системі тим складніше розрахунок, тому варто переходити від багатомасових до двомасових розрахункових схем (рисунок 1) [8].

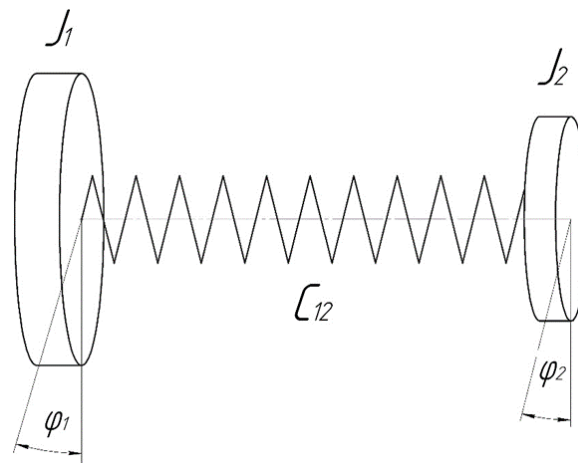


Рисунок 1 – Схема до розрахунку вільних коливань, що виникають в приводі моталки гарячекатаної штаби: J_1 – момент інерції рулону з барабаном моталки, J_2 – момент інерції якоря електродвигуна привода,
 C_{12} – приведена жорсткість промвалу

Задачею розрахунків на коливання є знаходження, в першу чергу, спектра власних частот і форми коливань, для знаходження яких у випадку механічних систем з обмеженою кількістю степенів вільності застосовують рівняння руху Лагранжа другого роду [8].

Після необхідних перетворень рівнянь руху отримуємо формули для визначення відповідно спектра власних частот (1) і форми коливань (2) для розрахункової схеми рис.1:

$$p^2 = \frac{C_0(j_1 + j_2)}{j_1 j_2} \quad (1)$$

або

$$p = \sqrt{\frac{C_0(j_1 + j_2)}{j_1 \times j_2}} \quad (2)$$

$$\mu = \frac{C_0 - j_1 p^2}{C_0} \quad (3)$$

де $C_0 = C_{12}$ – приведена жорсткість проміжного вала:

$$C_{12} = \frac{\pi \times G \times d^4}{64 \times g \times l} \quad (4)$$

де l – довжина проміжного вала;

G – модуль пружності другого роду;

d – діаметр валу;

g – прискорення вільного падіння.

Далі знаходимо амплітуду коливань:

$$A_1 = \frac{\omega}{p(1 - \mu)} \quad (5)$$

де ω – кутова швидкість барабана;

Коли відома частота, амплітуда і форма коливань, можна визначити пружні деформації, що виникають в процесі намотування штаби, у функції часу, а використовуючи відомі параметри технологічного процесу будуюмо графіки вільних коливань, що виникають в приводі моталки гарячекатаної штаби

Висновки. Аналіз побудованих графіків вільних коливань, що виникають в приводі моталки під час технологічного процесу намотування штаби, дозволяє зробити висновок, про синхронізацію пружних деформацій від сил

опору електродвигуна та обертових частин барабана моталки, а отже дає конструкторам уявлення про можливість виникнення резонансних коливань, та розробки заходів, щодо їхнього уникнення. Отримані результати створюють передумови для дослідження вимушених коливань, що виникають в приводі барабана моталки та дозволить визначити найбільш несприятливий технологічний режим з точки зору динамічних складових навантажень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Shapurov O. O. Research methods for production & business activity of machine-building enterprises. Actual Problems of Economics. 2009. No. 7. P. 168–174.
2. Shapurov O. O. State and trends of machine-building development. Actual Problems of Economics. 2009. No. 3. P. 57–63.
3. Гречаний О. М. Обґрунтування вибору технічних параметрів гільйотинних ножиць прокатного стану. *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії*. 2017. Т. 38, № 2. С. 126–130.
4. Використання частотних моделей в технічній діагностиці несправностей металургійного обладнання / О. Гречаний та ін. *Металургія*. 2019. № 1. С. 95–100.
5. Мурашко В., Кулік Д., Гречаний О. М. Перспектива використання імітаційного моделювання при конструюванні металургійного обладнання. *Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2023» Запоріжжя: ЗНУ, 2023. Т. 5 С. 363-365.*
6. Неруш В. Б., Курдеча В. В. Імітаційне моделювання систем та процесів: електронне навчальне видання : конспект лекцій. К. : НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. 115 с.
7. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Малишев Г. П. Основи наукових досліджень. Книга 1. Теоретичні дослідження : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 195 с.
8. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 1996. 145 с.

RESEARCH WORKS OF METALLURGICAL EQUIPMENT USING SIMULATION METHODS

Hrechanyi Oleksii, Vasilchenko Tetyana, Vypryzhkin Pavlo, Yakymchuk Denys

Abstract. *The wear and tear of the main production facilities of enterprises of the metallurgical complex requires not only renewal, but also constant modernization of morally outdated equipment in the conditions of active production. The main equipment of the flow lines of wide-scale rolling mills include winders, the quality of which depends on both the rhythm of the rolling equipment and the quality of the material shipped to the consumer. Simulation modeling of the winding process of the hot-rolled staff made it possible to establish the possibility of torsional oscillations in the winding drum drive. Further analysis of the form of the resulting oscillations will allow to create prerequisites*

for the study of forced oscillations occurring in the winding drum drive and to determine the most unfavorable technological mode from the point of view of dynamic component loads.

Keywords: *coiler, strip, simulation modeling, elastic deformations, free oscillations*

REFERENCE

1. Shapurov O. O. Research methods for production & business activity of machine-building enterprises. Actual Problems of Economics. 2009. No. 7. P. 168–174.
2. Shapurov O. O. State and trends of machine-building development. Actual Problems of Economics. 2009. No. 3. P. 57–63.
3. Hrechanyi O. M. Rationale for the choice of technical parameters of guillotine shears rolling mill. *Metallurgy: scientific works of the Zaporizhia State Engineering Academy*. 2017. Vol. 38, no. 2. P. 126–130.
4. Vykorystannya chastotnykh modeley v tekhnichniy diahnostytsi nespravnostey metalurhiynoho obladnannya / O. Hrechanyi ta in. *Metalurhiya*. 2019. № 1. С. 95–100.
5. Murashko V., Kulik D., Hrechanyy O. M. Perspektyva vykorystannya imitatsiynoho modelyuvannya pry konstruyuvanni metalurhiynoho obladnannya. Zbirnyk naukovykh prats' studentiv, aspirantiv, doktorantiv i molodykh vchenykh «MOLODA NAUKA-2023» Zaporizhzhia: ZNU, 2023. Vol. 5 С. 363-365.
6. Nerush V. B., Kurdecha V. V. Imitatsiynе modelyuvannya system ta protsesiv: elektronne navchal'ne vydannya : konspekt lektsiy. K.: NN ITS NTUU "KPI", 2012. 115 с.
7. Zhuk A. YA., Zhelyabina N. K., Malyshev H. P. Osnovy naukovykh doslidzhen'. Knyha 1. Teoretychni doslidzhennya : navch. posib. Zaporizhzhia: ZDIA, 2008. 195 с.
8. Zhuk A. YA., Zhelyabina N. K. Osnovy rozrakhunkiv pryvodiv mashyn : navch. posib. Zaporizhzhia: ZDIA, 1996. 145 с.

ПРО ОСЕРЕДКИ ЗАРОДЖЕННЯ КОРОЗІЇ В СТАЛЯХ, ЩО ПІДДАНІ ЛАЗЕРНІЙ ДІЇ

Губенко С.І.

*Інститут чорної металургії НАН України, УДУНТ: Придніпровська державна
академія будівництва та архітектури, м. Дніпро, Україна*

Анотація. Досліджено вплив лазерної дії на зародження та розвиток корозійних пошкоджень у сталях поблизу неметалевих включень. Встановлено, що лазерна обробка підвищує корозійну стійкість в умовах малоциклової втоми сталей, які містять різні включення. Показано, що вплив лазерної обробки на підвищення опору сталей до утворення корозійних пошкоджень пов'язаний зі зміною стану міжфазних границь включення-матриця, що сприяє зниженню їх проникності для корозійних елементів і підвищенню когезійної міцності цих границь в активних середовищах.

Ключові слова: Сталь, неметалеві включення, лазерна обробка, корозія, межі включення-матриця, малоциклова довговічність.

Вступ. Дослідження різних виробів та деталей, зокрема деталей конструкцій, залізничних коліс тощо показало, що корозійне руйнування є серйозною проблемою та суттєво впливає на надійність та довговічність цих виробів при експлуатації [1]. Відомо, що корозійні пошкодження часто виникають поблизу неметалевих включень [1–3]. Відомо, що лазерний вплив сприяє підвищенню корозійної стійкості сталей і сплавів, проте не досліджено впливу неметалевих включень на зазначене явище. Метою роботи було вивчення впливу лазерної обробки на зародження корозійних ушкоджень поблизу неметалевих включень за впливу активних середовищ.

Матеріали та методики. Дослідження проводили на спеціально отриманих плавках низьковуглецевої листової сталі 08 та колісної сталі R7, що були програмно забруднені різними типами неметалевих включень: для сталі 08 та R7 відповідно пл. 1 і 5 - сульфід (Fe, Mn)S, FeS-MnS, пл. 2 та 6 – корунд, шпінель Al_2O_3 , $MnO \cdot Al_2O_3$, пл. 3 та 7 – силікати SiO_2 , $MnO \cdot SiO_2$, $FeO \cdot SiO_2$, пл. 4 та 8 – TiCN [1–3]. При випробуваннях застосовували середовища: 1 - повітря, 2 - 5% водний розчин NaCl, 3 - 1% водний розчин H_2SO_4 . Частину зразків перед корозійними випробуваннями піддавали лазерній обробці на установці

"Квант-16" ($W_{\text{имп}}$ 25 Дж, час дії $3 \cdot 10^{-3}$ с). Використовували металографічний (Неофот-21) та петрографічний методи досліджень [1-3].

Результати досліджень та їх обговорення. Під час випробувань на повітрі на малоциклову втому сталей, спостерігається вплив типу неметалевих включень на їх втомні характеристики (табл. 1). Корозійне середовище призвело до істотного зниження довговічності сталей за малоциклової втоми N за наявності неметалевих включень. У міру збільшення довговічності сталей дослідні плавки вишикувалися в зростаючий ряд: найнижча величина N у сталей, забруднених сульфідами (пл. 1,5), потім вона збільшується за наявності відповідно корунду та шпінелей (пл. 2, 6), силікатів (пл. 3,7) і, нарешті, карбонітридів титану (пл. 4, 8). Крім того, визначені коефіцієнти впливу середовища β_c , що становлять відношення довговічності колісної сталі на повітрі до аналогічного показника у корозійному середовищі. Очевидно, що більше величина цього коефіцієнта, то сильніше знижують неметалеві включення малоциклову довговічність сталей.

Порівняльний аналіз результатів випробувань показав, що попередня лазерна дія призвела до збільшення довговічності сталей за малоциклової втоми при випробуваннях на повітрі та у середовищах на 25%...42% (табл. 1). У той же час і після ЛО зберігся вплив типу неметалевих включень: найнижча величина N отримана для сталей, забруднених сульфідами (пл. 1, 5), потім вона збільшується за наявності відповідно корунду та шпінелі (пл. 2, 6), силікатів (пл. 3, 7) і, нарешті, карбонітридів титану (пл. 4, 8). Крім того, величина коефіцієнта впливу середовища β_c залишилася для різних типів включень приблизно на одному рівні як без попереднього лазерного впливу, так і після нього. Таким чином, корозійне середовище призвело до зниження довговічності сталей за малоциклової втоми за наявності всіх типів неметалевих включень у разі попереднього лазерного впливу (табл. 1), проте спостерігається позитивний вплив цієї дії на малоциклову довговічність N в порівнянні зі зразками, які не піддавалися ЛО.

Таблиця 1

Малоциклова довговічність N сталі 08 (чисельник)
і колісної сталі R7 (знаменник) на повітрі та у корозійних середовищах,
а також коефіцієнт впливу середовища β_c

середовище	плавка, включення	$N \cdot 10^4$, циклів		..	
		без ЛО	після ЛО	без ЛО	після ЛО
1	пл.1, 5	1,2 / 1,2	1,6 / 1,57	-	-
	пл.2	1,7 / 1,8	2,2 / 2,3	-	-
	пл.3, 7	2,1 / 2,0	2,7 / 2,8	-	-
	пл.4, 8	2,3 / 2,2	3,1 / 3,0	-	-
2	пл.1, 5	0,6 / 0,6	0,8 / 0,79	2,0 / 2,0	2,0 / 2,0
	пл.2, 6	1,1 / 1,2	1,42 / 1,5	1,5 / 1,5	1,54/1,53
	пл.3, 7	1,4 / 1,4	1,9 / 1,9	1,5 / 1,43	1,42/1,47
	пл.4, 8	1,7 / 1,6	2,3 / 2,3	1,3 / 1,38	1,34 / 1,3
3	пл.1, 5	0,52 / 0,5	0,7 / 0,7	2,3 / 2,4	2,4 / 2,3
	пл.2, 6	1,00/1,01	1,28/1,29	1,7 / 1,78	1,71/1,77
	пл.3, 7	1,1 / 1,2	1,61/1,66	1,75 / 1,67	1,68/1,69
	пл.4, 8	1,4 / 1,4	2,03/1,94	1,57/1,57	1,52/1,54

Дослідження сталей після випробувань на малоциклову втому у різних середовищах показали, що корозійні пошкодження зароджувалися на неметалевих включеннях всіх типів без попереднього лазерного впливу (рис. 1, а). Практично завжди процес корозії починається на міжфазних границях включення-матриця, потім поширюється в сталеву матрицю і в неметалеве включення. У разі попереднього лазерного впливу також спостерігали зародження корозійних пошкоджень поблизу включень і уздовж границь включення-матриця (рис. 1, б - г), але за однакового часу корозійних випробувань ці пошкодження були значно меншими.

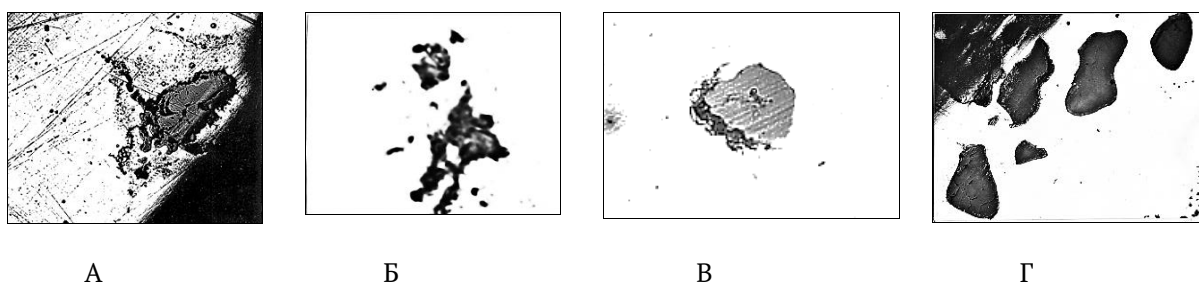


Рис. 1. Корозійні пошкодження на неметалевих включеннях $(Fe, Mn)S$ (А, Б), $MnO \times Al_2O_3$ (В), $MnO \cdot SiO_2$ (Г) в сталі 08 без попередньої лазерної дії (А) і в сталі R7 у випадку попередньої лазерної дії (Б - Г) після випробувань у середовищах: $x600$.

Необхідно враховувати, що міжфазні границі включення-матриця є готовими каналами для проникнення атомів поверхнево активної речовини з навколишнього середовища, що обумовлено дефектною структурою цих меж і

наявністю міжфазних напружень [4, 5]. Корозія викликає додаткові напруження в границях включення-матриця через розклинюючу дію продуктів корозії, які утворилися, що сприяє розвитку втомних тріщин від неметалевих включень в сталеву матрицю. Підвищення довговічності сталей за малоциклової втоми та корозійної стійкості сталей після лазерного впливу, очевидно пов'язане з фазовими та структурними змінами, що відбуваються поблизу включень в момент лазерної обробки, коли спостерігається швидкісне плавлення включень, пересичення сталеві матриці їх елементами, а також зміна стану міжфазних границь включення-матриця, що призводить до мікрозварювання включень і сталеві матриці [6 - 9]. Очевидно, локальне мікрозварювання, що пройшло уздовж міжфазних границь включення-матриця за лазерного впливу, сприяло зниженню їх проникності для корозійно-активних елементів та підвищенню когезивної міцності цих границь в активних середовищах.

Аналіз результатів, що наведені у таблиці 1, дозволив умовно розділити неметалеві включення на дві групи, незалежно від застосування лазерного впливу. У першу групу входять сульфідні включення $(Fe, Mn)S$, $FeS - MnS$, для яких коефіцієнт впливу середовища β_c в 5% водному розчині $NaCl$ становить 2,0, в 1% водному розчині H_2SO_4 – 2,3...2 4. До другої групи входять всі інші включення, а саме корунд і шпінелі Al_2O_3 , $MnO \times Al_2O_3$, силікати SiO_2 , $MnO \times SiO_2$, $FeO \times SiO_2$, карбонітрид титану $TiCN$, для яких величина β_c у середовищі 5% водного розчину $NaCl$ становить 1,3...1,54, у середовищі 1%-ного водного розчину H_2SO_4 – 1,52...1,78. Така відмінність пов'язана зі знаком термічних напружень поблизу включень різних типів [1]. Відомий ефект впливу напружень, що є стискаючими, на пригнічення адсорбційного ефекту. Залишкові напруження, що є розтягуючими, посилюють адсорбційні і корозійні втомні явища [1], тобто такі напруження поблизу неметалевих включень значно збільшують число „активних” ультрамікротріщин в сталі. Розрахунки, що були проведені раніше, та дослідження термічних напружень показали, що тільки поблизу сульфідів вони є розтягуючими, поблизу інших включень, що вивчаються в даній роботі, – стискаючими [1].

Відповідно до електрохімічної теорії корозійної втоми, поява ділянок на поверхні виробу, що являють собою "виразки" з вихідними неметалевими включеннями і продуктами корозії на міжфазних межах включення-матриця, викликає додаткові концентрації напружень. Ці напруження сприяють неоднорідному розподілу потенціалу: на дні таких виразок виникає більш позитивний потенціал, ніж у стінок або поблизу зовнішньої поверхні виробу. Дно таких утворень стає анодною ділянкою, сприяючи подальшій корозії та поглибленню корозійних пошкоджень від неметалевих включень у глибокий виробу. У той же час попередня лазерна обробка впливає на поведінку границь включення-матриця в активних середовищах, знижуючи їхню проникність для корозійних процесів.

Висновки. Встановлено, що лазерна обробка сприяє підвищенню корозійної стійкості і довговічності за малоциклової втоми сталей, що містять включення на 25...42%, надаючи позитивний вплив на показники малоциклової довговічності. Оскільки лазерна обробка не впливає на знак термічних напружень поблизу різних типів неметалевих включень, її вплив на підвищення стійкості сталей до утворення корозійних пошкоджень пов'язаний із зміною характеру міжфазних меж включення-матриця. Очевидно, локальне мікрозварювання, що пройшло вздовж міжфазних меж включення-матриця під час лазерного впливу, сприяло зниженню їх проникності для корозійно-активних елементів та підвищенню когезивної міцності цих меж в активних середовищах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Губенко С.І., Ошкадеров С.П. Неметалеві включення в сталі. – Київ: Наукова думка, 2016. – 528с.
2. Gubenko S. I. Corrosive Damage Close to Nonmetallic Inclusions in Bearing Steels/Gubenko S. I., Sychkov A. B., Parusov E. V., Denisenko A. I. // Steel in Translation. 2018. – v. 48. – No. 3. – p. 197–201.
3. Gubenko S. I. Effect of Laser Surface Treatment on the Initiation of Corrosion Defects near Nonmetallic Inclusions. Materials Science. 2022. – v. 58. – No. 3. – p. 313-317.
4. Губенко С.І. До питання про будову міжфазних кордонів неметалевого включення-матриця в сталі // Металлы. 1994. – No. 6. – с.105-112.

5. Gubenko, S.I., Parusov, E.V., Parusov, O.V. The role of inclusion-matrix boundaries in steels fracture processes // Chernye Metally. 2021. - No. 6. - p. 42–47.
6. Gubenko S.I., Nikul'chenko I.A Fragmentation of Nonmetallic Inclusions during Local Remelting upon Laser Steel Processing // Steel in Translation. 2020. - v. 50. - No. 3. - p.203-208.
7. Gubenko S. Melting and crystallization of nonmetallic inclusions and steel matrix in the course of laser treatment. // Materials Science. 2010. - v. 46. - No. 3. - p. 365-371.
8. Gubenko S.I. Zones of contact interaction in steel matrix near inclusions under the laser action // Materials Science. 2011. - v.46. - No. 4. - p.448-452.
9. Hubenko S.I. Influence of Laser Treatment on the Strength of “Inclusion–Steel Matrix” Interfaces Under Plastic Deformation // Materials Science. 2017. - v. 53. - No. 1. - p.36-41.

ON THE CENTERS OF CORROSION INITIATION IN STEEL SUBJECTED TO LASER ACTION

Svetlana Gubenko

Abstract. *The effect of laser action on the initiation and development of corrosion damages in steels near non-metallic inclusions has been investigated. It has been established that laser treatment enhances the corrosion resistance in low-cycle fatigue of steels containing various inclusions. It is shown that the effect of laser treatment on increasing the resistance of steels to the formation of corrosion damages is associated with a change in the state of the inclusion-matrix interphase boundaries, which contributes to a decrease in their permeability for corrosive elements and an increase in the cohesive strength of these boundaries in active media.*

Keywords: *Steel, non-metallic inclusions, laser processing, corrosion, inclusion-matrix boundaries, low-cycle durability.*

REFERENCE

1. Gubenko S.I., Oshkaderov S.P. Non-metallic inclusions in steel. - Kyiv: Naukova Dumka, 2016. - 528 p.
2. Gubenko S. I. Corrosive Damage Close to Nonmetallic Inclusions in Bearing Steels/Gubenko S. I., Sychkov A. B., Parusov E. V., Denisenko A. I. // Steel in Translation. 2018. - v. 48. - No. 3. - p. 197–201.
3. Gubenko S. I. Effect of Laser Surface Treatment on the Initiation of Corrosion Defects near Nonmetallic Inclusions. Materials Science. 2022. - v. 58. - No. 3. - p. 313-317.
4. Gubenko S.I. On the question of the structure of interphase boundaries, non-metallic inclusion-matrix in steel // Metals. 1994. - No. 6. - p.105-112.
5. Gubenko, S.I., Parusov, E.V., Parusov, O.V. The role of inclusion-matrix boundaries in steels fracture processes // Chernye Metally. 2021. - No. 6. - p. 42–47.

6. Gubenko S.I., Nikul'chenko I..A Fragmentation of Nonmetallic Inclusions during Local Remelting upon Laser Steel Processing // Steel in Translation. 2020. - v. 50. - No. 3. - p.203-208.
7. Gubenko S. Melting and crystallization of nonmetallic inclusions and steel matrix in the course of laser treatment. // Materials Science. 2010. - v. 46. - No. 3. - p. 365-371.
8. Gubenko S.I. Zones of contact interaction in steel matrix near inclusions under the laser action // Materials Science. 2011. - v.46. - No. 4. - p.448-452.
9. Hubenko S.I. Influence of Laser Treatment on the Strength of "Inclusion–Steel Matrix" Interfaces Under Plastic Deformation // Materials Science. 2017. - v. 53. - No. 1. - p.36-41.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ ПО ВИСОТІ КИПЛЯЧОГО ШАРУ

Губинський С.М.¹, Сибір А.В.², Федоров С.С.², Рижков А.В.³

¹Український державний університет науки і технологій, Україна

²Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Україна

³ Thermal & Material Engineering Center SP. Z O. O., Польща

Анотація. Робота присвячена експериментальному дослідженню електропровідності киплячого шару з частками графіту. Метою дослідження є визначення зміни електропровідності по висоті киплячого шару. Дослідження проводилося на установці камерного типу з діаметром робочого простору 110мм при числі псевдозрідження 2-3. В результаті вперше при нагріві у електротермічному киплячому шарі підтверджено нерівномірний розподіл електричного опору по його висоті. Величина питомого опору підвищується по мірі занурення у шар з його поверхні і може складати 3-5 разів. Нерівномірність питомого опору по висоті шару зменшується з підвищенням температури. Різниця у розподілі потужності пов'язана з нерівномірністю електричного опору по висоті шару і може призвести до перепаду температур, що може досягати декілька десятків градусів.

Ключові слова: електротермічний киплячий шар, лабораторна піч, електропровідність, висота шару, перепад температур

Одним з важливіших показників печей з електротермічним киплячим шаром (ЕКШ) є рівномірність температурного поля у робочому просторі, що забезпечує якість продукції що виробляється. Рівномірність температур забезпечується насамперед значним перемішуванням часток у шарі. В той же час нерівномірний розподіл теплових джерел при проходженні струму може приводити к виникненню різниці температур у шарі. Так, дослідження розподілу джерел по радіусу робочого простору [1] та їх вплив на перепад температур показав, що цей перепад не перевищує 25-50°. Інакше виглядають данні, що відносяться до вертикальної складової температур. Відомо, що ряд дослідників визначили, що розподіл джерел теплоти по висоті ЕКШ нерівномірний [1,2]. Дослідження проводилися при нормальній температурі. У [1] вимірювався електричний опір між електродами «центральный – боковой» - при цьому частина центрального електроду електроізолювалася по висоті

(рис.1) . Тобто електричний опір шару у верхній частині перевищував опір у нижній частині в 1,3-1,4 рази.

В роботі [2] досліджено шар малих розмірів, де електроди були встановлені на стінах циліндричної камери, в якій був реалізований киплячий шар. Результати показали, що питомий електричний опір у верхній частині шару більший за нижню частину в 4,5 рази. При цьому вплив зміни числа псевдозрідження від 1,25 до 1,78 не змінив це відношення. Таким чином, можливо стверджувати, що різниця у електричному опорі по висоті шару може впливати на розподіл температур і повинна бути досліджена в умовах нагріву.

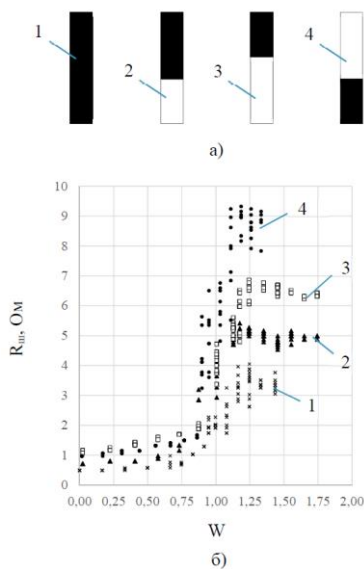


Рисунок 1 - Зміна опору шару за часткової ізоляції електроду [2]

а) варіанти ізоляції центрального електроду;
б) результати вимірювань

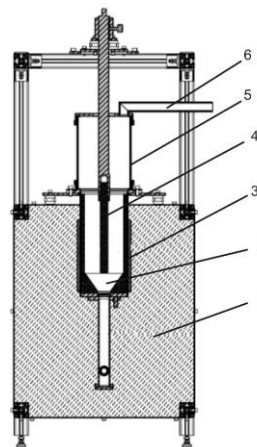


Рисунок - 2 Камерна установка з ЕКШ з максимальною температурою 1200°C

1 -теплова ізоляція,
2 – засипка з керамічних кульок,
3 – боковий електрод,
4 – центральний електрод,
5 – корпус з кварцового скла,
6 – відвід відхідних газів

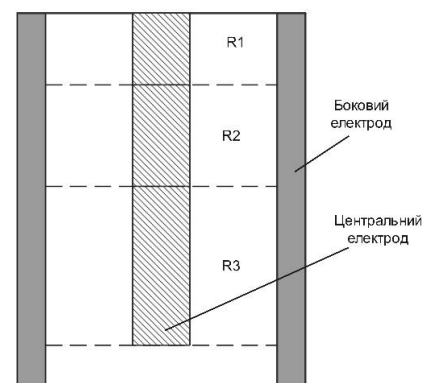


Рисунок - 3 Розрахункова схема визначення електричного опору киплячого шару по висоті

Для проведення досліджень при температурі до 1200°C було створено установку з можливістю візуального контролю процесу з використанням

корпусу з кварцового скла (рис. 2). Діаметр робочого простору 110мм, діаметр електроду 20мм. Для проведення досліджень при температурі до 1200°C було створено установку з можливістю візуального контролю процесу з використанням корпусу з кварцового скла (рис. 2). Діаметр робочого простору 110мм, діаметр електроду 20мм. Експерименти проводилися на природньому графіті з розміром часток 300-400 мкм, які забезпечують якісний бульбашковий киплячий шар. Висота щільного шару графіту перед нагрівом складала 130 мм. Нагрів проводився при різному заглибленні електроду у шар - 25мм, 60 мм і 95 мм. В процесі нагріву визначалась величина напруги і фіксувалися струм, потужність, та температура на рівні кінця електроду. Температура вимірювалася термопарою типу ХА. В результаті було визначено інтегральний електричний опір, що складався з трьох паралельних опорів – R1 – верхня частина електроду (25мм), R2 – середня частина електроду (35мм) , R3 – нижня частина електроду (45мм). Розв'язуючи систему рівнянь для паралельних опорів, послідовно визначали опори R1, R2, R3 (рис. 3) На основі отриманих даних визначалися питомі показники електричного опору кільцевого киплячого шару по залежності [2]

$$P_{ш} = \frac{R}{\frac{\ln r_{зов}}{r_{внут}}} \quad (1)$$

де $P_{ш}$ - питомий електричний опір киплячого шару, Ом*м ;

R - електричний опір шару, Ом ,

r - зовнішній та внутрішній радіуси та висота киплячого шару, м.

Результати експериментальних досліджень розподілу електричного опору по висоті шару наведені у таблиці 1 та рисунку 4. Вони підтвердили відомі дані - зниження електричного опору з ростом температури та величини занурення електроду у ЕКШ. Також підтверджено, що питомий електричний опір киплячого шару підвищується по висоті по мірі заглиблення від верхньої його границі (рис. 4) . Це притаманно температурам в діапазоні до 1000°C. При цьому різниця між опорами зменшується з ростом температури. Так при температурі шару 500°C питомий опір на глибині 95мм перевищує опір шару на поверхні в 3,9 раз, а при температурі 1000°C це відношення складає 2,8 рази.

Відповідно відрізняється теплова потужність по висоті шару, що може призводити до нерівномірного температурного поля по висоті шару. Цьому процесу заважає теплообмін пов'язаний з масообміном по вертикалі киплячого шару. Він визначається переносом теплоти разом з частками матеріалу. Для оцінки впливу обох факторів було проведено розрахунок перепаду температур по висоті ЕКШ відповідно до умов експериментальних досліджень. Розрахункова схема відповідає стаціонарним умовам для пластини, яка послідовно має горизонтальні частки з різним рівномірним виділенням джерел теплової енергії, що мають різні електричні опори R1, R2, R3 (рис.3). Визначення перепаду температур по висоті шару проводили по відомій залежності:

$$\Delta t = \sum_{i=1}^3 q_v^i \frac{\delta_i}{2\lambda_{ш}^{сер}} \quad (2)$$

де Δt – перепад температур по висоті киплячого шару, °C,

q_v^i – питома потужність джерел Джоулевої теплоти, Вт/м³,

δ_i – висота розрахункової ділянки киплячого шару, м,

$\lambda_{ш}^{сер}$ – ефективна теплопровідність киплячого шару у вертикальному напрямку, Вт/мК

Таблиця1

Результати експериментальних досліджень ЕКШ

Температура, °C	Висота заглиблення центрального електроду, мм	Сила струму, А	Напруга, В	Опір ЕКШ, Ом
500	25	47	49	1,04
	60	61	43	0,70
	95	45	31	0,60
700	25	61,5	48	0,78
	60	70	42	0,50
	95	60	30	0,41
1000	25	60	47	60
	60	90	45	90
	95	98	40	98

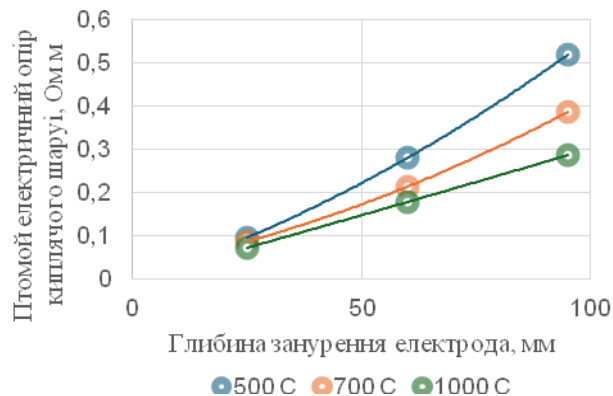


Рисунок - 4 Залежності питомого електричного опору ЕКШ в залежності від температури і висоти ЕКШ

Розрахунки перепаду температур показали, що він може складати біля 50-60°C в умовах проведення експерименту, максимум у верхній частині шару. Таким чином, для ведення технологічного процесу необхідно вимірювати температуру на рівні кінця занурення електрода, що гарантує отримання заданої температури у всьому об'ємі киплячого шару.

ЛІТЕРАТУРА

1. Федоров С.С. Високотемпературна обробка вуглецевих матеріалів в електротермічному киплячому шарі. Дніпро: Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України 2022, 134 с.
2. Malinovskii A. I., Rabinovich O. S., Borodulya V. A., Greben'kov A. Zh, and Sidorovich A. M. Local conductivity of a fluidized bed consisting of particles *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, Vol. 85, No. 2, March, 2012.

EXPERIMENTAL STUDIES OF ELECTRIC CONDUCTIVITY DISTRIBUTION ALONG THE HEIGHT OF THE FLUIDIZED BED

Hubynskiy Semen, Sibir Artem, Fedorov Serhii, Ryzhkov Andriy

Abstract. *This work is focused on the experimental research into the electrical conductivity of a fluidized bed with graphite particles. The aim of the study is to determine the change in electrical conductivity along the height of the fluidized bed. The study was carried out on a chamber-type unit with a working space diameter 110 mm at a fluidization index 2-3. As a result of the experimental research, during heating in electrothermal fluidized bed, the uneven distribution of electrical resistance along the bed height was confirmed for the first time. The resistivity value increases 3-5 times with the depth of immersion into the bed from its surface. The unevenness of the resistivity along the height of the bed decreases with increasing temperature. The difference in power*

distribution due to uneven electrical resistance along the bed height can lead to a temperature difference of several tens of degrees.

Keywords: *electrothermal fluidized bed, laboratory furnace, electrical conductivity, bed height, temperature difference.*

REFERENCE

1. Fedorov S.S. Vysokotemperaturna obrobka vuhletsevykh materialiv v elektrotermichnomu kyplachomu shari Dnipro: Instytut chornoi metalurhii im. Z.I. Nekrasova NAN Ukrainy 2022, 134p.
2. Malinovskii A. I., Rabinovich O. S., Borodulya V. A., Greben'kov A. Zh, and Sidorovich A. M. Local conductivity of a fluidized bed consisting of particles *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, Vol. 85, No. 2, March, 2012.

КАМЕРНА ПІЧ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВУГЛЕЦЕВИХ МАТЕРІАЛІВ У ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОМУ КИПЛЯЧОМУ ШАРІ

Губинський С.М.¹, Сибір А.В.², Федоров С.С.³, Форись О.М..¹

¹Український державний університет науки і технологій, Україна

²Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Україна

³ Thermal & Material Engineering Center SP. Z O. O., Польща

Анотація. Існуючі лабораторні печі для високотемпературної термічної обробки матеріалів до температури 3000°C, що мають графітові нагрівачі, дозволяють нагрівати зразки з швидкістю на два порядки менші у печах з електротермічним киплячим шаром. Це унеможливлює їх використання для досліджень термічної обробки вуглецевих матеріалів бо не відповідають умовам шокowego нагріву та не дозволяє чітко видержувати час витримки. В статі наведено дослідження використання в якості нагрівачів композитних вуглецевих матеріалів малої густини. На основі отриманих результатів створено високотемпературну камерну піч, проведено її дослідження та промодельовано температурне поле у нагрівачі. В результаті створено високотемпературну лабораторну піч з швидкістю нагріву зразків 20 °C/c – 100 °C/c що дозволило використати її для моделювати процес нагріву у печі електротермічним киплячим шаром. Порівняння витрат електроенергії в печі з традиційним нагрівачем з графіту і нагрівачем з вуглецевого композиту малої густини показало, що втрати теплоти у знижуються на 1,7- 1,8 разів.

Ключові слова: електротермічний киплячий шар, лабораторна піч, композитні вуглецеві матеріали, втрати теплоти, шоківий нагрів.

Відомі конструкції високотемпературних печей, що забезпечують термічну обробку при температурі 3000°C у атмосфері інертного газу (аргону чи азоту). Вони мають нагрівачі з графіту чи композитних вуглеграфітових матеріалів. Загальні характеристики подібних печей мають швидкості нагріву робочого простору зі досліджуваним зразком не вище 10 K/хв, що майже на два порядки менше ніж швидкість нагріву часток у електротермічному киплячому шарі (ЕКШ). Це пов'язано з інерційністю конструкції печей та стійкістю нагрівачів, які не витримують значного навантаження. Зменшення робочого простору печі теж визиває певні труднощі пов'язані з необхідністю виділення значної потужності при малих

електричних опорах нагрівачів з графіту чи композитних графітованих матеріалів. Вони мають наступні властивості [1-2]: густина – 1380-1850 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності 15-40 Вт/мК, питомий електричний опір (40-25)*10⁻⁶ Ом*м при нормальній температурі і 15*10⁻⁶ Ом*м при температурі 2400°C. Таким чином, ці показники близькі до графіту, який має густину 2100 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності - 70-20 Вт/мК в залежності від температури, питомий електричний опір – (12-15) *10⁻⁶ Ом*м. Отже, заміна графіту на композитний матеріал не може змінити розміри та показники напруги та струму при нагріві у високотемпературній печі та відповідно змінити її показники термічної інерційності.

Інакше виглядають вуглецеві композитні матеріали, які використовуються у високо температурних печах як теплова ізоляція. Характеристики цих матеріалів наведено у таблиці 1.

Таким чином, ці композитні матеріали мають менший питомий електричний опір і на два порядки меншу теплопровідність у порівнянні з графітом. Тобто використовуючи ці матеріали для виготовлення нагрівачів у високотемпературних печах, можливо підвищити їх товщину, що дозволить зменшити втрати теплоти з робочого підвищити їх товщину, що дозволить зменшити втрати теплоти з робочого простору печі.

Таблиця 1

Властивості вуглецевих композитних матеріалів [3].

Тип матеріалу	CBCF 14VF-2000	CBCF 18-2000	CBCF 15-2000	CBCF 25-2000
Щільність, кг/м ³	140-160	180	150	250
Питомий електричний опір, Ом*м при н.у.	12-51 *10 ⁻⁴	11 – 40 *10 ⁻⁴	25-74 *10 ⁻⁴	5,9-15,9*10 ⁻⁴
Коефіцієнт теплопровідності в середовищі аргону, Вт/мК	0,08	0,36	0,26	0,55
500°C	0,21	0,54	0,4	0,75
1000°C	0,76	1,16	0,98	1,38
2000°C				

Це також дозволить зменшити витрати енергії та зменшити струм та напругу. Для аналізу ефективності такого підходу було проведено розрахунок температурного поля печі, схему якої наведено на рисунку 1. Розглядається стаціонарний режим роботи.

Результати розрахунку перепаду температур у нагрівачі висотою 100мм при $\lambda_{\text{наг}} = 1,16$ Вт/мК наведені на рисунку 2. Отже, використання вуглецевих композитів малої густини забезпечує отримання високих температур у робочому просторі печі та значно зменшує теплові втрати.

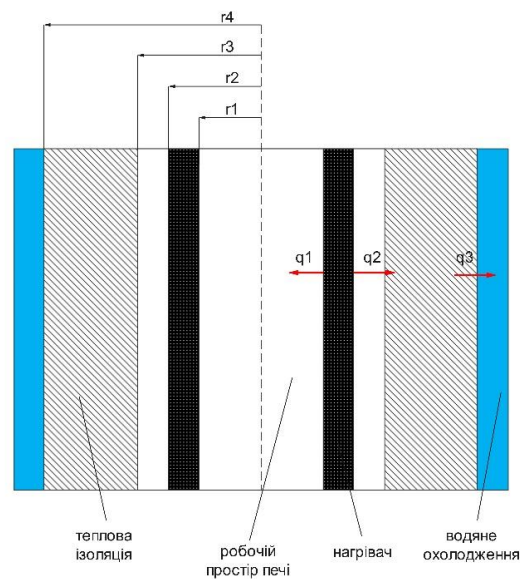


Рисунок 1 - Схема високотемпературної печі з нагрівачем з вуглецевого композиту

Для перевірки отриманих результатів була створена лабораторна камерна піч, характеристики якої наведено у таблиці 2. Фото печі наведено на рисунку 3. Особливістю конструкції печі є закритий робочий простір печі, що забезпечує відсутність втрат теплоти з внутрішньої поверхні нагрівача. Водночас це не дозволяє прямого вимірювання температури в робочому просторі печі. Тому для побудови режимної карти лабораторної печі було використано метод «свідків» - еталонних матеріалів з відомими температурами переходу з твердого у рідкий стан. Для зазначених цілей використані наступні матеріали - таблиця 3.

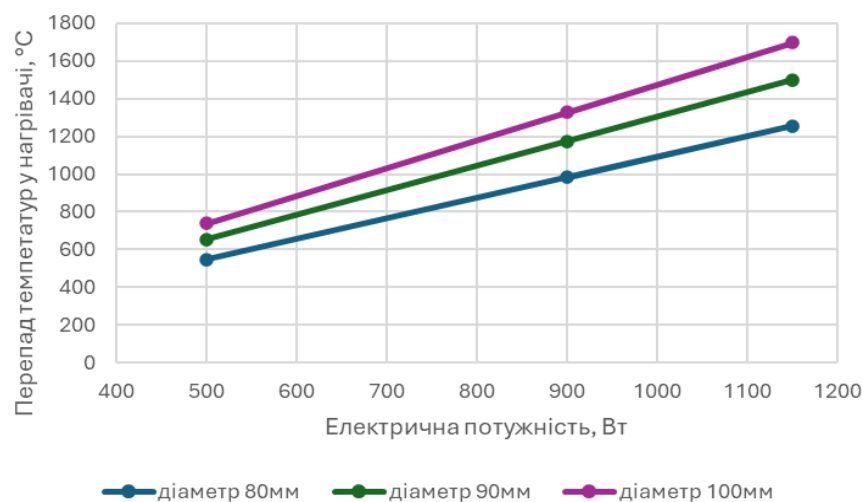


Рисунок 2: Залежність перепаду температур у нагрівачі в залежності від електричної потужності

Таблиця 2

Технічні характеристики лабораторної печі

1. Електрична потужність	6 кВт
2. Живлення шафи управління печі	~ 230В, 50 Гц
3. Напруга на електродах печі (вторинний контур)	до 22В
4. Робочий струм	50-230А
5. Інертний газ	аргон



Рисунок 3: Експериментальна піч, система газопостачання, джерело живлення.

На основі отриманих результатів випробувань (таблиця 3) побудовано енергетичну характеристику печі – залежність температури в робочому

просторі від електричної потужності, яку використано при термічній обробці вуглецевих матеріалів.

Таблиця 3

Результати випробувань експериментальної печі

№ з/п	Матеріал	Температура плавлення	Напруга, В	Струм, А	Потужність, Вт
1	Мідь	1085°C	11,5	62	917
2	Сталь 18Х10Н1Т	1400-1450°C	15,4	85	1309
3	Оксид алюмінію Al_2O_3	2072°C	17,1	100	1710
4	Сплав ВК-8 92%	2780°C	19,1	220	4202
5	Карбід титану	3257°C	21,9	250	5475

Крім того, було визначено перепади температур у нагрівачі лабораторної печі. Цьому передували визначення залежностей питомого електричного опору та коефіцієнта теплопровідності вуглецевого композитного матеріалу.

При моделюванні були прийняті умови стаціонарного режиму роботи та розглянута одномірна задача розподілу температури по радіусу нагрівача. Нагрівач був поділений по радіусу на три слої однакової товщини 5мм. Розподіл джерел джоулевої теплоти у кожному був рівномірний, що визначався відповідно до середньої температури у кожному шарі. Аналогічно визначалися коефіцієнти теплопровідності. Розрахунки велися послідовно для кожного шару по залежностям для розподілу температур у циліндричній стінці з джерелами теплоти, враховуючи відому температуру на внутрішній поверхні нагрівача.

Результати моделювання неведені на рисунку 4, з якого виходить, що перепад температур в нагрівачі в робочому діапазоні складає біля 1000°C. Швидкість розігріву печі складала не менш 1000°C/хв, що дозволяє використовувати її для моделювання процесу термічної обробки вуглецевих матеріалів у ЕКШ.

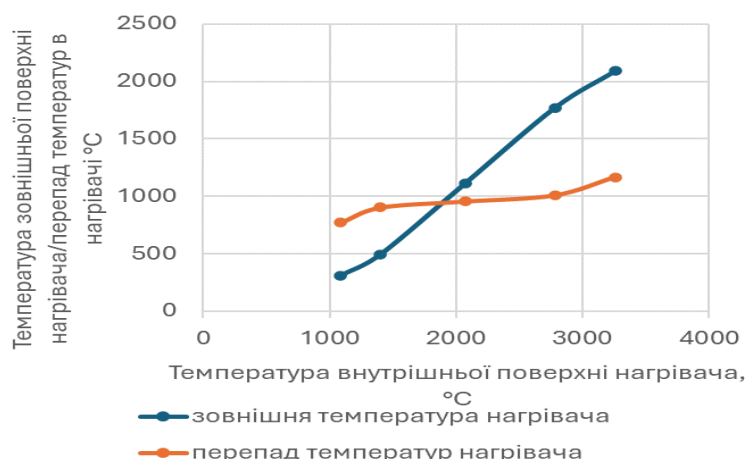


Рисунок 4 - Результати моделювання температурного поля нагрівача лабораторної печі

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. CFC / CARBON COMPOSITE URL: <https://www.cmcarbon.com/carbon-composite/3D%20CFC.htm> (дата звернення 10.01.2024)
2. Properties of Carbon Fiber URL: <https://www.clearwatercomposites.com/resources/properties-of-carbon-fiber/> (дата звернення 3.02.2024)
3. CARB®RIGID CARBON THERMAL INSULATION URL: www.mersen.com (дата звернення 5.02.2024)

CHAMBER FURNACE FOR SIMULATION OF CARBON MATERIALS HEAT TREATMENT IN ELECTROTHERMAL FLUIDIZED BED

Hubynskiy Semen, Sibir Artem, Fedorov Serhii, Foris Oleksiy

Abstract. Existing laboratory furnaces for high-temperature heat treatment of materials at around 3000°C, which have graphite heaters, allow samples to be heated at a rate two orders of magnitude lower than in electrothermal fluidized bed furnaces. This makes it impossible to use them in the research into the heat treatment of carbon materials because they do not meet the conditions of shock heating and do not allow to keep accurate residence time. The paper presents the research into the use of low-density composite carbon materials as heaters. Based on the results obtained, a high-temperature chamber furnace was designed, studied, and the temperature field in the heater was simulated. As a result, a high-temperature laboratory furnace was created with a sample heating rate of 20 °C/s - 100 °C/s, which made it possible to use it to simulate the heating process in the electrothermal fluidized bed furnace. Comparison of energy consumption in the furnace with a traditional graphite heater and a low-density carbon composite heater showed that heat loss in the furnace is reduced by 1.7 to 1.8 times.

Keywords: electrothermal fluidized bed, laboratory furnace, composite carbon materials, heat loss, shock heating.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЛИТИХ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ

Іванова Л.Х., Колотило Є.В., Білий О.П., Хрінік Є.В.

Український державний університет науки і технологій

Анотація. Проведено дослідження впливу частоти індуктора індукційних печей на структуру та твердість валкових чавунів. Дослідження проводили використовуючи валкові чавуни виконань СПХН та СШХН. В результаті проведених досліджень показано, що при використанні індукційних печей з неоднаковою частотою індуктора, властивості та структура їх робочого шару відрізняються. Твердість литих валків з більш високочастотних печей виявляється нижчою, ніж з печей з меншою частотою роботи індуктора. За цього, такі умови, що впливають на твердість валків як хімічний склад та режим охолодження залишаються постійними.

Ключові слова: валковий чавун, індукційна піч, структура, твердість, якість.

Вступ. Кафедра ливарного виробництва Українського державного університету науки і технологій понад шістдесят років займається дослідженням впливу різних факторів на якість литих чавунних валків [1-4]. Одним з важливих питань для теорії та практики виробництва чавунних прокатних валків є дослідження впливу частоти індуктора індукційних печей на структуру та твердість валкових чавунів. Визначення ролі частоти індуктора в індукційних печах при одержанні валкових чавунів дозволить розробити раціональну технологію отримання чавунів при одержанні прокатних валків.

Для плавлення чавуну у чавуноливарних цехах застосовуються переважно індукційні тигельні печі промислової частоти. Ці печі характеризуються виробничою надійністю, легкістю регулювання роботи, низькою витратою електроенергії у порівнянні з печами іншої частоти. З частотою пов'язані мінімальні розміри шихтових матеріалів при розплавленні: 50 Гц – 250 мм; 150 Гц – 150 мм; 500 Гц – 80 мм. Тому, в індукційних печах промислової частоти необхідно працювати на «болоті», або за першої плавки використовувати матеріал шихти масою 20-30% від маси садки. Далі при плавленні у печі повинно залишатися «болото» не менше 30% її місткості. Крім того, від частоти залежить швидкість розплавлення шихти. У печах промислової частоти вона менше, ніж у печах з більш високою частотою.

Печі промислової частоти відрізняються також сильним електромагнітним перемішуванням металу, що визначає інтенсифікацію металургійних процесів при плавленні [5].

Основний матеріал. Метою роботи було порівняння мікроструктури та твердості литих сортопрокатних валків різних виконань, відлитих з індукційних печей з частотою роботи індуктора 150 Гц та 50 Гц. Проби для хімічного аналізу чавуну відбирали з плавильної печі під час випуску металу (немодифікований чавун) і з розливного ковша після модифікування. У немодифікованих чавунах визначали вміст вуглецю, кремнію, марганцю, хрому, нікелю, фосфору і сірки. У модифікованих чавунах, крім перерахованих вище хімічних елементів, визначали залишкові вмісти РЗМ. Експрес-аналіз хімічного складу чавунів в процесі плавлення здійснювали на спектрометрі SPEKTROMAX CCD type: LMXM3 виробництва компанії «SPEKTRO» Німеччина. Хімічний склад у валків був близький за значеннями. Режими кристалізації однакові. Дослідження структури валків із зразків, взятих знизу бочок на глибинах 5 мм, 25 мм, 50 мм і 75 мм проводили на оптичному металомікроскопі Neophot 21 при збільшенні $\times 100$. Шліфи досліджували у нетравленому стані. Будову графітних включень оцінювали за ГОСТ 3443-87 (шкали 1АБ та 3Б). Визначення твердості за Бринеллем здійснювали за ДСТУ ISO 6506-1:2007 на приладі ТШ-2М за допомогою сталльної кульки діаметром 10 мм при навантаженні 29420 Н, результати вимірювань переводили в одиниці Шору, HSD. Величину твердості розраховували як середню з п'яти вимірів.

Проведений порівняльний аналіз валків СПХН (№1...№4) та СШХН (№5 і №6) з межами твердості 48-57 HSD, відлитих з індукційних печей з частотою роботи індуктора 150 Гц та 50 Гц показав таке. У валках №1 і №2, відлитих із середньочастотної печі, відмічалися більш крупні графітні включення, ніж у валках №3 і №4, відлитих з печі промислової частоти (рис.1).

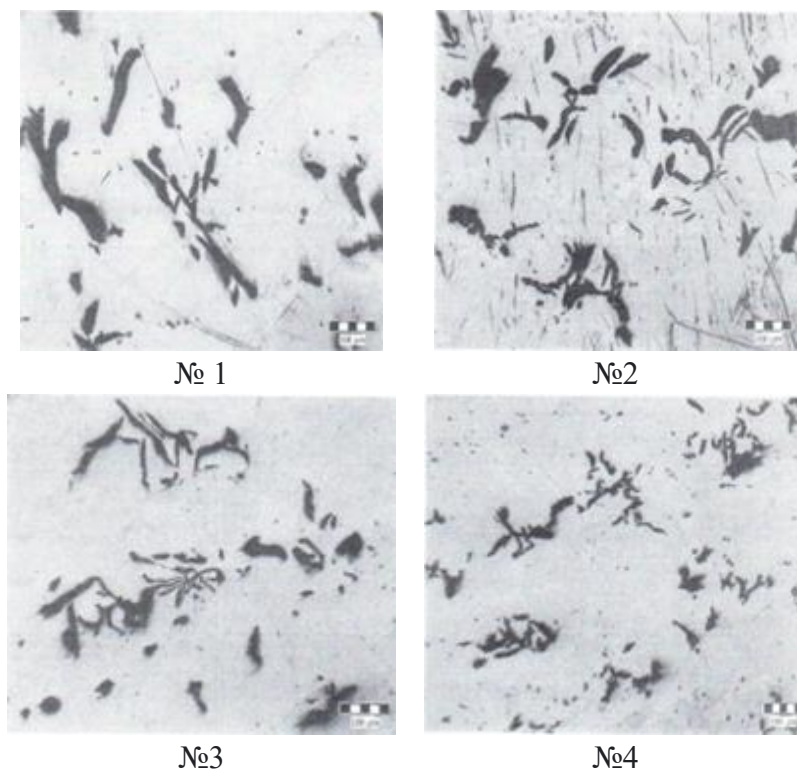


Рис. 1 – Графіт у структурі валків виконання СПХН

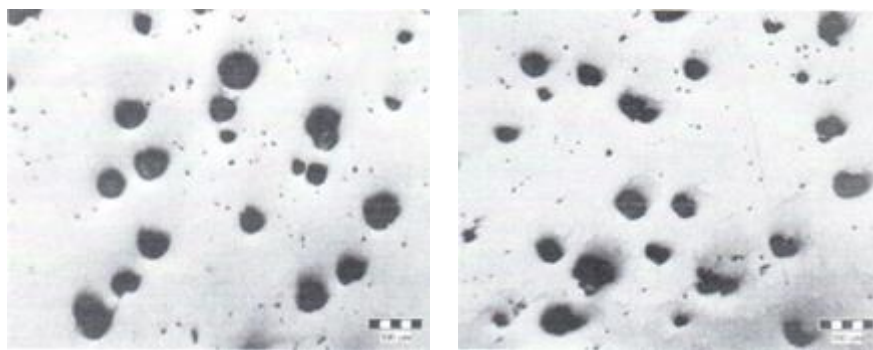
Довжина графітних включень у чавунах валків №1 і №2 складала від 90 мкм до 180 мкм (ПГд90 та ПГд180), форма графіту пластинчаста прямолінійна (ПГф1) (рис. 1). У валках №3 і №4 довжина графітних включень – від 40 мкм до 90 мкм (ПГд40 та ПГд90). Форма графіту – пластинчаста прямолінійна (ПГф1), місцями завихрена (ПГф2). Крім того було виявлено зменшення твердості валків із середньочастотної печі на 5-8 HSD у порівнянні з валками з печі промислової частоти (табл. 1). Після одержання цих результатів, наступні виливки для одержання необхідної твердості, проводилися з корегованим хімічним складом, а саме підвищенням вмісту хрому.

Таблиця 1.

Твердість чавунних валків

Номер валка	Твердість HSD на відстані від поверхні, мм			
	5	25	50	75
№1	49	47	47	-
№2	48	48	47	47
№3	57	57	53	50
№4	54	51	51	48
№5	49	48	48	46
№6	-	47	47	46

На валках виконання СШХН (№5 і №6) дані впливу типу печі були не такими значними (рис.2 та табл.2). Можливо, це пов'язано з ковшовим обробленням металу для одержання кулястого графіту у структурі після випуску з печі. Структура валків СШХН була близькою за розмірами включень графіту ШГд90, великої різниці у твердості також не спостерігалось.



№5 №6
Рис. 2 – Графіт у структурі валків виконання СШХН

Висновки. Аналіз виробництва прокатних валків показав, що при використанні індукційних печей з неоднаковою частотою індуктора, властивості та структура їх робочого шару відрізняються. Твердість виливків з більш високочастотних печей виявляється нижчою, ніж з печей з меншою частотою роботи індуктора. За цього, такі умови, які впливають на твердість валків як хімічний склад та режим охолодження залишаються постійними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кривошеєв А. Є. Литі валки. Теоретичні та технологічні основи виробництва. - М.: Металургіздат, 1957. - 360 с.
2. Белаї Г.Є. Дослідження впливу модифікування на кристалізацію чавуну, структуру та властивості листопрокатних валків: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 05.323/ Дніпропетровськ. металургії. ін-т. - Дніпропетровськ, 1967. - 23 с.
3. Колотило Є.В. Дослідження та вдосконалення процесів виробництва листопрокатних валків із модифікованих чавунів: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 05.323/ Дніпропетровськ. металургії. ін-т. - Дніпропетровськ, 1967. - 23 с.
4. Іванова Л.Х. Теоретичні основи та практичні методи одержання литих прокатних валків із комплексномодифікованих чавунів: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук; 05.16.04/ Націон. металург. академія України. – Дніпропетровськ, 2008. – 35 с.

5. Грачов В.А., Чорний А.А. Сучасні методи плавки чавуну. – Сар-в: Приволж. кн. вид., 1973. - 342 с.

RESEARCH OF THE QUALITY OF CAST ROLLED ROLLS

Ivanova L., Kolotylo E., Bilyi O., Khrinik E.

Abstract. *A study of the influence of the frequency of the inductor of induction furnaces on the structure and hardness of rolled cast iron was carried out. The research was carried out using SPHN and SSHHN cast iron. As a result of the conducted research, it is shown that when using induction furnaces with different frequency of the inductor, the properties and structure of their working layer differ. The hardness of cast rolls from higher frequency furnaces is found to be lower than from furnaces with a lower frequency of the inductor. Therefore, such conditions affecting the hardness of the rolls as chemical composition and cooling mode remain constant.*

Keywords: *cast iron, induction furnace, structure, hardness, quality*

REFERENCE

1. Kryvosheiev A. Ye. Lyti valky. Teoretychni ta tekhnolohichni osnovy vyrobnytstva. - M.: Metalurhizdat, 1957. - 360 s.
2. Bielai H.Ie. Doslidzhennia vplyvu modyfikuvannia na krystalizatsiiu chavunu, strukturu ta vlastyosti lystoprokatnykh valkiv: Avtoref. dys. ... kandydata tekhn. nauk: 05.323/ Dnipropetrovsk. metalurhii. in-t. - Dnipropetrovsk, 1967. - 23 s.
3. Kolotylo Ye.V. Doslidzhennia ta vdoskonalennia protsesiv vyrobnytstva lystoprokatnykh valkiv iz modyfikovanykh chavuniv: Avtoref. dys. ... kandydata tekhn. nauk: 05.323/ Dnipropetrovsk. metalurhii. in-t. - Dnipropetrovsk, 1967. - 23 s.
4. Ivanova L.Kh. Teoretychni osnovy ta praktychni metody oderzhannia lytykh prokatnykh valkiv iz kompleksnomodyfikovanykh chavuniv: Avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk; 05.16.04/ Natsion. metalurh. akademiia Ukrainy. – Dnipropetrovsk, 2008. – 35 s.
5. Hrachov V.A., Chornyi A.A. Suchasni metody plavky chavunu. – Sar-v: Pryvolzh. kn. vyd., 1973. - 342 s.

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ
СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ, ЗАТИСНУТИХ
У ФРАНТАЛЬНИХ ЛЕЩАТАХ**

Юрій Кузнецов, Олексій Самойленко, Гао Сінмін

НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна

Анотація Відомо, що фрактальні лещата представлені на ринку верстатів, але в дуже обмеженій кількості та з невиправдано завищеною вартістю. У доповіді представлені результати досліджень, які автори вперше провели з використанням фрактальних лещат. Це дає змогу оцінити ефективність використання фрактальних лещат і спрямувати дослідження на пошук більш дешевих альтернативних варіантів.

Ключові слова: лещата, фрактали, верстат, фрезерування, моделювання, морфологія

Актуальність теми дослідження

Одним із напрямків досліджень є застосування фрактальних лещат [0]. Твердження [0], що фрактальні лещата практично відсутні на ринку верстатного оснащення, потребує деякого уточнення. Вказані лещата іноді зустрічаються серед пропозицій деяких маркетплейсів, однак, дійсно – пропозиція вкрай обмежена, тому загальні та спеціалізовані пошукові машини мережі Internet можуть їх не виявляти.

Найбільший китайський маркетплейс *AliExpress* пропонує фактично дві моделі фрактальних лещат, конструкція яких відповідає патенту США №US1059545A [0]. Лещата [0] (рис. 1) виготовлені з конструкційної сталі та являють собою верстатне пристосування, яке призначене для використання в промисловості в умовах ремонтного та одиничного виробництва. Фрактальні лещата [0] (рис. 2) мають по суті таку саму конструкцію, але виготовлені з нержавіючої сталі та мають деякі другорядні відмінності, що не впливають на функціонал. Обидві конструкції лещат мають 4-рівневі фрактальні губки. Лещата [0] (рис. 3) мають дещо спрощену конструкцію в порівнянні з двома попередніми. Вони мають 3-рівневі фрактальні губки та виготовлені з алюмінієвого сплаву. Ці лещата вбачаються практично непридатними для

використання у важкому машинобудуванні та металообробці, однак, можуть бути використані в хобійній діяльності.



Рисунок 1 - Промислові
фрактальні лещата із
конструкційної сталі



Рисунок 2 - Промислові
фрактальні лещата з
нержавіючої сталі



Рисунок 3 - Любительські
фрактальні лещата з
алюмінієвого сплаву

Розглянуті фрактальні лещата є немеханізованими та мають ручний привід затиску. Тобто, непридатні для автоматизованого виробництва. Також спільною негативною рисою представлених фрактальних лещат є їхня висока вартість.

Таким чином, вартість фрактальних лещат (які є всього лише верстатним пристосуванням, до того ж немеханізованим, з ручним приводом) співрозмірна із вартістю самого фрезерного верстату (як на вторинному, так і на первинному ринку) та вбачається необґрунтовано завищеною. Надзвичайно висока ціна незрозуміла, оскільки в конструкції фрактальних лещат не використовуються дороговартісні матеріали, а поверхні деталей цих лещат описані типовими площинами, циліндрами, конусами тощо, що було доступним для металообробки початку XX століття на момент їхнього патентування.

Втім, цілком можливо, що в недалекому майбутньому можуть скластись такі сприятливі обставини в промисловості, що фрактальні лещата отримають "друге життя", як це ставалось із багатьма іншими винаходами і технічними рішеннями. Наприклад, дульнозарядна гвинтівка в XXI столітті вбачається анахронізмом, проте, і сьогодні виготовляється деякими провідними виробниками як мисливська зброя преміум-сегменту [0].

Тому доцільним є подальше дослідження такого цікавого технічного об'єкту як фрактальні лещата поряд з іншими універсальними лещатами із ймовірною перспективою суттєвого розширення їхнього використання в майбутньому.

Постановка задачі. В той же час, фрактальні лещата та їхнє моделювання становлять значний академічний інтерес. Фрактальні лещата зі своєю схемою затиску деталі займають деяке проміжне положення між традиційними лещатами з двома затискними елементами (паралельними губками) та лещатами [0], у яких затискні елементи виконані у вигляді еластичних ємностей, заповнених деякою субстанцією, яка при затиску складнопрофільної деталі ніби обволікує її за законом Паскаля. Якщо абстрагуватись від об'ємної моделі до плоскої, то з деякими припущеннями можна вважати, що фрактальні губки взаємодіють із деталлю також за законом Паскаля. В той же час передбачається, що після затиску деталі губки набувають властивості деякого моноліту [0] і взаємодіють із закріпленою деталлю не лише за допомогою нормальних реакцій, але й силами тертя в місці контакту кінцевих елементів губок з поверхнею деталі. Тобто, створюється досить складана схема затиску, при якій немає остаточної ясності, як поведе себе процес механічної обробки деталі.

Мета дослідження.

Метою дослідження на даному етапі є визначення основних положень плану віртуального експерименту, який полягає у математичному моделюванні обробки складнопрофільної деталі, встановленої у фрактальних лещатах. Пропонується для використання сучасний засіб візуального моделювання динамічних систем Simulink [0] з пакету MATLAB.

Результати досліджень.

Попередньо була запропонована плоска математична модель [0] механічної обробки (фрезерування) складнопрофільної деталі, закріпленої у фрактальних лещатах при деяких попередніх допущеннях. Представлена математична модель базується на розрахунковій схемі (рис. 4).

Математична модель складається із трьох диференціальних рівнянь другого порядку (1), які описують плоско-паралельні зміщення оброблюваної деталі в площині XU та крутильні зміщення відносно осі Z .

Експлікація елементів математичної моделі – компонентів формул (1...3) подана в табл. 2.

Представлена математична модель певною мірою універсальна – вона передбачає теоретично необмежену кількість рівнів фрактальних губок. Однак, з метою раціонального використання обчислювальних ресурсів, на думку авторів, слід обмежитись 3-ма (як на рис. 4) або 4-ма фрактальними рівнями. По-перше, така кількість рівнів відповідає конструкції реальних лещат, представленим на ринку промислового обладнання. По-друге, менша кількість рівнів (1 або 2) зводить нанівець переваги фрактальних лещат.

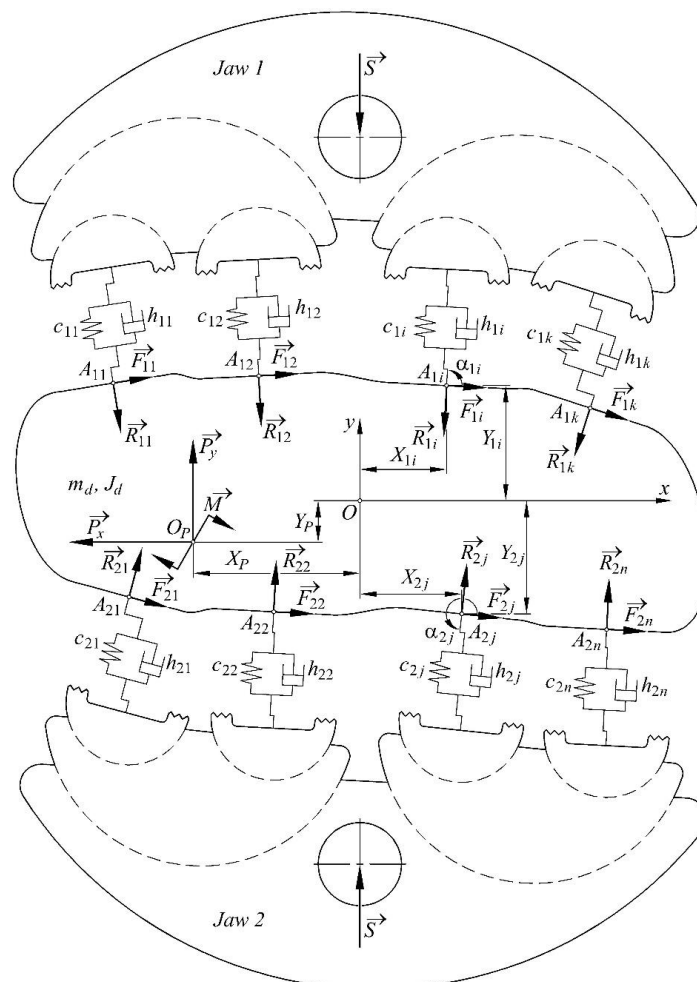


Рис. 4. Результуюча розрахункова схема обробки складнопрофільної деталі, закріпленої у фрактальних лещатах

$$\begin{aligned}
 & \ddot{m}_d \times \ddot{x} + \sum_{i=1}^k \ddot{a}_{1i} R_{1i} \cos \alpha_{1i} + \sum_{j=1}^n \ddot{a}_{2j} R_{2j} \cos \alpha_{2j} + \sum_{i=1}^k \ddot{a}_{1i} F_{1i} \sin \alpha_{1i} + \sum_{j=1}^n \ddot{a}_{2j} F_{2j} \sin \alpha_{2j} = P_x(t) \\
 & \ddot{m}_d \times \ddot{y} + \sum_{i=1}^k \ddot{a}_{1i} R_{1i} \sin \alpha_{1i} + \sum_{j=1}^n \ddot{a}_{2j} R_{2j} \sin \alpha_{2j} + \sum_{i=1}^k \ddot{a}_{1i} F_{1i} \cos \alpha_{1i} + \sum_{j=1}^n \ddot{a}_{2j} F_{2j} \cos \alpha_{2j} = P_y(t) \\
 & J_d \times \ddot{\phi} + \sum_{i=1}^k \ddot{a}_{1i} R_{1i} \sin \alpha_{1i} \times (X_{1i} + x) + \sum_{i=1}^k \ddot{a}_{1i} R_{1i} \cos \alpha_{1i} \times (Y_{1i} + y) + \sum_{i=1}^k \ddot{a}_{1i} F_{1i} \sin \alpha_{1i} \times (Y_{1i} + y) + \\
 & + \sum_{i=1}^k \ddot{a}_{1i} F_{1i} \cos \alpha_{1i} \times (X_{1i} + x) + \sum_{j=1}^n \ddot{a}_{2j} R_{2j} \sin \alpha_{2j} \times (X_{2j} + x) + \sum_{j=1}^n \ddot{a}_{2j} R_{2j} \cos \alpha_{2j} \times (Y_{2j} + y) + \\
 & + \sum_{j=1}^n \ddot{a}_{2j} F_{2j} \sin \alpha_{2j} \times (Y_{2j} + y) + \sum_{j=1}^n \ddot{a}_{2j} F_{2j} \cos \alpha_{2j} \times (X_{2j} + x) = \\
 & = M(t) + P_x(t) \times (Y_p + y) + P_y(t) \times (X_p + x)
 \end{aligned} \quad (1)$$

де

$$\begin{aligned}
 \ddot{a}_{1i} R_{1i} &= h_{1i} \times \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + c_{1i} \times \sqrt{x^2 + y^2} + \frac{S}{k} \\
 \ddot{a}_{2j} R_{2j} &= h_{2j} \times \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + c_{2j} \times \sqrt{x^2 + y^2} + \frac{S}{n}
 \end{aligned} \quad (2)$$

та

$$\begin{aligned}
 \ddot{a}_{1i} F_{1i} &= R_{1i} \times f \\
 \ddot{a}_{2j} F_{2j} &= R_{2j} \times f
 \end{aligned} \quad (3)$$

Процес фрезерування, який прийнято за основний робочий процес, характеризується сумарною силою різання P і сумарним моментом різання M , який прикладений в тій же точці O_p . Сама точка O_p характеризується координатами X_p, Y_p відносно геометричного центру лещат – точки O .

Таким чином, процес фрезерування забезпечує потрібні силові фактори як для плоскої моделі. Силові фактори процесу різання не є постійними в часі, а залежать від ряду випадкових чинників. Тому попередньо приймається, що випадкові відхилення значень силових факторів процесу фрезерування будуть в межах 10%.

Наступним етапом підготовки до математичного моделювання є визначення руху фрези відносно точки O . При нерухомій фрезі вважається, що точка O_p нерухома, тобто, її координати X_p, Y_p незмінні. Натомість, при рухомій фрезі одна або обидві координати X_p, Y_p змінні в часі.

Оскільки в універсальних фрезерних верстатах величина подачі виставляється органами керування верстату і в процесі фрезерування є

величиною незмінною, то вважається, що при згаданих рухах (вздовж осі, по прямокутнику та діагонально) координати X_p, Y_p змінюються за лінійним законом. Передбачається, що рух по колу та еліпсу, а також неправильне переміщення можуть бути реалізовані на верстаті з ЧПК, при цьому координати X_p, Y_p змінюються за нелінійним законом, тобто $v_x = \text{var}$ та $v_y = \text{var}$. Головною метою віртуального експерименту на даному етапі є порівняння заданої та реальної траєкторій фрези і аналіз впливу параметрів пружно-демпфуючих елементів, зусилля затиску тощо на результат.

На підставі аналізу елементів математичної моделі, варіантів руху фрези та деяких вищезгаданих допущень складається морфологічна матриця варіантів проведення віртуального експерименту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю. М., Сінмін Г., Самойленко О. В. Передумови використання системно-морфологічного підходу та теорії фракталів при створенні лещат для об'єктів складної форми. Наукові вісті КПП. 2021. № 4. С. 52–57. URL: <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.261849>
2. Кузнецов Ю. М., Сінмін Г., Самойленко О. В. Створення математичної моделі процесу фрезерування складнопрофільної деталі, закріпленої у фрактальних лещатах. Перспективні технології та прилади. 2023. № 22. С. 74–80. URL: <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-11>
3. Лещата : пат. 21917 Україна : B25B1/00. № u200611012 ; заявл. 18.10.2006 ; опубл. 10.04.2007, Бюл. № 4. 3 с. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/304575> (дата звернення: 11.01.2024)
4. Stage black aluminum fractal vise for hobby - AliExpress. [aliexpress.com. URL: https://a.aliexpress.com/_Ew1hdZL](https://a.aliexpress.com/_Ew1hdZL) (дата звернення: 22.11.2023)
5. Stage stainless fractal vise for use - AliExpress. [aliexpress.com. URL: https://a.aliexpress.com/_ExwSmKh](https://a.aliexpress.com/_ExwSmKh) (дата звернення: 22.11.2023)
6. Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape : patent US1059545A United States : B25B5/163. No. US1912685288A ; applied on 21.03.2012; published on 22.04.2013. 10 p. URL: <https://patents.google.com/patent/US1059545A/en>
7. Fractal Vise - AliExpress. [aliexpress.com. URL: https://a.aliexpress.com/_EGbo3EN](https://a.aliexpress.com/_EGbo3EN) (дата звернення: 22.11.2023)
8. Model 700 Ultimate | Remington. Remington. URL: <https://www.remarms.com/rifles/muzzleloading/model-700-ultimate> (дата звернення: 11.01.2024)
9. Simulink - Simulation and Model-Based Design. MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink. URL: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> (дата звернення: 11.01.2024)

MATHEMATICAL MODELING OF THE MILLING PROCESS OF COMPLEX- PROFILE OBJECTS CLAMPED IN A FRONTAL VICE

Yuriy Kuznetsov, Oleksii Samoilenko, Gao Xinmin

Abstract. *It is known that fractal vices are available on the machine tool market, but in a very limited number and with an unjustifiably inflated cost. The report presents the results of research performed by the authors for the first time with fractal vices. This makes it possible to evaluate the effectiveness of using fractal vices and to direct research to the search for cheaper alternative options.*

Keywords: *vise, fractals, machine, milling, modeling, morphology*

REFERENCE

1. Yu. M. Kuznetsov, G. Sinmin, O. V. Samoilenko. Prerequisites for using the system-morphological approach and the theory of fractals in the creation of vices for objects of complex shape. Scientific news of KPI. 2021.No.4.P. 52–57. URL: <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.261849>
2. Yu. M. Kuznetsov, G. Sinmin, O. V. Samoilenko. Creation of a mathematical model of the milling process of a complex profile part fixed in a fractal vise. Promising technologies and devices. 2023. No. 22. P. 74–80. URL: <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2023-22-11>
3. Vise: pat. 21917 Ukraine : B25B1/00. No. u200611012; statement 18.10.2006; published 10.04.2007, Bull. No. 4. 3 p. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/304575> (date of application: 11.01.2024)
4. Stage black aluminum fractal vise for hobby - AliExpress. aliexpress.com. URL: https://a.aliexpress.com/_Ew1hdZL (access date: 11/22/2023)
5. Stage stainless fractal vise for use - AliExpress. aliexpress.com. URL: https://a.aliexpress.com/_ExwSmKh (access date: 11/22/2023)
6. Device for obtaining intimate contact with, engaging, or clamping bodies of any shape: patent US1059545A United States: B25B5/163. No. US1912685288A; applied on 21.03.2012; published on 22.04.2013. 10 p.m. URL: <https://patents.google.com/patent/US1059545A/en>
7. Frastal Vise - AliExpress. aliexpress.com. URL: https://a.aliexpress.com/_EGbo3EN (access date: 11/22/2023)
8. Model 700 Ultimate | Remington. Remington. URL: <https://www.remarms.com/rifles/muzzleloading/model-700-ultimate> (access date: 11.01.2024)
9. Simulink - Simulation and Model-Based Design. MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink. URL: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> (access date: 11.01.2024)

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ВАННИ ДУГОВОЇ ПЕЧІ

Тимошенко С.М., Немцев Е.М.

Донецький національний технічний університет, Луцьк, Україна

Анотація. Чисельне моделювання гідродинаміки і тепломасообміну в сталеплавильній ванні дугової печі (ДСП) в умовах пневматичного перемішування демонструє, що впровадження «глибокої» ванни з коефіцієнтом форми (відношення діаметру до глибини) 2,5 проти традиційного 5,0 забезпечує енергоефективний бульбашковий режим продувки при більших витратах інертного газу. Збільшення діаметру пористої пробки та зростання об'єму двофазної області в «глибокій» ванні дозволяє в 150-т ДСП підвищити потужність перемішування та коефіцієнт конвективної тепловіддачі в рідкій сталі в 2-2,2 та 1,4 рази в середньому, відповідно. В контексті «flat bath» процесу, показано можливість інтенсифікації конвективного плавлення скрапу в ванні у середньому на 24% і, таким чином, збільшення продуктивності та, відповідно, покращення енергоефективності ДСП.

Ключові слова: дугова сталеплавильна піч, енергоефективність, «глибока» ванна, пневматичне перемішування, конвективне плавлення скрапу

Вступ. Стан питання. У контексті Зеленого курсу ЄС щодо зменшення «вуглецевого сліду» сталеплавильний комплекс України отримує можливість подолати структурне та технічне відставання шляхом поступового переходу до сучасної світової практики малих металургійних заводів (ММЗ). У технологічному маршруті ММЗ застосовують дугові сталеплавильні печі (ДСП), зокрема працюючі «flat bath» процесом [1]. Енергоефективність ДСП в значній мірі обумовлена енерговитратним процесом плавлення вихідної шихти. Чисельне моделювання тепломасообміну в ДСП сприяє виявленню шляхів збільшення продуктивності печі та, відповідно, покращення енергоефективності.

Відомі математичні моделі описують, як правило, процеси в рідкій сталеплавильній ванні. D. Guo та G. Irons [2] показали, що 80% енергії дуг передається випромінюванням, 15-18% – теплопровідністю у сталеву ванну, а 2-5 % втрачається в електродах. O. Gonzales, M. Ramirez-Argaez та F. Conejo [3] визначили, що швидкість нагрівання рідкої ванни зростає з довжиною дуги

ДСП. М. Kawakami, R. Takatani, L. Brabie [4] узагальнили параметри тепломасообміну у сталевій ванні з примусовим перемішуванням за допомогою критеріальних рівнянь. J. Li, N. Provatas, G. Irons [5] експериментально визначили фактори інтенсифікації плавлення фрагментів скрапу при безперервному завантаженні у ванну ДСП. D. Guo, D. Swickard, M. Alavanjari et al [6] визначили зв'язок коефіцієнту тепловіддачі в сталеплавильній ванні і потужності перемішування. Автори [7] показали можливість зменшення втрат теплоти випромінюванням поверхні розплаву в ДСП через впровадження «глибокої» ванни.

Однак, у відомих дослідженнях не знайшли належного відображення питання спільного впливу потужності перемішування, що вводиться в піч, та коефіцієнту форми ванни на показники енергоефективності при конвективному плавленні скрапу в інноваційному «flat bath» процесі в ДСП.

Мета роботи полягає у підвищенні енергоефективності ДСП.

Основний матеріал. На основі математичної моделі проведено чисельне дослідження процесів тепломасообміну при пневматичному перемішуванні сталеплавильної ванни в пакеті програм Mathcad. Модель (рис. 1) ґрунтується на положеннях гідродинаміки рідинно-газових систем, складених відносно сталеплавильної ванни D. Mazumdar, J. Evans [8]. Двофазна область, що встановлюється в процесі продувки аргонном через пористу пробку діаметром d_p , має відносний вміст газу φ , умовний кут розкриття γ і радіус вихідної плями r_l . Через меншу щільність двофазна область ініціює циркуляцію розплаву з середньою швидкістю u_m . Відносний вміст газу φ у двофазній області об'ємом V^* при інтенсивності витрати аргону Q_0 (нм³/с) становить:

$$\varphi = n_b V_b / V^* \quad (1)$$

де n_b – кількість бульбашок інертного газу, що водночас знаходяться в двофазній області:

$$n_b = \varepsilon \times Q_0 \times (H_b / u_b) / V^* \quad (2)$$

V_b – середній об'єм бульбашки, м³,

ε – коефіцієнт приведення витрати аргону до робочих умов,

u_b – швидкість спливання бульбашок, м/с.

Циркуляція призводить до усереднення металу в об'ємі ванни за температурою та хімічним складом через перемішування. Потужність пневматичного перемішування N_{ps} (Вт/т) визначається роботою ізотермічного розширення об'єму газу, що вдувають в ванну в одиницю часу Q_0 (нм³/с):

$$N_{ps} = \rho_g \cdot Q_0 \cdot R \cdot T \cdot \ln(1 + H_b / 1,48) / (M \cdot \mu_g) \quad (3)$$

де R – універсальна газова стала, Дж/(кмоль·К)),

1,48 – гідростатична висота стовпа рідкої сталі, м,

M – місткість печі, т,

T – температура металу, К,

ρ_g, μ_g – густина (кг/нм³) і молекулярна маса (кг/кмоль) газу.

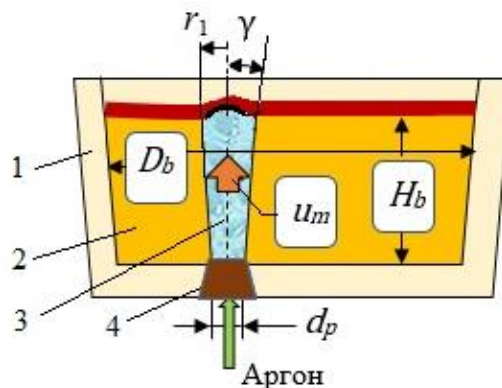


Рисунок 1 – Сталеплавильна ванна дугової печі: 1 – подина, 2 – рідка сталь, 3 – двофазна область, 4 – пориста пробка. Позначення в тексті

Відомі положення доповнено в моделі оцінкою порогової витрати інертного газу за умов збереження бульбашкового режиму, якому відповідає значення $\varphi_m \leq \pi/6$. Такий режим є найбільш енергоефективним для даного коефіцієнта форми ванни $m = D_b/H_b$ і діаметра пробки d_p (рис. 1). Приклад застосування математичної моделі для оцінки енергетичних характеристик пневматичного перемішування проілюстровано на рис. 2.

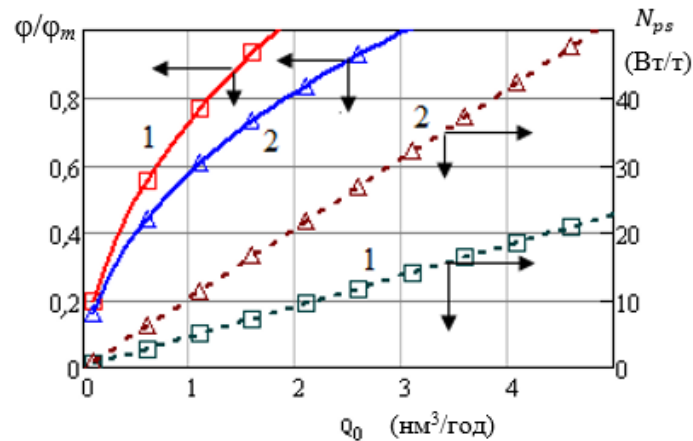


Рисунок 2 – Відносний вміст газу в двофазній області (ϕ/ϕ_m) і потужність пневматичного перемішування N_{ps} в залежності від інтенсивності продувки інертним газом Q_0 :
1 – вихідна ванна, 2 – «глибока» ванна

Модель демонструє можливість реалізувати у «глибокій» ванні ($m = 2,5$) бульбашковий режим продувки при більш високих витратах аргону Q_0 у порівнянні з базовою ванною ($m = 5,0$) і, таким чином, отримати у 2-2,2 рази більшу потужність перемішування, що надає певні переваги при реалізації процесів тепломасообміну.

За допомогою моделі була визначена можливість інтенсифікації конвективного плавлення фрагментованого скрапу в 150-т ДСП при переході від «базової» ванни до «глибокої» за умов збереження місткості печі з урахуванням підвищеного при «flat bath» процесі «болота». При оцінці була застосована відома інженерна методика Семикіна-Старка, що визначає час плавлення фрагменту скрапу τ_{melt} (с) від коефіцієнта конвективної тепловіддачі у ванні α_{con} (Вт/(м²·К)), співвідношення маси m_s (кг) та поверхні F_s (м²) фрагменту, його теплоємності C_s (кДж/(кг·К)), з урахуванням температур ванни t_b , плавлення скрапу t_{ms} та початкової t_0 :

$$\tau_{melt} = \left\{ \left[(m_s / F_s) \cdot C_f \right] / \alpha_{con} \right\} \cdot \ln \left[(t_b - t_0) / (t_b - t_{ms}) \right] \quad (4)$$

Оцінку α_{con} визначали через потужність перемішування N_{ps} згідно даних [6]: $\alpha_{con} = 7412 \cdot N_{ps}^{0,2}$. Результати, з урахуванням розміру пористої пробки d_p , щодо «шредерного» скрапу з насипною щільністю 0,8-0,9 т/м³ представлено на рис. 3.

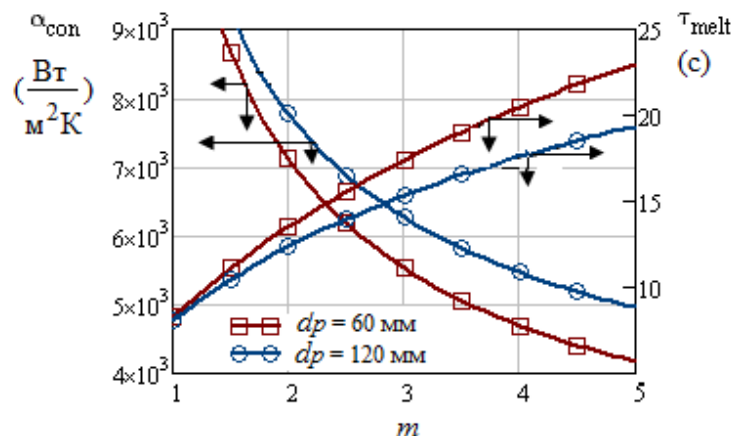


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнту конвективної тепловіддачі в сталеплавильній ванні α_{con} та часу плавлення скрапу τ_{melt} від коефіцієнту форми ванни m за умов варіювання діаметра пористої пробки d_p

За результатами чисельного моделювання, зменшення коефіцієнту форми ванни ДСП, що працює за «flat bath» процесом, з 5,0 до 2,5 дозволяє очікувати на інтенсифікацію плавлення скрапу в умовах пневматичного перемішування в середньому на 24% за рахунок підвищення коефіцієнту конвективної тепловіддачі в середньому в 1,4 рази.

Висновки. Впровадження «глибокої» ванни з коефіцієнтом форми 2,5 проти традиційного 5,0 забезпечує енергоефективний бульбашковий режим продувки при більших витратах інертного газу. Збільшення діаметра пористої пробки та зростання об'єму двофазної області в «глибокій» ванні дозволяє в 150-т ДСП підвищити потужність перемішування та коефіцієнт конвективної тепловіддачі в рідкій сталі в 2-2,2 та 1,4 рази в середньому, відповідно. В контексті «flat bath» процесу, показано можливість інтенсифікації конвективного плавлення скрапу у середньому на 24% і, таким чином, збільшення продуктивності та енергоефективності ДСП.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Malfa, E., Giavani, C., Battaglia, V. The evolution of the Consteel® EAF. SEASIS Quarterly (South East Asia Iron and Steel Institute) May 2012, 41(3).
2. Guo, D., Irons, J. Modeling of radiation intensity in an EAF. Third International Conf. of CRD in the Minerals and process industry. Proc. CSIRO, Melbourne, Australia, 2003, p. 223-228.
3. Gonzalez, O., Ramirez-Argaez, M., Conejo, A. Effect of arc length on fluid flow and mixing phenomena in electric arc furnace. ISIJ International, 2010, vol.50, 1, p. 1-8.

4. Kawakami, M. Takatani, R. Brabie, L. Heat and mass transfer analysis of scrap melting in steel bath. Tetsu to Hagane, 1999, vol. 85, 9, p. 658-665.
5. Li, J., Provatas, N., Irons, G. Modeling of scrap melting in the heel of an EAF. Iron & Steel Technology, 2008, vol.5, 3, p.216-223.
6. Guo, D. Swickard, D. Alavanjaetal, M. Numerical Simulation of Heavy Scrap Melting in BOF Steelmaking. Iron & Steel Technology, 2013, 4, p. 125-132.
7. Timoshenko, S.N, Stovpchenko, A.P., Kostetski, Yu.N. Gubinski, M.V. Energy efficient solutions for EAF steelmaking. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2018, vol. 88, 1, p. 18-24.
8. D. Mazumdar, J., Evans, Modeling of Steelmaking Processes. Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2010, 463 p.

NUMERICAL SIMULATION OF ENERGY-EFFICIENT SOLUTIONS OF THE ARC FURNACE STEEL MELTING BATH

Timoshenko Sergii, Niemtsev Eduard

Abstract. *Numerical modeling of hydrodynamics and heat and mass transfer in the arc furnace (EAF) steel melting bath under pneumatic stirring conditions demonstrates that the introduction of a «deep» bath with a form factor (ratio of diameter to depth) of 2.5 against the traditional 5.0 provides an energy-efficient bubbling mode of purging at higher inert gas flowrate. An increase in the diameter of the porous plug and the volume of the two-phase region in the "deep" bath allows in 150-ton EAF to increase the mixing power and the coefficient of convective heat transfer in liquid steel by 2-2.2 and 1.4 times on average, respectively. In the context of the «flat bath» process, it is shown the possibility of intensifying the convective melting of scrap in the bath by 24% in average and, thus, increasing productivity and, accordingly, improving the energy efficiency of the EAF.*

Keywords: *arc steel melting furnace, energy efficiency, "deep" bath, pneumatic stirring, convective melting of scrap*

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ЗНЕМІЦНЮЮЧОГО
ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ
СТАЛЕВОГО ПРОКАТУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Олійник Е.В., Парусов Е.В., Чуйко І.М.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, Україна

Анотація. *Наведено теоретичне обґрунтування передумов для пластифікації прокату зварювального призначення з легованих сталей за рахунок контрольованого управління процесами структуроутворення при охолодженні металу після гарячого пластичного деформування з прокатного нагріву. Розглянуто конструктивні особливості лінії двостадійного (водо-повітряного) охолодження «Стелмор», необхідної для ефективної реалізації процесу знеміцнюючого термомеханічного оброблення сталевго прокату зварювального призначення.*

Ключові слова: *прокат зварювального призначення, термомеханічне оброблення, лінія двостадійного охолодження «Стелмор», режим охолодження.*

Вступ. Згідно з класичним визначенням термомеханічне оброблення (ТМО) слід розуміти як сукупність операцій деформування, нагрівання й охолодження (у різній послідовності), у результаті яких формування кінцевої структури металу, а отже і його властивостей, відбувається в умовах підвищеної щільності та відповідного розподілу недосконалостей кристалічної будови, що створені пластичним деформуванням [1].

Одним з найбільш розвиненим напрямом використання ТМО є виробництво сталевго прокату різноманітного призначення в потоці безперервних дротяних прокатних станів, суміщених з лініями двостадійного охолодження «Стелмор». При розробці того чи іншого режиму ТМО враховується ряд показників: температура нагрівання заготовок у печі, деформаційний розігрів металу під час прокатування, температура закінчення гарячого деформування, можливості регулювання швидкості післядеформаційного охолодження, а також співвідношення площі поверхні прокату до його об'єму на одиницю довжини (розмірний фактор) [2].

На початкових етапах розвитку технології ТМО при розробленні режимів прагнули досягти найбільших показників міцності сталі та знизити втрату

металу в окалину. При цьому дослідження були сфокусовані на двох основних схемах ТМО: низькотемпературній та високотемпературній, які передбачали гартування сталі після теплого або гарячого деформування аустеніту відповідно. Згодом з'явилися й інші різновиди ТМО прокату, умовно звані квазі-ізотермічними, які дозволили забезпечити формування ферито-перлітної, перлітної або бейнітної структури металу [3].

Зазвичай сталі зварювального призначення є системами із комплексним легуванням, що зумовлює складний структурний стан (наявність фериту, перліту, бейніту і мартенситу у різних співвідношеннях) прокату після охолодження. У зв'язку з безперервною модернізацією волочильного обладнання та вдосконаленням технологічних схем виготовлення зварювального дроту можливість отримання прокату з мінімальною кількістю гартівних структур (мартенситу та бейніту) стає все більш актуальною проблемою, вирішення якої спрямоване на підвищення продуктивності та зниження матеріальних витрат, пов'язаних з проведенням проміжного відпалу переробної заготовки. Ця обставина визначає необхідність розроблення науково обґрунтованої технології знеміцнюючого ТМО прокату з легованих сталей зварювального призначення у сучасних умовах металургійних підприємств, що дозволить забезпечити його подальше енергоефективне перероблення у зварювальний дріт різних профілерозмірів.

Мета роботи – визначити перспективні напрямки пластифікації сталевого прокату зварювального призначення за рахунок контрольованого управління процесами структуроутворення при ТМО.

Матеріал дослідження – сталевий прокат зварювального призначення широкого марочного складу, який піддається в подальшому холодному пластичному деформуванню на металовиробних підприємствах за схемою ресурсозберігаючого прямого волочіння.

Результати дослідження. Одним з найпоширеніших у металургійній практиці є спосіб охолодження сталевого прокату, який має назву «Стелмор-процес», а технологічна ділянка охолодження металу – лінією двостадійного (водо-повітряного) охолодження (рис. 1). У складі такої лінії

прокат після виходу з дротяного блоку охолоджується до певної температури водою у спеціальних форсуночних пристроях, а після розкладання на витки – повітряними потоками, які нагнітаються дуттьовими вентиляторами знизу-вгору на транспортер.

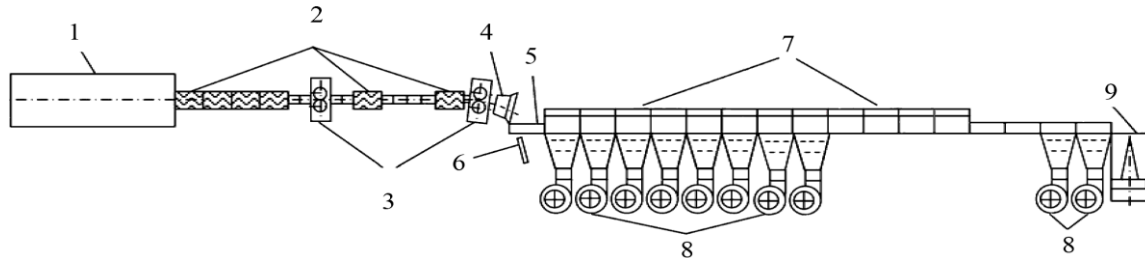


Рисунок 1 – Схема розташування основного обладнання сучасної лінії «Стелмор» [2]
1 – дротяний прокатний блок; 2 – ділянка водяного охолодження; 3 – трайбапарати;
4 – виткоутворювач; 5 – приймальний стіл витків прокату; 6 – пірометр;
7 – ділянка регулируваного повітряного охолодження з роликовим транспортером і теплоізоляційними кришками; 8 – дуттьові повітряні вентиляторні системи;
9 – шахта виткозбірника

В залежності від умов проведення гарячого деформування (варіювання температури, ступеня і швидкості деформації, тривалості післядеформаційного витримування) може спостерігатися широкий спектр структурних станів деформованого металу: від гаряченаклепаного до статично рекристалізованого [4]. Ці структурні стани, зафіксовані охолодженням, і визначають комплекс механічних властивостей прокату за кімнатної температури після протікання відповідних фазових перетворень.

На початкових стадіях гарячого деформування завжди відбувається деформаційне зміцнення, пов'язане з підвищенням щільності дислокацій. Відновлювальними (знеміцнюючими) процесами, що зменшують щільність дислокацій під час гарячого деформування, можуть бути динамічний зворот (полігонізація) і динамічна рекристалізація. Після динамічної рекристалізації, особливо коли вона відбувається в умовах накладення один на одного циклів знеміцнення-зміцнення при багатостадійному вальцюванні на прокатному обладнанні, метал містить підвищену щільність дефектів кристалічної будови, що слугує термодинамічним стимулом для відновлювальних процесів після закінчення гарячого деформування. Існують три типи мимовільних

відновлювальних процесів після гарячого деформування: статичний зворот (полігонізація), метадинамічна рекристалізація та статична рекристалізація (рис. 2).

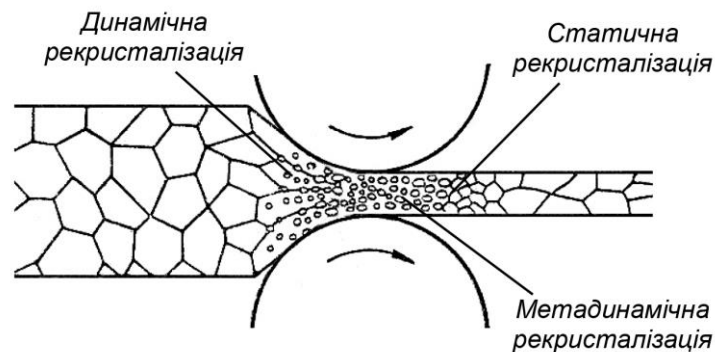


Рисунок 2 – Схема протікання динамічних і статичних відновлювальних процесів при гарячому деформуванні методом прокатування

Якщо динамічно рекристалізований метал після виходу з дротяного прокатного блоку піддавати післядеформаційним витримкам за температури закінчення гарячого деформування, то у ньому можуть протікати процеси статичної полігонізації (надлишкові дислокації будуть перебудовуватися у субграниці), а також метадинамічної та статичної рекристалізації (надлишкова кількість дислокацій буде ліквідована у результаті міграції великокутових границь). Метадинамічна рекристалізація аустеніту відрізняється від статичної тим, що вона протікає без інкубаційного періоду за рахунок «свіжих» ненаклепаних зародків рекристалізованих зерен, сформованих динамічною рекристалізацією, спроможних до зростання у статичних умовах безпосередньо після закінчення гарячого деформування [4]. Статична рекристалізація пов'язана з формуванням нових зародків, здатних до наступного зростання за рахунок матриці гарячедеформованого металу, у якій в тій чи іншій мірі пройшли процеси динамічної та метадинамічної рекристалізації, але зберіглася підвищена щільність дислокацій [5].

Таким чином, саме процеси метадинамічної та статичної рекристалізації, що протікають після динамічної рекристалізації та статичної полігонізації, є визначальними при знеміцнюючих схемах ТМО прокату. Знеміцнюючий ефект при ТМО досягається регулюванням величини динамічно рекристалізованого аустенітного зерна шляхом прискореного водяного охолодження металу від

температури закінчення гарячого деформування (1150–1050 °C) до температури розкладання прокату на витки перед початком стадії повітряного охолодження (950–850 °C). Перетворення дрібнозернистого аустеніту при такій схемі ТМО починається за більш високих температур у порівнянні з крупнозернистим (після протікання у достатній мірі процесів метадинамічної та статичної рекристалізації) і супроводжується утворенням більшої об'ємної частки структурно-вільного фериту, зменшенням твердорозчинного зміцнення за рахунок зниження концентрації вуглецю у фериті й меншою вірогідністю утворення структур бейнітного та мартенситного типу при наступному уповільненому охолодженні на транспортері під теплоізоляційними кришками [6].

Контрольоване управління вказаними процесами структуроутворення при охолодженні металу з прокатного нагріву на лінії Стелмор створює необхідні передумови для вирішення важливої науково-прикладної проблеми – пластифікації сталевих прокатів зварювального призначення з легованих сталей.

З метою створення умов ефективного охолодження металу постійно удосконалюються конструкції обладнання лінії «Стелмор». При виробництві прокату з низьковуглецевих легованих, у тому числі й складнолегованих сталей зварювального призначення, потрібен уповільнений режим на стадії повітряного охолодження (збільшення тривалості витримування прокату під теплоізоляційними кришками із середньою швидкістю охолодження не більше 0,3 °C/c) [3], що зумовило створення лінії «довгий Стелмор» (загальною довжиною ділянки водо-повітряного охолодження 100–150 м), яка є більш ефективною і універсальною у порівнянні з лінією «короткий Стелмор» (довжина ділянки 60–70 м).

Ідеологія створення лінії Стелмор довжиною до 150 м з можливістю регульованого управління повітряними потоками при охолодженні металу, яка пропагувалась компанією «Danieli» (Італія), спочатку на практиці не знайшла масового використання, через те, що металургійні підприємства не усвідомили безперечну важливість такого обладнання. Однак у подальшому при

модернізації існуючих виробництв і проектуванні нових цей підхід був переглянутий металургами у всьому світі з наданням переваги лініям «довгий Стелмор», що дозволило реалізовувати більш ширший спектр режимів двостадійного охолодження сталевих прокату різноманітного призначення й ефективно впливати на формування його структури та властивостей.

Висновки. Проаналізовано основні відновлювальні (знеміцнюючі) структурні процеси, що відбуваються як у процесі гарячого деформування аустеніту, так і безпосередньо після його завершення. Показано, що процеси метадинамічної та статичної рекристалізації, які протікають після динамічної рекристалізації та статичної полігонізації, є визначальними при знеміцнюючих схемах ТМО сталевих прокату. Знеміцнюючий ефект при ТМО досягається шляхом регулювання величини динамічно рекристалізованого аустенітного зерна шляхом прискореного водяного охолодження металу від температури закінчення гарячого деформування до температури розкладання прокату на витки перед початком стадії повітряного охолодження на лінії «Стелмор». Теоретично обґрунтовано, що контрольоване управління вказаними процесами структуроутворення при охолодженні металу з прокатного нагріву створює необхідні передумови для пластифікації прокату зварювального призначення з легованих сталей. Розглянуто конструктивні особливості лінії двостадійного охолодження «Стелмор», необхідної для ефективної реалізації процесу знеміцнюючого ТМО сталевих прокату зварювального призначення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Degarmo E. P., Black J. T., Kohser R. A. Materials and Processes in Manufacturing (9th ed.). 2003. Wiley. 388 p.
2. Парусов Е. В., Сичков О. Б., Губенко С. І., Малашкін С. О., Сагура Л. В. Про ефективні шляхи вдосконалення режимів регульованого повітряного охолодження бунтового прокату в промислових умовах. Наукові праці БНТУ. 2017. № 3. С. 1–9.
3. Parusov V. V., Parusov O. V., Chuyko I. N., Sychkov A. B. Scientific and technological aspects of high-grade rolled wire production. Metallurgical and Mining Industry. 2010. Vol. 2. No. 2. P. 137–142.
4. Raabe D. Recovery and Recrystallization: Phenomena, Physics, Models, Simulation. Physical Metallurgy (5th ed.). 2014. P. 2291–2397. DOI: 10.1016/B978-0-444-53770-6.00023-X.

5. Montheillet F., Lépinoux J., Weygand D., Rauch E. Dynamic and Static Recrystallization. Advanced Engineering Materials. 2001. Vol. 3. Iss. 8. P. 587–589. DOI: 10.1002/1527-2648(200108)3:8<587::AID-ADEM587>3.0.CO;2-V
6. Parusov V. V., Chuyko I. N., Parusov O. V., Sychkov A. B., Suhomlin V. I. Scientific and technological aspects of production wire rod enhanceable ability for deformation from steels of Sv-08GNM and Sv-08G1NMA grades. Metallurgical and Mining Industry. 2013. No. 6. P. 61–64.

THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF SOFTENING THERMOMECHANICAL TREATMENT OF WELDING WIRE ROD

Eduard Oliinyk, Eduard Parusov, Ihor Chuiko

Abstract. *The theoretical justification of the prerequisites for the plasticization of welding wire rod from alloy steels due to the management of the processes of structure formation during cooling of the metal after hot plastic deformation is given. It is shown that the processes of metadynamic and static recrystallization of austenite, which occur after dynamic recrystallization and static polygonization, are decisive in the softening schemes of thermomechanical treatment of wire rod. The softening effect during thermomechanical treatment is achieved by adjusting the size of the dynamically recrystallized austenite grain through accelerated water cooling of the metal from the temperature of finish hot deformation to the temperature of the folding out of the wire rod into coils before the start of the air-cooling stage on the "Stelmore" line. The transformation of fine-grained austenite begins at higher temperatures compared to coarse-grained and is accompanied by the formation of a larger fraction of structurally free ferrite and a decrease in the fraction of bainite and martensite during the subsequent slow cooling on the conveyor under heat-insulating covers. The structural features of the "Stelmor" line, necessary for the effective implementation of the process of softening thermomechanical treatment of welding wire rod, are considered.*

Keywords: *welding wire rod, thermomechanical treatment, two-stage cooling line "Stelmor", cooling mode.*

REFERENCE

1. Degarmo E. P., Black J. T., Kohser R. A. Materials and Processes in Manufacturing (9th ed.). 2003. Wiley. 388 p.
2. Parusov E. V., Sychkov O. B., Gubenko S. I., Malashkin S. O., Sahura L. V. About effective ways of improving the modes of regulated air cooling of wire rod in industrial conditions. Scientific works of VNTU. 2017. No. 3. P. 1–9.
3. Parusov V. V., Parusov O. V., Chuyko I. N., Sychkov A. B. Scientific and technological aspects of high-grade rolled wire production. Metallurgical and Mining Industry. 2010. Vol. 2. No. 2. P. 137–142.

4. Raabe D. Recovery and Recrystallization: Phenomena, Physics, Models, Simulation. Physical Metallurgy (5th ed.). 2014. P. 2291–2397. DOI: 10.1016/B978-0-444-53770-6.00023-X.
5. Montheillet F., Lépinoux J., Weygand D., Rauch E. Dynamic and Static Recrystallization. Advanced Engineering Materials. 2001. Vol. 3. Iss. 8. P. 587–589. DOI: 10.1002/1527-2648(200108)3:8<587::AID-ADEM587>3.0.CO;2-V
6. Parusov V. V., Chuyko I. N., Parusov O. V., Sychkov A. B., Suhomlin V. I. Scientific and technological aspects of production wire rod enhanceable ability for deformation from steels of Sv-08GNM and Sv-08G1NMA grades. Metallurgical and Mining Industry. 2013. No. 6. P. 61–64.

ШВИДКІСТЬ КОРОЗІЇ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ТРУБНИХ СТАЛЕЙ У РІЗНИХ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Петрина Дмитро Юрійович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Анотація. Низьковуглецеві сталі є основним матеріалом для виробництва магістральних нафто- і газопроводів. В даний час у світовій практиці використовуються сталі нового покоління типу X70, X80, проте трубопроводи, які експлуатуються більше 45 років виготовлялися зі сталей 17Г1С (X50, X52). Корозія внутрішньої і зовнішньої частин труб є основним фактором виходу з ладу трубопроводів. Досліджено вплив агресивних середовищ на швидкість корозії низьковуглецевих сталей різних поколінь. Встановлено, що для більш агресивного середовища різниця в швидкості корозії для різних сталей стає більш істотною, а сталь X80 показала найкращі показники корозійної стійкості в різних агресивних середовищах.

Ключові слова: трубні сталі, корозія металів, газонафтопроводи, електрохімічні показники, швидкість корозії, корозійна проникність.

Ключовою причиною виходу з ладу трубопроводів є зовнішня і внутрішня корозія матеріалу труб і термін безпечної експлуатації в значній мірі залежить від корозійної тривкості матеріалів, що експлуатуються. Як відомо основними чинниками, які впливають на швидкість корозії є температура середовища, тиск у трубах, концентрація агресивного середовища [1]. Також впливатимуть чинники, такі як час експозиції, перемішування розчину, термін експлуатації труб, матеріал та технологія виготовлення [1-4]. Тому рівноцінно дослідити швидкість корозії для різних трубних сталей і комплексно врахувати всі фактори є достатньо складно.

В статті порівняно швидкість корозії для трьох сталей 17Г1С, X70, X80 з впливом трьох типів середовищ [1-4]. Перша сталь є основним матеріалом труб на території України і на певних ділянках трубопроводів термін експлуатації складає більше 50 років. Сталі X70 та X80 за стандартом API є основними сталями, які використовуються для виготовлення труб на території Америки, Канади, Європи.

Таблиця 1.

Хімічний склад досліджуваних сталей

Сталь	C	P	S	Si	Mn	Cu	Al	Ni	Mo	Nb
17Г1С	0,2	0,01	0,04	0,4	1,3	0,1	0,04	0,15	-	-
X70	0,06	0,08	0,01	0,25	1,65	0,2	0,026	0,18	0,1	0,04
X80	0,04	0,06	0,002	0,22	1,88	0,23	0,04	0,26	0,29	0,1

Як видно з таблиці 1 сталь 17Г1С має найвищий процентний вміст вуглецю, у сталях X70 та X80 збільшений процентний вміст марганцю, що буде суттєво підвищувати показники міцності. Основною відмінністю між цими сталями є технологія прокату листів. Для сталей новішого покоління застосовується сучасний високотемпературний прокат з додаванням легуючого елементу ніобію, який буде створювати структуру голчастого фериту. Такий процес виготовлення буде сприяти отриманню кращих механічних характеристик, а невисокий процентний вміст вуглецю покращить зварюваність таких сталей.

Порівняння швидкості корозії проводили з можливим відбором однакових характеристик середовищ, які будуть впливати на швидкість корозії. Використовували 3% розчин NaCl, водну емульсію продуктів транспортування нафти (концентрація H_2S від 1 до 5 мг/м³) та ґрунтовий розчин з концентрацією сірководню від 7 до 20 мг/м³. Температуру дослідження брали в межах від 300K до 340K, тиск в трубах $p=0,1$ МПа. Результати порівнянь представлені на рис. 1

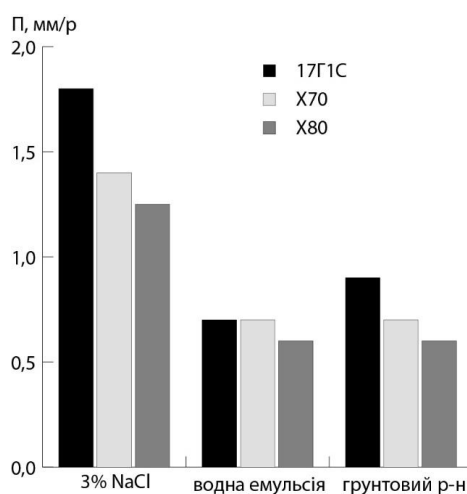


Рисунок 1 - Швидкість корозії трубопровідних сталей у різних середовищах

По результатах порівнянь можна зробити висновки, що найбільший рівень швидкості корозії виникає в більш агресивному середовищі, як і очікувалося, також спостерігається найбільша різниця цих показників для різних сталей. Менш агресивні середовища дають менший вплив на різницю корозійної тривкості для різних матеріалів і у водній емульсії продуктів транспортування нафти вона майже однакова для всіх матеріалів.

Висновки. Швидкість корозії залежить від багатьох чинників, але ключовими є агресивність середовища та його температура. Сталі новішого покоління завдяки сучасному процесу технології прокатування показали кращі показники корозійної тривкості. Сталь X80 показала найкращі показники швидкості корозії, а у поєднанні з високими показниками міцності та зварюваності вона є основним матеріалом для виготовлення трубопроводів великого діаметру в цілому світі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Петрина Д. Ю. Вплив тривалої експлуатації на корозійну стійкість трубної сталі 17Г1С / Д. Ю. Петрина // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – №3(36). – С. 17–22.
2. Xinhua Wang, Xuting Song, Yingchun Chen, Zuquan Wang, Liuwei Zhang Corrosion Behavior of X70 and X80 Pipeline Steels in Simulated Soil Solution. Int. J. Electrochem. Sci., - 13 (2018) 6436 – 6450, doi: 10.20964/2018.07.12
3. Chengqiang Ren, Li Liu, Feng Yi, Minglin Guo, Tao Zou, and Ning Xian. Internal Corrosion Behaviors of API X80 Welding Pipeline. – ICPTT 2009: Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications. [https://doi.org/10.1061/41073\(361\)170](https://doi.org/10.1061/41073(361)170)
4. Zhenguang Liu, Xiuhua Gao, Linxiu Du, Jianping Li, Ping Li, Chi Yu, R.D.K. Misra, Yuxin Wang Comparison of corrosion behaviour of low-alloy pipeline steel exposed to H₂S/CO₂-saturated brine and vapour-saturated H₂S/CO₂ environments. Electrochimica Acta. – Volume 232, 1 April 2017, Pages 528–541. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.02.114>
5. Петрина, Д. Ю., Петрина, Л. Г. Вплив корозійного середовища на сучасні сталі магістральних трубопроводів. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields, - 2(83), p. 95–104. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-2\(83\)-95-104](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-2(83)-95-104)

CORROSION RATE OF LOW-CARBON PIPES STEEL IN VARIOUS AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

Dmytro Petryna

Abstract. Low-carbon steels are the main material for the production of main oil and gas pipelines. Currently, new generation steels of the X70, X80 type are used in global

practice, however long-term pipelines are made of 17Г1С steels (X50, X52). Corrosion of the inner and outer parts of pipes is the main factor in the failure of pipelines. The study examines the influence of aggressive environments on the corrosion rate of low-carbon steels of different generations. It was found that for a more aggressive environment the difference in corrosion rate for different steels becomes more significant, and X80 steel showed the best indicators of corrosion resistance in various aggressive environments.

Keywords: *pipe steels, corrosion of metals, gas and oil pipelines, electrochemical indicators, corrosion rate, corrosion permeability.*

REFERENCE

1. Petryna D.Yu. Effect of long-term operation on the corrosion resistance of pipe steel 17Г1С / D.Yu. Petryna // Exploration and development of oil and gas fields. – 2010. – No. 3(36). – P. 17–22.
2. Xinhua Wang, Xuting Song, Yingchun Chen, Zuquan Wang, Liuwei Zhang Corrosion Behavior of X70 and X80 Pipeline Steels in Simulated Soil Solution. Int. J. Electrochem. Sci., - 13 (2018) 6436 – 6450, doi: 10.20964/2018.07.12
3. Chengqiang Ren, Li Liu, Feng Yi, Minglin Guo, Tao Zou, and Ning Xian. Internal Corrosion Behaviors of API X80 Welding Pipeline. – ICPTT 2009: Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications. [https://doi.org/10.1061/41073\(361\)170](https://doi.org/10.1061/41073(361)170)
4. Zhenguang Liu, Xiuhua Gao, Linxiu Du, Jianping Li, Ping Li, Chi Yu, R.D.K. Misra, Yuxin Wang Comparison of corrosion behaviour of low-alloy pipeline steel exposed to H₂S/CO₂-saturated brine and vapour-saturated H₂S/CO₂ environments. Electrochimica Acta. – Volume 232, 1 April 2017, Pages 528-541. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.02.114>
5. Petryna, D. Yu., Petryna, L. G. Influence of a corrosive environment on modern steel main pipelines. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields, - 2(83), p. 95–104. [https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-2\(83\)-95-104](https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-2(83)-95-104)

АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ТА СПОСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ПРИ SLM

Аджемський С.В.^{1,2}., Кононенко^{1,3} Г.А., Подольський^{1,3} Р.В.

¹ ТОВ «Адитивні лазерні технології України», Україна, Дніпро

² Інститут транспортних систем і технологій Національної
академії наук України

³ Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Україна, Дніпро

Анотація. Адитивне виробництво (далі –*еп.* АМ) є сучасним комплексом технологій, які дають змогу швидко та якісно створювати вироби з унікальною геометрією, яку неможливо або складно виготовити традиційними способами виробництва. Наразі дослідники приділяють увагу двом великим напрямкам, а саме системам якості АМ та пошуку нових закономірностей у вже доволі відомих матеріалах, що виготовлялися традиційним способом. Дана технологія має ряд переваг для виготовлення виробів авіаційно-космічного призначення, але, як і всі технології виробництва, дана технологія має ряд недоліків та проблем. Залишкові внутрішні напруження є однією з особливостей металевих матеріалів, виготовлених шляхом пошарового сплавлення за SLM -технологією, але вони можуть значно впливати на механічні властивості та геометричні параметри. Їх присутність є особливо важливою для матеріалів АМ, що неминуче призводять до значних внутрішніх напружень. Таким чином питання зменшення впливу внутрішніх напружень потребує фундаментального розуміння їх впливу на геометричні параметри та службові характеристики матеріалів АМ.

Ключові слова: залишкові напруження, адитивне виробництво, селективне лазерне плавлення, AISI 316L.

В останні роки виробництво металевих виробів за допомогою вихідної CAD-моделі безпосередньо за електронними даними на основі пошарового виготовлення перетворилося з швидкого прототипування в АМ [1-3]. На відміну від традиційних виробничих технологій, АМ пропонує набагато більшу свободу проектування. Вперше конструкція виробів більше не сильно обмежена методом виробництва, тобто окремими деталями високої складності, наприклад комірчастої конструкції, складна внутрішня структура або охолоджуючі канали можуть бути реалізовані без урахування конкретних правил проектування. Крім того, деталі, розроблені за допомогою комп'ютерних технологій (CAD), можуть бути піддані процедурам топологічної

оптимізації [4] і реалізовані без додаткових витрат на технологічне обладнання та операції при виготовленні. Це дає безліч переваг: складна геометрія, зниження ваги, короткий час виконання замовлення, зменшення відходів, інтеграція функцій і т. д. При застосуванні технології SLM метал піддається впливу лазера, що призводить до його плавлення. Коли метал остигає, виникають напруження стиснення, які можуть призводити до зміни початкової форми (викривлення) виробу [5-8]. Будова металу деталей, виготовлених за SLM- технологією, має такі особливості, як дрібнозерниста структура, шаруватість, текстура в напрямку росту чи побудови виробу. Також такі вироби схильні до виникнення внутрішніх напружень через градієнт температур та складну геометрію, перехід від великого перерізу до малого. Наявність внутрішніх напружень може призводити до зниження міцності, корозійної стійкості, втомної міцності та стійкості до корозійного розтріскування. Тому для деталей зі сталі AISI 316L, виготовлених за SLM -технологією, необхідні дослідження для попередження утворення та зменшення залишкових напружень.

В результаті поведінки матеріалу зразків, надрукованих при різних стратегіях побудови, формуються області напружень, що розтягуються або стискаються, які можна представити у вигляді істинної діаграми розтягування (рис. 1), яка б показала відношення між подовженням і напруженням. При перевищенні границі плинності, метал демонструє пластичну поведінку, що характеризується невідновлюваною пластичною деформацією, і залежність деформації від напруження стає нелінійною.

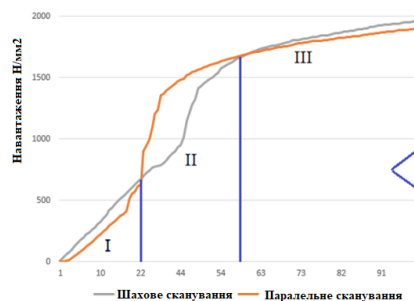


Рисунок 1 – Справжня діаграма розтягування зразків з паралельною і шаховою стратегією сканування: I – ділянка пропорційності, II – ділянка плинності, III – ділянка самозміцнення [9]

При формуванні залишкових напружень крім високих швидкостей охолодження і постійного сусідства рідкого і твердого металу в процесі побудови деталі, важливою є нерівномірність розподілу залишкових напружень, пов'язаних з геометрією: наявність виступаючих частин, переходів від товстого до тонкого перетину, гострокутних елементів та отворів.

При виготовленні деталей за технологією SLM в області контуру (краю) масивного виробу виникають напруження, які можуть призводити до утворення ряду дефектів [10]: зміни вихідної форми (викривлення) виробу [8], утворення пір і розшарування між новим і холоначим металом через зміни його геометрії, виникнення мікротріщин, формування вираженої текстури, що призводить до зниження механічних властивостей і їх анізотропності.

У зв'язку з цим важливою є мінімізація залишкових напружень в процесі виготовлення деталей за технологією SLM. Для запобігання відхилень за геометрією деталі необхідно враховувати співвідношення між щільністю питомої енергії, що підводиться, і її поглинанням під час процесу [11]. Однак, оптимальні технологічні параметри [12] і стратегії побудови [13] SLM - процесу для полікристалічних матеріалів складно передбачити, оскільки якість виробу залежить від великої кількості факторів. Пошук шляхів попередньої оцінки і розробка заходів щодо зниження залишкових напружень при виготовленні деталей за технологією SLM є актуальним завданням сучасного матеріалознавства. Одним з підходів є використання термообробки для зняття внутрішніх напружень, щоб зменшити величину та наступний вплив внутрішніх напружень [13]. Застосування термічної обробки також повинно бути збалансованим з огляду на вартість виробництва, бажану мікроструктуру та необхідні механічні властивості сплавів.

Зазвичай термічну обробку застосовують для формування кінцевого комплексу механічних властивостей та структурного стану, але при цьому режими мають враховувати не лише хімічний склад, а й вихідну структуру перед термічною обробкою. Для виробів, виготовлених за SLM -технологією, які мають відмінну вихідну структуру після побудови, порівняно з традиційним виробництвом, неможна застосовувати ті самі режими без

врахування вказаних особливостей будови металу. Вплив параметрів термічної обробки для деталі зі сталі марки AISI 316L, виготовленої за SLM - технологією, на залишкові внутрішні напруження є недостатньо дослідженим. Таким чином, є необхідність детального дослідження впливу термічної обробки на механічні властивості та зменшення внутрішніх напружень з врахуванням способу виготовлення деталей з сталі AISI 316L та вихідного структурного стану.

Висновок

За результатами аналітичних досліджень встановлено, що під час процесу виготовлення деталей за допомогою SLM характерним є те, що розтягуючі внутрішні напруження розвиваються на поверхнях, які врівноважені стискаючими внутрішніми напруженнями в об'ємі. Але слід зазначити, що розроблені та впроваджені параметри та стратегії сканування дозволяють врівноважити внутрішні напруження уникаючи викривлень та руйнувань. Проте найбільш підходящим методом для досягнення нейтрального напруженого стану є термічна обробка для зняття внутрішніх напружень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Vayre B., Vignat F., Villeneuve F. (2012). Metallic additive manufacturing: state-of-the-art review and prospects. *Mech. Ind.*, (13). 89–96.
2. Gu D. D., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R. (2012). Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms. *Int. Mat. Rev.*, 57, (3), 133–164.
3. Wong K. V., Hernandez A. (2012). A review of additive manufacturing, *ISRN Mech. Eng.*, 1–10.
4. Brackett D., Ashcroft I., Hague R. (2011). Topology optimization for additive manufacturing. *Proc. SFF Symp. Austin Texas*, 348–362.
5. Аджамський С. В., Кононенко Г. А., Подольський Р. В. (2020) Вплив технологічних параметрів SLM-процесу на пористість металовиробів. *Автоматичне зварювання*, (10), 14–20.
6. Adjamskiy S., Kononenko G., Podolskyi R. (2020) Mechanical properties of heat-resistant superalloy Inconel 718 obtained by selective laser melting and heat treatment under different load directions. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 99 (3), 75–85.
7. Кононенко Г. А., Аджамський С. В., Подольський Р. В., Сафронова О. А., Шпак Е. А. (2022). Порівняльні дослідження механічних властивостей зразків сталі 316L, виготовлених на машині ALFA-150 на відповідність світовим аналогам. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*, (36). 370–378. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-36-370-378>
8. Аджамський С. В., Подольський Р. В., Кононенко Г. А. (2021). Дослідження впливу шорсткості на властивості зразків зі сталі AISI 316L методом реєстрації

макролокалізаційних полів. *Системні технології*, 4, (135), 3–11.
<https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-135-2021-01>

9. Аджамський С. В., Кононенко Г. А., Подольський Р. В. Вплив параметрів SLM-процесу на формування області кордонів деталей з жароміцного нікелевого сплаву Inconel 718. *Космічна наука і технологія*. 2021. 27, № 6 (133). С. 105–114.

10. Parida A.K., Maity K. Comparison the machinability of Inconel 718, Inconel 625 and Monel 400 in hot turning operation. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2018. Vol. 21. P. 364–370.

11. Criaes L.E., Arisoy Y.M., Lane B. et al. Laser powder bed fusion of nickel alloy 625: experimental investigations of effects of process parameters on melt pool size and shape with spatter analysis. *Int J Mach Tools Manuf*. 2017. Vol.121. P. 22–36.

12. Wang D. Study on energy input and its influences on single-track, multi-track, and multi-layer in SLM. *Int J Adv Manuf Technol*. 2012. №58. P. 1189–1199.

13. Dilip J.J.S., Zhang S., Teng C. Influence of processing parameters on the evolution of melt pool, porosity, and microstructures in Ti-6Al-4V alloy parts fabricated by selective laser melting. *Progress in Additive Manufacturing*. 2017. Vol.2. P.157–167.

ANALYSIS OF THE CAUSES AND METHODS OF REDUCING RESIDUAL STRESSES IN SLM

Adjamsky S., Kononenko G., Podolskyi R.

Abstract. *Additive manufacturing (hereinafter – en. AM) is a modern set of technologies that make it possible to quickly and qualitatively create products with a unique geometry that are impossible or difficult to produce by traditional production methods. Currently, researchers pay attention to two major areas, namely AM quality systems and the search for new regularities in already well-known materials that were produced in a traditional way. This technology has a number of advantages for the manufacture of aerospace products, but, like all production technologies, this technology has a number of disadvantages and problems. Residual internal stresses are one of the features of metal materials produced by layer-by-layer fusion using SLM technology, but they can significantly affect mechanical properties and geometric parameters. Their presence is especially important for AM materials, which inevitably lead to significant internal stresses. Thus, the issue of reducing the influence of internal stresses requires a fundamental understanding of their influence on the geometric parameters and service characteristics of AM materials.*

Keywords: *residual stresses, additive manufacturing, selective laser melting, AISI 316L.*

REFERENCES:

1. Vayre B., Vignat F., Villeneuve F. (2012). Metallic additive manufacturing: state-of-the-art review and prospects. *Mech. Ind.*, (13). 89–96.
2. Gu D. D., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R. (2012). Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms. *Int. Mat. Rev.*, 57, (3), 133–164.

3. Wong K. V., Hernandez A. (2012). A review of additive manufacturing, *ISRN Mech. Eng.*, 1–10.
4. Brackett D., Ashcroft I., Hague R. (2011). Topology optimization for additive manufacturing. *Proc. SFF Symp. Austin Texas*, 348–362.
5. Adzhamskij S. V., Kononenko G. A., Podolskij R. V. (2020) Vpliv tehnologichnih parametriv SLM-procesu na poristist metalovirobiv. *Avtomatichne zvaryuvannya*, (10), 14–20.
6. Adjamskiy S., Kononenko G., Podolskiy R. (2020) Mechanical properties of heat-resistant superalloy Inconel 718 obtained by selective laser melting and heat treatment under different load directions. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 99 (3), 75–85.
7. Kononenko G. A., Adzhamskij S. V., Podolskij R. V., Safronova O. A., Shpak E. A. (2022). Porivnyalni doslidzhennya mehanichnih vlastivostej zrazkiv stali 316L, vigotovlenih na mashini Alfa-150 na vidpovidnist svitovim analogam. *Fundamentalni ta prikladni problemi chornoyi metalurgiyi*, (36). 370–378. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2022-36-370-378>
8. Adzhamskij S. V., Podolskij R. V., Kononenko G. A. (2021). Doslidzhennya vplivu shorstkosti na vlastivosti zrazkiv zi stali AISI 316L metodom reyestratsiyi makrolokalizacijnih poliv. *Sistemni tehnologiyi*, 4, (135), 3–11. <https://doi.org/10.34185/1562-9945-4-135-2021-01>
9. Adzhamskij S. V., Kononenko G. A., Podolskij R. V. Vpliv parametriv SLM-procesu na formuvannya oblasti kordoniv detalej z zharomicnogo nikelvogo splavu Inconel 718. *Kosmichna nauka i tehnologiya*. 2021. 27, № 6 (133). S. 105–114.
10. Parida A.K., Maity K. Comparison the machinability of Inconel 718, Inconel 625 and Monel 400 in hot turning operation. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2018. Vol. 21. P. 364–370.
11. Ciales L.E., Arisoy Y.M., Lane B. et al. Laser powder bed fusion of nickel alloy 625: experimental investigations of effects of process parameters on melt pool size and shape with spatter analysis. *Int J Mach Tools Manuf*. 2017. Vol.121. P. 22–36.
12. Wang D. Study on energy input and its influences on single-track, multi-track, and multi-layer in SLM. *Int J Adv Manuf Technol*. 2012. №58. P. 1189–1199.
13. Dilip J.J.S., Zhang S., Teng C. Influence of processing parameters on the evolution of melt pool, porosity, and microstructures in Ti-6Al-4V alloy parts fabricated by selective laser melting. *Progress in Additive Manufacturing*. 2017. Vol.2. P.157–167.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУКТУРНОГО СТАНУ СТАЛІ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК НА ЇХ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

Р.В. Подольський, О.А. Сафронова, О.І. Бабаченко,
Кононенко Г.А., Меркулов О. Є.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Дніпро

Анотація. Процес експлуатації транспортних засобів визначає взаємодію колеса і рейки. Від параметрів цього процесу багато в чому залежать безпека руху та основні техніко-економічні показники господарств колії та рухомого складу. Результатом є вплив, що виникає від тертя кочення і особливо від тертя ковзання колеса по рейці при гальмуванні, відносно цих змін відбувається істотне зростання інтенсивності зношування коліс рухомого складу, яке, в свою чергу може призвести до катастрофічних результатів для локомотивного господарства. Також в процесі експлуатації рейки в більшості випадків утворюються дефекти, що мають характер складнонавантаженого стану: її головка піддається зношуванню, зминанню, розтріскуванню і викришуванню, в металі можуть розвиватися контактні-втомні пошкодження.

Ключові слова: залізнична рейка, перліт, бейніт, зносостійкість, колія.

Процес експлуатації транспортних засобів визначає взаємодію колеса і рейки. Від параметрів цього процесу багато в чому залежать безпека руху та основні техніко-економічні показники господарств колії та рухомого складу. Результатом є вплив, що виникає від тертя кочення і особливо від тертя ковзання колеса по рейці при гальмуванні, відносно цих змін відбувається істотне зростання інтенсивності зношування коліс рухомого складу[1], яке, в свою чергу може призвести до катастрофічних результатів для локомотивного господарства. Також в процесі експлуатації рейки [2] в більшості випадків утворюються дефекти, що мають характер складнонавантаженого стану: її головка піддається зношуванню, зминанню, розтріскуванню і викришуванню, в металі можуть розвиватися контактні-втомні пошкодження. [3]

У перлітних сталях зносостійкість зростає в міру збільшення вмісту вуглецю і зменшення міжпластинчастої перлітної відстані. Перліт складається з пластин перлітного фериту і карбіду заліза що чергуються і має відстань між пластинами, яка змінюється в залежності від температури утворення відповідно до умов охолодження рейки після прокатки. При збільшенні

швидкості охолодження відстань між рейками перліту зменшується, отже, збільшується твердість, яка забезпечується в рейках з загартованою головою. Збільшення вмісту вуглецю збільшує об'ємну частку карбідів заліза, які є твердими і мають тенденцію приймати орієнтацію, паралельну зі зношеною поверхнею.

Величина міжпластинчастої відстані впливає на спосіб деформації карбідних пластин в контакті кочення [4]. Товсті пластини карбідів мають тенденцію до розтріскування при високих деформаціях; в той час як тонкі пластини карбіду деформуються пластично, без руйнування [5]. Однак відстань між пластинами перліту не є постійною і, ймовірно, буде варіюватися приблизно нормальним чином щодо цих середніх відстаней. Отже, тонкі пластини карбіду в загартованій голівці рейки з більшою ймовірністю деформуються без утворення тріщин, ніж більш товсті карбіди в стандартній рейковій сталі. Точний спосіб утворення частинок зносу невідомий, але можна припустити, що мікроструктури, в яких пластинки карбіду розтріскуються при деформації (з утворенням порожнин), ймовірно, будуть мати більш низьку зносостійкість, ніж мікроструктура, карбіди яких деформуються пластично.

Таким чином, в перлітних сталях зносостійкість забезпечується за рахунок високого вмісту вуглецю і малої відстані між пластинами перліту (що досягається за рахунок процесу загартування головки рейки), які обидва підвищують твердість. На підтвердження вторинного впливу твердості на знос, Хіракава і інші підвищили твердість зразків з перлітною структурою за рахунок зниження температури відпуску, але в лабораторних випробуваннях дане твердження не підтвердилось (не збільшили зносостійкість) [6-7].

Виходячи з досліджень останніх років [8-9] відомо, що міцність перлітних рейкових сталей досягла межі [10]. Крім того, подальше збільшення вмісту вуглецю вплине на ударну в'язкість та зварюваність матеріалів рейок [11]. Наприклад, у порівнянні з доевтектоїдною рейкою R200 подовження заевтектоїдної рейки R400HT знижується на 6%. Отже, існує гостра потреба в інших альтернативних матеріалах. Бейнітна сталь, що забезпечує як високу

міцність, так і відмінну пластичність, вважається одним з найбільш перспективних напрямків.

Низьковуглецеві бейнітні сталі відрізняються від звичайних перлітних сталей тим, що в них мало карбідів, якщо вони взагалі є. Бейнітні низьковуглецеві сталі, міцність яких більше 1200 МПа при цьому володіють високим рівнем ударної в'язкості, трибологічними властивостями, сприятливою реакцією на великі швидкості деформації, стійкістю до втоми і дешеві у виробництві [12]. Такий комплекс властивостей досягається за рахунок дуже дрібної і сильно зміцненої мікроструктури.

Звичайний верхній бейніт складається з неламеллярної суміші пластин бейнітного фериту з проміжними частинками цементиту. Мікроструктура створюється послідовно: пластини ростуть без дифузії, але потім надлишковий вуглець розподіляється в аустеніті залишковому [13]. Згодом цей збагачений вуглецем аустеніт розпадається на суміш цементиту і фериту. Цементит погіршує властивості, але його виділенню можна запобігти, додавши в сталь достатню кількість кремнію [14], щоб залишити мікроструктуру з пластин бейнітного фериту і збагаченого вуглецем аустеніту.

Як відомо, в ході бейнітного перетворення формування пакету бейнітних рейок відбувається на гранці аустенітного зерна і подальше зростання пакета відбувається вглиб зерна. Пакет бейніту складається з рейок фериту, розділених в основному малокутовими границями [15], в той час як голчастий ферит гетерогенно зароджується на неметалевих включеннях всередині аустенітного зерна і росте в різних напрямках, не утворюючи виражених пакетів, в іншому ж залишаючись подібним з бейнітом [16]. Енергія зародження на границі аустенітного зерна практично завжди залишається нижче, ніж енергія зародження на частці включення і таким чином зародження на частці включення і зародження на границі аустенітного зерна більш переважно з енергетичної точки зору [14,16]. З цього випливає, що структуру сталі, що містить виключно голчастий ферит отримати практично неможливо. У той же час при відносно великому аустенітному зерні ймовірність

інтрагранулярного зародження бейніту як в зварних з'єднаннях, так і в прокаті підвищується [15].

Висновок. За результатами аналітичного огляду систематизовані відомі шляхи підвищення зносостійкості залізничних рейок. Показано, що найбільш ефективним способом підвищення твердості сталей є управління їх хімічним складом шляхом легування, мікролегування і зменшення кількості шкідливих домішок. Перспективним є підхід до підвищення опору через виготовлення залізничних рейок з бейнітною структурою.

ЛІТЕРАТУРА

1. R. Harder. Creep Force – Creepage and Frictional Work Behaviour in Non-Hertzian Counter formal Rail/Wheel Contacts. *Proceedings of IHHN'99 STS-Conference on Wheel/Rail Interface*. 1999. V. 1. p. 207 – 214.
2. B. Paul. J. Hashemi. User's Manual for Program CONTACT. Technical Report No. 4. FRA/ORD-78/27/PB286097. NTIS. Springfield. VA. Sept. 1977.
3. Большаков В.І., Долженков І.Є., Зайцев А.В. "Устаткування термічних цехів. технології термічної та комбінованої обробки металопродукції". Вид.2-е. Дніпропетровськ. РІА Дніпро-VAL. 2010 г. -619с
4. H. de Boer et al.. "Naturally Hard Bainitic Rails with High Tensile Strength." *Stahl und Eisen*. Vol. 115. No. 2.1995. pp. 93-98.
5. N. Jin. "Mechanical Properties and Wear Performance of Bainitic Steels." Ph.D. Thesis. Oregon Graduate Institute. Portland. OR. 1995.
6. N. Jin and P. Clayton. "Effect of Microstructure on Rolling/Sliding Wear of Low Carbon Bainitic Steels." *Wear*. Vol. 202.1997. pp. 202-207
7. W. Heller and R. Schweitzer. "Hardness. Microstructure and Wear Behavior of Steel Rails." 2nd. International Heavy Haul Railway Conference. Colorado Springs. Colorado. 1982. pp. 282-286.
8. Розробка сталей для металопродукції залізничного призначення. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Рослик О.В., Майстренко К.М., Подольський Р.В. Дніпро. «Домінанта-принт». .2021. 298 стор.
9. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Подольський Р. В., Сафронова О. А. Сталь для залізничних рейок з поліпшеними експлуатаційними властивостями. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 56(6). 2020. с 82-87.
10. S. Sharma. S. Sangal. K. Mondal. Wear behaviour of bainitic rail and wheel steels. *Mater. Sci. Technol.* 32 (4) (2016) 266–274.
11. P. Pointner. High strength rail steels-The importance of material properties in contact mechanics problems. *Wear* 265 (2008) 1373–1379.
12. Bhadeshia. H. K. D. H.. ``Hyperbolic Tangents and Alloys of Iron". *Materials World*. 7 . pp. 643-645. 1996.

13. Merkulov, O., Podolskyi, R., Kononenko, A. et al. Development of Promising Steels for Railway Rails of a New Generation Using Modeling of Phase-Structural Transformations. *Trans Indian Inst Met* (2024). <https://doi.org/10.1007/s12666-024-03265-4>.
14. Takahashi. M. and Bhadeshia. H. K. D. H.. ``A Model for the Transition from Upper to Lower Bainite. *Materials Science and Technology*. 6. pp. 592-603. 1990.
15. J.R. Yang. H.K.D.H. Bhadeshia *Advances in Welding Science and Technology* ed. S. David. ASM. Metals Park. ohio. USA (1986). p. 187-191.
16. R.A. Ricks. P.R. Howell. G.S. Barriere *International Conference on Solid-Solid Phase Transformation*. eds. H.I. Aaronson et.al.. TMS-AIME. Warrendale. PA. USA. 1981. p. 463-468.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE STRUCTURAL CONDITION OF STEEL FOR RAILWAY RAILS ON THEIR WEAR RESISTANCE

Podolskyi R., Safronova O., Babachenko O., Kononenko G., Merkulov O.

Abstract. *The process of operating vehicles determines the interaction of the wheel and rail. Traffic safety and the main technical and economic indicators of track management and rolling stock largely depend on these parameters. The result is the effect arising from the rolling friction and especially from the friction of the wheel sliding on the rail during braking, relative to these changes there is a significant increase in the intensity of wear of the wheels of the rolling stock, which, in turn, can lead to catastrophic results for the locomotive industry. Also, in the process of operation of the rail in most cases, defects are formed that have the character of a complicated state: its head is subject to wear, crumpling, cracking and buckling, contact fatigue damage can develop in the metal.*

Keywords: *railway rail, perlite, bainite, wear resistance, track.*

REFERENCE:

1. R. Harder. Creep Force – Creepage and Frictional Work Behaviour in Non-Hertzian Counterformal Rail/Wheel Contacts. *Proceedings of IHHA'99 STS-Conference on Wheel/Rail Interface*. 1999. V. 1. p. 207 – 214.
2. B. Paul. J. Hashemi. User's Manual for Program CONTACT. Technical Report No. 4. FRA/ORD-78/27/PB286097. NTIS. Springfield. VA. Sept. 1977.
3. Bolshakov V.I., Dolzhenkov I.E., Zajcev A.V. *Oborudovanie termicheskikh cehov. tehnologii termicheskoy i kombinirovannoy obrabotki metalloprodukcii*. Izd.2-e. Dnepropetrovsk. RIA Dnepr-VAL. 2010 g. -619s
4. H. de Boer et al.. "Naturally Hard Bainitic Rails with High Tensile Strength." *Stahl und Eisen*. Vol. 115. No. 2.1995. pp. 93-98.
5. N. Jin. "Mechanical Properties and Wear Performance of Bainitic Steels." Ph.D. Thesis. *Oregon Graduate Institute*. Portland. OR. 1995.
6. N. Jin and P. Clayton. "Effect of Microstructure on Rolling/Sliding Wear of Low Carbon Bainitic Steels." *Wear*. Vol. 202.1997. pp. 202-207

7. W. Heller and R. Schweitzer. "Hardness. Microstructure and Wear Behavior of Steel Rails." 2nd. International Heavy Haul Railway Conference. *Colorado Springs, Colorado*. 1982. pp. 282-286.
8. *Rozrobka stalej dlya metaloprodukciji zaliznichnogo prizmachennya*. Babachenko O. I., Kononenko G. A., Roslik O.V., Majstrenko K.M., Podolskij R.V. Dnipro. «Dominanta-print». .2021. 298 stor.
9. Babachenko O. I., Kononenko G. A., Podolskij R. V., Safronova O. A. Stal dlya zaliznichnih rejok z polipshenimi ekspluatacijnimi vlastivostyami. *Fiziko-himichna mehanika materialiv*. 56(6). 2020. s 82-87.
10. S. Sharma. S. Sangal. K. Mondal. Wear behaviour of bainitic rail and wheel steels. *Mater. Sci. Technol.* 32 (4) (2016) 266–274.
11. P. Pointner. High strength rail steels-The importance of material properties in contact mechanics problems. *Wear* **265** (2008) 1373–1379.
12. Bhadeshia. H. K. D. H.. ``Hyperbolic Tangents and Alloys of Iron". *Materials World*. 7 . pp. 643-645. 1996.
13. Merkulov, O., Podolskyi, R., Kononenko, A. et al. Development of Promising Steels for Railway Rails of a New Generation Using Modeling of Phase-Structural Transformations. *Trans Indian Inst Met* (2024). <https://doi.org/10.1007/s12666-024-03265-4>.
14. Takahashi. M. and Bhadeshia. H. K. D. H.. ``A Model for the Transition from Upper to Lower Bainite. *Materials Science and Technology*. 6. pp. 592-603. 1990.
15. J.R. Yang. H.K.D.H. Bhadeshia *Advances in Welding Science and Technology* ed. S. David. ASM. *Metals Park*. ohio. USA (1986). p. 187-191.
16. R.A. Ricks. P.R. Howell. G.S. Barritte *International Conference on Solid-Solid Phase Transformation*. eds. H.I. Aaronson et.al.. *TMS-AIME*. Warrendale. PA. USA. 1981. p. 463-468.

**МЕТОД ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ТЕРМІЧНОГО АНАЛІЗУ В ДОСЛІДЖЕННЯХ
ДЕСТРУКЦІЇ ТВЕРДОГО ПИЛОПОДІБНОГО ПАЛИВА
ЗА ВИСОКОЇ ШВИДКОСТІ НАГРІВАННЯ**

Ступак Ю.О.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. *Проведено аналіз публікацій, що містять інформацію про історію розвитку методу диференціального термічного аналізу (ДТА), його сутність та деякі аспекти практичного використання для аналізу процесів термічної деструкції та горіння твердого палива. Запропоновано методику лабораторних досліджень, засновану на принципах ДТА, що характеризується високою швидкістю нагрівання (до 2000 град/хв). Показано можливість використання запропонованої методики для порівняльного аналізу кінетики термічної деструкції пиловугільних паливних сумішей (ПВП), що вдуваються в доменні печі для заміни коксу.*

Ключові слова: *пиловугільне паливо, фурмений осередок доменної печі, швидкість нагріву до займання, термічна деструкція часток палива, горіння твердого палива, диференційний термічний аналіз (ДТА)*

Світовий тренд сьогодення, пов'язаний зі зменшенням використання всіх видів викопного палива та переходом до відновлюваних джерел енергії [1-4], потребуватиме певного часу. В деяких галузях економіки, що базуються на вугіллі та інших видах твердого палива – досить тривалого часу. За деякими оцінками – до середини-кінця поточного століття. Такою галуззю є виробництво електроенергії, де від 30 до 40% припадає на теплові електростанції, що використовують вугілля та/або тверді відходи. Крупним споживачем викопного палива також залишатиметься і металургія, особливо – доменне виробництво чавуну, що потребує значної кількості коксу, який виробляють з вугілля.

З метою економії коксу при виробництві чавуну використовують т.зв. пиловугільне паливо (ПВП) з вугілля, що непридатне до коксування. Витрата ПВП на сучасних доменних печах складає до 180...250 кг на 1 т чавуну із коефіцієнтом заміни коксу 0,8...0,9. Збільшення витрати ПВП стримують декілька чинників, одним з яких є забезпечення повноти згорання часток вугілля у фурмених осередках доменної печі та їх повної газифікації в печі без

негативних наслідків (утворення сажі, погіршення газодинамічних аспектів руху матеріалів та газів в печі тощо). Для вирішення вказаної проблеми металургами були залучені методи досліджень, які розроблені й використовуються енергетиками, оскільки спільними є і об'єкт дослідження – горіння поодиноких часток палива (або факелу), і кінцева його мета – забезпечення повного згорання.

Підвищенню ефективності використання твердого пилоподібного палива в енергетиці та металургії присвячено безліч досліджень - теоретичних, лабораторних та в умовах виробництва. Аналіз існуючих методик лабораторних досліджень горіння як поодиноких часток ПВП, так і пиловугільного факелу, починаючи з робіт В.М. Третьякова, Б.Д. Канцельсона, В.І. Бабія та ін. (1947-1987 рр.) і закінчуючи чисельними сучасними (2010-2024 рр.), дозволяють виділити найбільш вживані методи, серед яких варто зазначити наступні: термогравіметрія в поєднанні з мас-спектрометриєю (*TG-MS*), інфрачервона Фур'є-спектроскопія (*FT-IR*) та рамановська спектроскопія (*Raman spectroscopy*), скануюча електронна (*SEM*) і просвічуюча електронна мікроскопія високої роздільної здатності (*HRTEM*), рентгеноскопія (*X-ray Diffraction* або *XRD*) та деякі інші. В залежності від типу палива, умов експерименту і поставлених цілей перелічені методи часто комбінують для отримання більш достовірних результатів.

На думку автора, для вирішення багатьох практичних завдань, таких як порівняльна оцінка різних видів ПВП, розробка методів оптимізації та інтенсифікації спалювання будь якого твердого пилоподібного палива тощо цілком достатньо більш-менш надійної (щодо відтворюваності результатів) методики, яка б включала газову хроматографію, термогравіметрію і технічний аналіз зразків палива до та після його згорання. Свого часу автором проводилися дослідження горіння потоку пилоподібного палива на установці типу «вертикальна трубчаста піч» (англ. - *drop tube furnace*), результати яких неодноразово оприлюднювалися в науковій періодиці, в т.ч. на цій конференції [5]. Метою цієї доповіді є розгляд можливостей диференційного

термічного аналізу (ДТА), який вже близько століття використовується у дослідженнях, в т.ч. процесів термічної деструкції твердого палива.

Ідея методу ДТА належить В. Робертс-Остену, який у 1891 році створив пристрій для безперервного запису вихідного сигналу термопар, назвавши його «термоелектричним пірометром», а вже у 1899 вперше представив світові ідею диференціального термічного аналізу (ДТА) у статті, адресованій Комітету з досліджень сплавів у Лондоні [6, 7]. На рис. 1 показана запропонована ним система вимірювання, яка включала контрольний зразок (2) на додаток до зразка (3), дві термопар (4), одна з яких розташована всередині еталонного зразка або поруч із ним та два гальванометри (5, 6), де другий (6) вимірює різницю температур між зразком і еталонним зразком $\Delta T = T_s - T_r$. Еталонний зразок, обраний для дослідження сплавів, складався з металу, який не зазнає змін у діапазоні температур, що цікавить (у цьому прикладі – платина).

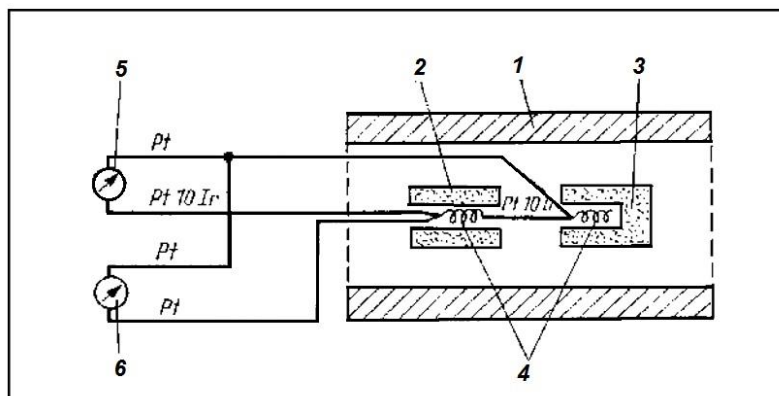


Рисунок 1 – ДТА В. Робертса-Остена [6]:

- 1 – керамічна трубка; 2 – еталонний зразок; 3 – зразок; 4 – термопар;
5 – гальванометр, що показує температуру зразка;
6 – гальванометр, що показує різницю температур

У першій половині XX ст. метод ДТА був більше емпіричною технікою, хоча експериментатори загалом усвідомлювали її кількісні можливості. У 1942 році Л.Г. Бергом були запропоновані перші основи теорії ДТА [8]. До кінця 1950-х років, після удосконалення теорії та набуття певного практичного досвіду стало можливим комерційне виробництво інструментів для ДТА. Найбільш відомим та вживаним дослідниками колишнього радянського блоку був (і можливо залишається подекуди до цих пір) т.з. «дериватограф» (рис. 2), принципи побудови якого були закладені братами

Паулік з Інституту загальної та аналітичної хімії Технічного університету Будапешта [9, 10]. У цьому контексті слід зазначити, що сучасні моделі подібних приладів від всесвітньо відомих виробників, наприклад, таких як Linseis, Netzsch - Gerätebau GmbH та ін. [12, 13] принципово не відрізняються від моделей 50-60-х років, але мають менші габарити, більшу точність, сучасний дизайн та кращі можливості щодо реєстрації та обробки отриманих даних.

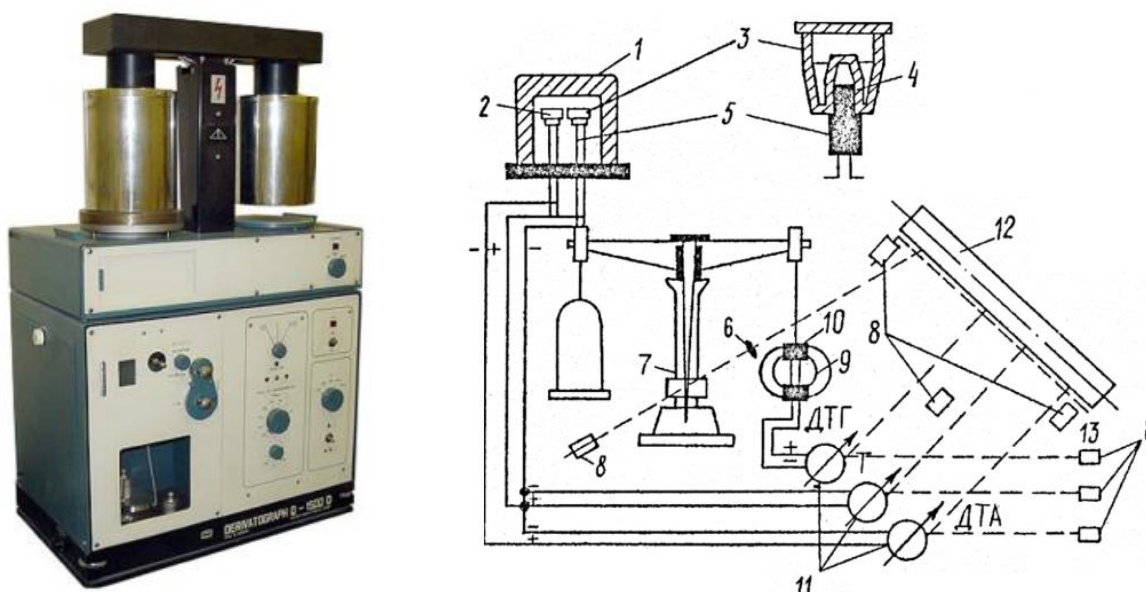


Рисунок 2 – Фото (зліва) та схема дериватографа Q1500D (Угорщина) [11]:

- 1 – піч; 2 – тигель з інертною речовиною; 3 – тигель з речовиною, яку досліджують;
4 – термопара; 5 – фарфорова трубка; 6 – лінзи, що збільшують; 7 – ваги;
8 – освітлювач; 9 – підковоподібний магніт; 10 – індукційна котушка;
11 – дзеркальні гальванометри; 12 – барабан; 13 – фотопapіp

Обладнання для DTA, подібне до показаного на рис. 2, надає можливість досліджувати ендотермічні та екзотермічні переходи в речовинах як функції температури та характеризувати такі властивості як зшивання, розкладання, випаровування, коефіцієнт теплового розширення, окислення та деякі інші. Відомі чимало досліджень, в яких вказаний метод використовувався для дослідження поведінки різних марок вугілля та інших видів твердого палива під час нагрівання, наприклад [14-17]. Найбільш цікавим з наведених є дослідження [15], в якому автори використали результати DTA пиловугільного палива для доменних печей з метою уточнення оптимального ступеню помелу

вугілля. Слід зазначити, що всі названі дослідження були проведені зі швидкістю нагрівання зразків від 10 до 20 градусів на хвилину, яка є співставною з кінетикою термічної деструкції вугілля в процесах коксування [16] або термічних перетворень твердої маси торфу при виготовленні твердого палива на його основі [17]. Але ж у випадку пиловугільного палива така швидкість нагріву зразків є занадто низькою. Так, за розрахунками авторів роботи [15] час згорання часток вугілля розмірами від 20 до 800 мкм в потоці нагрітого дуття складає 0,006...0,24 с (в залежності від розміру), що відповідає зовсім іншій, більш високій швидкості нагріву.

Наведена на рис. 3 схема установки, розробленої автором, є спробою здійснення DTA-дослідження в лабораторних умовах термічної деструкції твердого пилоподібного палива за швидкості нагрівання ± 2000 град/хв, тобто на два порядки вищою, ніж та, що використовувалася в згаданих вище дослідженнях [15-17] та інших авторів.

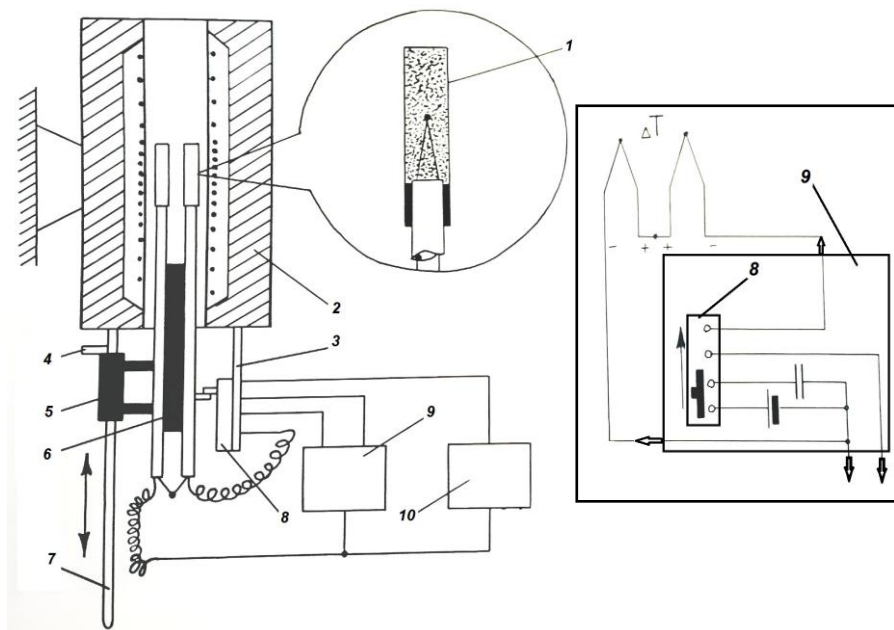


Рисунок 3 – Схема експериментальної установки для високошвидкісного DTA:

- 1 – зразок пилоподібного палива у гільзі з термопарою; 2 – нагрівальна піч; 3 – стійка;
- 4 – упор-обмежувач руху; 5 – гільза; 6 – стрижень-тримач блоку термопар;
- 7 – напрямна (стрижень) для гільзи 5; 8 – перемикач;
- 9 – джерело живлення з конденсатором (на схемі праворуч з малюнком);
- 10 – прилад реєстрації (потенціометр з самописцем)

Методика досліджень з використанням запропонованої установки (рис. 3) була наступною. При введенні блоку термопар в ізотермічну зону печі

(тривалість процедури – не більш ніж 0,5 с) контакт перемикача 8 на мить вмикав паралельно приладу реєстрації 10 конденсатор великої ємності, попередньо заряджений від джерела живлення. Одразу ж після цього вмикався ланцюг, яким різниця термо-е.р.с. від термопар діставалася приладу реєстрації. Але імпульс напруги від конденсатора реєструвався першим (у вигляді стрибка самописця) і слугував нульовою відміткою, від якої починався відлік часу в експерименті.

Дослідним шляхом було встановлено, що вже за 35-40 с після введення термопар до печі, процес термічної деструкції та горіння ПВП завершувався (різниця е.р.с. від термопар наближалася до нуля), а вміст гільзи з термопарою нагрівався до температури ізотермічної зони печі. Середня швидкість нагрівання ПВП до цієї температури сягала у різних експериментах від 1800 до 2100 град/хв, тобто була приблизно у 100 разів вищою, ніж у згаданих раніше дослідах на дериватографі Q1500D [15-17].

За допомогою розробленої методики були отримані дані, що підтвердили гіпотези щодо зв'язку часу до займання палива з температурою його займання. Отримані дані дозволили також пояснити окремі аспекти впливу додатків бурого вугілля та торфу до ПВП з пісного вугілля та антрациту.

Перевагами запропонованої установка є наступні:

- простота конструкції, що забезпечує надійну роботу та високу відтворюваність (повторюваність) результатів;
- висока швидкість нагріву зразків – від 1800 до 2100 град/хв;
- можливість здійснення якісної оцінки кінетики термічної деструкції різних видів дрібнодисперсного твердого палива на кшталт ПВП тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. The European Green Deal // European Commission official portal. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата звернення 27.02.2024).
2. Fit for 55 // European Council official portal. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> (дата звернення 27.02.2024).
3. Топалов М. Нова енергетична мапа світу із «зеленими» наддержавами: куди рухається людство. Дата публікації: 22.12.2023 // Економічна правда. URL:

<https://www.epravda.com.ua/publications/2023/12/22/708030/>

(дата звернення 28.02.2024).

4. Уряд схвалив цілі кліматичної політики України до 2030 року // Урядовий портал: Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-shvaliv-cili-klimatichnoyi-politiki-ukrayini-do-2030-roku> (дата звернення 27.02.2024).

5. Ступак Ю.О. Про деякі особливості лабораторних досліджень процесу горіння пилоподібного палива / В мат-лах міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні - ITMM'2021» (16 – 18 березня 2021 р., Дніпро, Україна). – Дніпро: НМетАУ, 2021. – С. 47-52. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.006>

6. Utschick H., Schultze D. and Bohme K., Chem. Labor Biotech. (CLB) 45 (1994)

7. Šesták Jaroslav Some historical aspects of thermal analysis: Origins of Termanal and ICTA / Інститут фізики Академії наук Чеської Республіки. URL: <https://www.fzu.cz/~sestak/uux/ta-ictacHistory.pdf> (дата звернення 28.02.2024).

8. Берг Л.Г. Введення в термографію. Наука, 1969. - 395 с.

9. Paulik F., Paulik J. and Erdey L., Journal of Analytical Chemistry. 160 (1958) 241

10. Paulik, F., Paulik, J. (1972). Quasi Isothermal Thermogravimetry. In: Wiedemann, H.G. (eds) Advances in Instrumentation. Birkhäuser, Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7413-7_14

11. Дериватограф Q-1500 D. Інструкція з експлуатації. MOM, Завод оптичних приладів. – Будапешт, 1990. – 102 с.

12. Linseis Messgeraete GmbH. Офіційний сайт. URL: <https://www.linseis.com/> (дата звернення 28.02.2024).

13. Netzsch - Gerätebau GmbH. Офіційний сайт. URL: <https://analyzing-testing.netzsch.com/en> (дата звернення 28.02.2024).

14. Govindlal V. Khemchandani and Samir Sarkar Studies on artificial coal. 2. Thermogravimetry, plastometry and differential thermal analysis // Fuel. – 1976. – Vol. 55. – P. 303-308.

15. Андронов В.М., Бабич А.І., Ярошевський С.Л. Фракційний склад пиловугільного палива для доменних печей // Изв. Вузов. Чорн. мет. - 1988. - №5. - С. 20-25.

16. Саранчук В.І., Чернова О.А., Власов Г.А. та ін. Зміна властивостей твердого залишку при піролізі у промисловій камері // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Хімія і хімічна технологія". Випуск 119. - Донецьк: ТОВ "Лебідь", 2007. - С. 147 – 152.

17. Михайлик В.А., Снежкін Ю.Ф., Оранська О.І. та ін. Вивчення термічних властивостей твердого залишку торфу після екстрагування гумусових речовин // Промислова теплотехніка. – 2015. – Т. 37. – №3. – С. 54-62.

THE METHOD OF DIFFERENTIAL THERMAL ANALYSIS IN STUDIES OF THE SOLID PULVERIZED FUEL DESTRUCTION AT A HIGH HEATING RATE

Stupak Yuri

Abstract. *An analysis of publications containing information on the differential thermal analysis (DTA) method history, its essence and some aspects of practical use for the analysis of solid fuel thermal destruction and combustion was carried out. A method of laboratory research based on the principles of DTA, characterized by a high heating rate (up to 2000 deg/min), is proposed. The possibility of using the proposed technique for comparative analysis of thermal destruction kinetics for pulverized coal fuel (PVP) mixtures blown into blast furnaces to replace coke is shown.*

Keywords: *pulverized coal fuel, blast furnace's raceway, solid fuel particles combustion, rate of heating to ignition, fuel particles thermal destruction, differential thermal analysis (dta)*

REFERENCES

1. The European Green Deal // European Commission official portal. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (application date 27.02.2024).
2. Fit for 55 // European Council official portal. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> (application date 27.02.2024).
3. Topalov M. New energy map of the world with "green" superpowers: where is humanity moving. Publication date: 12/22/2023 // Economic truth. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2023/12/22/708030/> (application date 28.02.2024).
4. The government approved the goals of Ukraine's climate policy until 2030 // Government portal: The single web portal of the executive authorities of Ukraine. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/uryad-shvaliv-cili-klimatichnoyi-politiki-ukrayini-do-2030-roku> (application date 27.02.2024).
5. Stupak Yuri. About some peculiarities of pulverized fuel combustion process laboratory studies / Int. Scientific and Practical Conf. "Information technologies in metallurgy and mechanical engineering - ITMM'2021" (March 16 - 18, 2021, Dnipro, Ukraine). – Dnipro: NMetAU, 2021. –P. 47-52. (in Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.006>
6. Utschick H., Schultze D. and Bohme K., Chem. Labor Biotech. (CLB) **45** (1994)
7. Šesták Jaroslav Some historical aspects of thermal analysis: Origins of Termanal and ICTA / Institute of Physics of the Academy of Sciences of the Czech Republic. URL: <https://www.fzu.cz/~sestak/yyx/ta-ictacHistory.pdf> (дата звернення 28.02.2024).
8. Berg L. G. "Introduction to Thermography" Nauka, 1969 (in Russian).
9. Paulik F., Paulik J. and Erdey L., Journal of Analytical Chemistry. 160 (1958) 241

10. Paulik, F., Paulik, J. (1972). Quasi Isothermal Thermogravimetry. In: Wiedemann, H.G. (eds) Advances in Instrumentation. Birkhäuser, Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-7413-7_14.
11. Derivatograph Q-1500 D. Instructions for use. MOM, Factory of optical devices. - Budapest, 1990. - 102 p.
12. Linseis Messgeraete GmbH. Офіційний сайт. URL: <https://www.linseis.com/> (дата звернення 28.02.2024).
13. Netzsch - Gerätebau GmbH. Офіційний сайт. URL: <https://analyzing-testing.netzsch.com/en> (дата звернення 28.02.2024).
14. Govindlal V. Khemchandani and Samir Sarkar Studies on artificial coal. 2. Thermogravimetry, plastometry and differential thermal analysis // Fuel. – 1976. – Vol. 55. – P. 303-308.
15. Andronov V.N., Babich A.I., Yaroshevsky S.L. Fractional composition of pulverized coal fuel for blast furnaces // Izv. of University. Ferrous metallurgy. – 1988. – №5. – P. 20-25. (in Russian).
16. Saranchuk V.I., Chernova O.A., Vlasov G.A. etc. Changes in the properties of the solid residue during pyrolysis in an industrial chamber // Scientific works of the Donetsk National Technical University. Series: "Chemistry and chemical technology". Issue 119. - Donetsk: LLC "Lebid", 2007. - P. 147 – 152. (in Russian).
17. Mykhailik V.A., Snezhkin Y.F., Oranska O.I. etc. Study of the thermal properties of the solid residue of peat after the extraction of humic substances // Promyslova teplotechnika. – 2015. – Vol. 37. – №3. – P. 54-62. (in Ukrainian).

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ НА ОСНОВІ КОНДЕНСАТУ ВОДЯНОЇ ПАРИ ДИМОВИХ ГАЗІВ

Михайлюк В. В., Процюк В.Р., Дейнега Р. О.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

Анотація. *Виробництво цементу спричинює значні викиди парникових газів, зокрема CO₂, що веде до глобального потепління. Розробка методів утилізації цих викидів є актуальним завданням. У роботі досліджено можливість використання конденсату пари димових газів цементного виробництва як сировини для отримання цементного каменю. Визначено механічні характеристики цементного каменю виготовленого із застосуванням конденсату пари димових газів та порівняно із характеристиками цементного каменю, що виготовлений на водопровідній воді. Встановлено, що найкращими механічними властивостями володіє цементний камінь, отриманий із застосуванням конденсату пари димових газів. Отриманий цемент має більшу розтічність порівняно із цементом виготовленим на водопровідній воді, а цементний камінь – вищі напруження згину та напруження стиску. При цьому, крихкість цементного каменю виготовленого із перемішаного конденсату пари димових газів залишилась такою ж, як і у цементного каменю виготовленого з використанням водопровідної води.*

Ключові слова: *цемент, шкідливі викиди, конденсат пари димових газів, цементний камінь, бетон, утилізація.*

Цемент – найпоширеніший будівельний матеріал для виготовлення бетонних і залізобетонних виробів, різноманітних будівельних конструкцій, гідроізоляції, а у нафтогазовій галузі застосовується під час будівництва свердловин і фундаментів для різних машин та устаткування. Виробництво цементу значно впливає на екологічну систему планети та за рахунок шкідливих викидів сприяє глобальному потеплінню, підкислення океану і деградації ґрунтів. Згідно джерела [1] щороку під час виробництва цементу у атмосферу потрапляє близько 8 відсотків від загального обсягу викидів вуглекислого газу. Це надзвичайно багато, тому над зменшенням цієї кількості проводяться дослідження багатьма науковцями.

Варто зазначити, що основними парниковими газами в атмосфері Землі є пари води (H₂O), вуглекислий газ (CO₂), закис азоту (N₂O), метан (CH₄), озон (O₃),

гексафторид сірки (SF_6), гідрофторвуглецеві сполуки (ГФВ) і перфторвуглецеві сполуки (ПФВ) [2].

Існують різноманітні способи та заходи для зменшення викидів парникових газів [1], які мають відповідно ряд переваг та недоліків. Оскільки під час виробництва цементу одним із парникових газів є водяна пара, то для її вилучення із димових газів цементного виробництва пропонується отримувати її конденсат за допомогою розробленого способу виділення рідини і механічних домішок із газового потоку [3]. При цьому також будуть вилучені із димових газів механічні мікрочастинки та інші сполуки шкідливих речовин. Для реалізації способу розроблено багатосопловий пристрій [4] та газорідинний сепаратор, із врахуванням складу та різних характеристик димових газів цементного виробництва.

З використанням вищезгаданого способу та розробленого і виготовленого обладнання було отримано конденсат пари димових газів цементного виробництва. Одним із способів його утилізації є використання його як сировину для отримання цементного каменю (додавати у цементний розчин при виробництві бетону та виробів з нього).

Для визначення механічних характеристик цементного каменю (напруження згину $\sigma_{зг}$, стиску $\sigma_{ст}$ та крихкість K_K) виготовленого із застосуванням конденсату пари димових газів цементного виробництва та їх порівняння із цементним каменем виготовленим за традиційним способом було виготовлено відповідні дослідні зразки. Визначення характеристик цементного каменю проводилось згідно ДСТУ Б В.2.7-86-99 [5].

Результати лабораторних досліджень цементних каменів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики цементних каменів

№ з/п	Цементний камінь виготовлений на основі	Розтічність Р, мм	$\sigma_{зг}$, МПа	$\sigma_{ст}$, МПа	Крихкість $K_K = \sigma_{ст} / \sigma_{зг}$	Тривалість формування, год
1	Конденсату пари димових газів (відстояний)	220	1,2	4,7	3,9	24
2	Конденсату пари димових газів (перемішаний)	215	1,3	4,6	3,5	
3	Водопровідної води	205	1,0	3,5	3,5	

Виходячи із отриманих результатів (табл. 1) найкращим за механічними властивостями є цементний камінь, отриманий із застосуванням конденсату пари димових газів. Варта зауважити, що перед виготовленням дослідних зразків вищезазначений конденсат пари перемішувався із наявним у ньому осадом. Отриманий цемент має більшу розтічність порівняно із цементом виготовленим на водопровідній воді, а цементний камінь вищі напруження згину на 30% та вищі на 31% напруження стиску. При цьому, крихкість цементного каменю виготовленого із перемішаного конденсату пари димових газів залишилась такою ж, як і у цементного каменю виготовленого з використанням водопровідної води.

Висновки. Технологічні процеси виробництва цементу супроводжуються значними викидами шкідливих речовин у навколишнє середовище. З метою утилізації окремих видів шкідливих речовин, що знаходяться у димових газах цементних виробництв, розроблено спосіб та обладнання за допомогою якого вилучається водяна пара (із неї отримується конденсат). У цьому конденсаті також будуть уловлені різні механічні мікрочастинки та інші сполуки шкідливих речовин. Утилізація отриманого конденсату пари димових газів полягає у його застосуванні для виготовлення виробів із цементу. Для визначення механічних характеристик цементного каменю (напруження згину $\sigma_{зг}$, стиску $\sigma_{ст}$ та крихкості K_K) виготовленого із застосуванням конденсату пари димових газів та їх порівняння із цементним каменем виготовленим за традиційним способом було виготовлено відповідні дослідні зразки та проведено експериментальні дослідження. Найкращими механічними властивостями володіє цементний камінь, отриманий із

застосуванням конденсату пари димових газів. Отриманий цемент має більшу розтічність порівняно із цементом виготовленим на водопровідній воді, а цементний камінь – вищі напруження згину на 30% та вищі на 31% напруження стиску. При цьому, крихкість цементного каменю виготовленого із перемішаного конденсату пари димових газів залишилась такою ж, як і у цементного каменю виготовленого з використанням водопровідної води.

ЛІТЕРАТУРА

1. Довідник з ресурсоефективного та чистого виробництва. Цементна промисловість / с.в. Плашихін. – К.: Центр ресурсоефективного та чистого виробництва, 2020. – 96 с.
- 2.[Електронний ресурс] - <http://surl.li/kxpwo>
- 3.Патент на корисну модель № 152837, Україна, B03C 3/02. Спосіб виділення рідини і механічних частинок з газового потоку / Патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA) // Крижанівський Є.І., Лях М. М., Михайлюк В. В., Маковійчук М.В., Кучірка Ю.М., Витриховський Є.А. (UA) – u202200306; Заявл. 25.01.2022; Опубл. 19.04.2023, Бюл. № 16. – 4 с.
4. Лях М.М., Михайлюк В.В., Яцишин Т.М., Витриховський Є.А. (2022). Дослідження впливу геометричних параметрів сопла Лавалю на зміну температури потоку газу. Прикарпатський вісник наукового товариства імені Шевченка. Число, 17(64), 108-117. [https://doi.org/10.31471/2304-7399-2022-17\(64\)-108-117](https://doi.org/10.31471/2304-7399-2022-17(64)-108-117).
5. ДСТУ Б В.2.7-86-99. Цементи тампонажні. Методи випробувань (ГОСТ 26798.1-96)

RESEARCH OF THE STRENGTH OF CEMENT STONE BASED ON THE WATER VAPOR CONDENSATE OF FLUE GAS

Vasyl Mykhailiuk, Vasyl Protsiuk, Ruslan Deineha

Abstract. *The production of cement causes significant emissions of greenhouse gases, in particular CO₂, which leads to global warming. The development of methods of disposal of these gases is an urgent task. The paper examines the possibility of using steam condensate from the flue gases of cement production as a raw material for obtaining cement stone. The mechanical characteristics of the cement stone made with the use of flue gas vapor condensate and in accordance with the characteristics of the cement stone made on tap water were determined. It was established that the cement stone obtained with the use of steam gas condensate has the best mechanical properties. The resulting cement has higher flexural strength than tap water cement, and cement stone has higher flexural and compressive stresses. At the same time, the fragility of cement stone made from mixed condensate of flue gas steam remained the same as in cement stone made using tap water.*

Keywords: *cement, harmful emissions, flue gas vapor condensate, cement stone, concrete, disposal.*

REFERENCE

1. Dovidnik z resursoefektivnogo ta chistogo virobnitstva. Tsementna promislivost / s.v. Plashchyn. – K.: Tsentr resursoefektivnogo ta chistogo virobnitstva, 2020. – 96 p.
2. [Electronic resource] - <http://surl.li/kxpwo>
3. Patent na korisnu model # 152837, Ukraina, V03S 3/02. Sposib vidlennya rldini i mehanichnih chastinok z gazovogo potoku / Patentovlasnik Ivano-Frankivskiy natsionalniy tekhichniy universitet nafti i gazu, vul. Karpatska, 15, m. Ivano-Frankivsk, 76019 // Krizhanivskiy E.I., Lyah M. M., Mihaylyuk V. V., Makovlychuk M.V., Kuchirka Yu.M., Vitrihovskiy E.A. – u202200306; Zayavl. 25.01.2022; Opubl. 19.04.2023, Byul. # 16. – 4 p.
4. Lyah M.M., Mihaylyuk V.V., Yatsishin T.M., Vitrihovskiy E.A. (2022). Doslidzhennya vplivu geometrichnih parametriv sopla Lavalya na zmlnu temperaturi potoku gazu. Prikarpatiskiy visnik naukovo tovaristva Imeni Shevchenka. Chislo, 17(64), 108-117. [https://doi.org/10.31471/2304-7399-2022-17\(64\)-108-117](https://doi.org/10.31471/2304-7399-2022-17(64)-108-117).
5. DSTU B V.2.7-86-99. Tsementi tamponazhni. Metodi viprobuvannya (GOST 26798.1-96).

РОЗРОБКА КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ПРОЦЕСІВ РАФІНУВАННЯ СТАЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАМЕТРІВ МІЖАТОМНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В РОЗПЛАВАХ

Тогобицька Д.М., Белькова А.І., Степаненко Д.О., Ходотова Н.Є.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України

Анотація. Для оцінки ефективності процесів рафінування сталі проаналізовано результати фізико-хімічної взаємодії елементів у системі «метал-шлак» десяти марок сталі, що виплавляється в у сучасних умовах України.

В результаті аналізу закономірностей зміни коефіцієнтів розподілу сірки та фосфору залежно від хімічного складу сталі та шлаку розроблено фізико-хімічні критерії для оцінки ступеня завершеності іонообмінних процесів при дефосфорації та десульфурзації сталі з використанням інтегральних параметрів міжатомної взаємодії в розплавах. Поряд з використанням інтегральних фізико-хімічних параметрів хімічного та зарядового стану системи Z^Y , Δe та Z_e показано ключову роль впливу параметра «перезарядки» елемента ΔZ_e на процес розподілу сірки та фосфору між металом і шлаком та обґрунтовано його використання в якості критерію оцінки ступеня відхилення системи від рівноваги.

Ключові слова: рафінування сталі, дефосфорація, десульфурация, система «метал-шлак», параметри міжатомної взаємодії в розплавах, коефіцієнт розподілу сірки та фосфору, критерій оцінки нерівноважності системи

Проблема виробництва «чистої» сталі шляхом її рафінування та доведення на установці ківш-піч (УКП) залишається актуальною і зараз. При цьому, розробка сучасних способів оцінки процесів дефосфорації та десульфурзації сталі з метою вдосконалення технології, економії енергетичних ресурсів та забезпечення необхідної якості металу в сучасних умовах є важливим завданням.

Ефективність перебігу процесу рафінування сталі залежить від багатьох факторів, серед яких особливо глибокий вплив надають результати процесів фізико-хімічної взаємодії в системі «метал-шлак». По суті, взаємодія розплавленого металу і шлаку є кооперативним іонообмінним процесом компонент єдиної фізико-хімічної системи, результуючі властивості якої залежать від характеристик кожного елемента.

Процеси дефосфорації та десульфурзації є протилежними за умовами їх протікання та застосування технологічних впливів. Процес дефосфорації

найбільшою мірою здійснюється в окислювальних умовах конверторної плавки. Активна десульфуріяція сталі відбувається завдяки формуванню високоосновних і малозалізистих шлаків за вищої температури плавки на установці ківш-піч (УКП).

Оскільки методологічний апарат класичної термодинаміки важко реалізується для вивчення складних реальних металургійних процесів і систем, в роботі використано методику розрахунку параметрів теорії спрямованого хімічного зв'язку, що описують склад та структуру металевого та шлакового розплавів на рівні міжатомної взаємодії [1]. Виконані дослідження реальних металургійних систем показали, що розподіл компонентів між металом і шлаком визначається двома групами факторів: властивостями середовища, вираженими через інтегральні параметри (хімічний еквівалент складу металу Z^Y та шлаку Δe), і локальним оточенням кожного з компонентів, яке визначається середньозваженим значенням його ефективного заряду (Ze). Значення Ze є вельми чутливим індикатором для оцінки кількісних змін у характеристиках міжатомної взаємодії в розплавах [2]. Зміна стану кожного з компонентів під час переходу з однієї фази в іншу може бути визначена як «перезарядка» іонів дифундуючого елемента ΔZe , що дорівнює різниці зарядів елемента в металі $[Ze_m]$ і шлаку (Ze_{sh}): $\Delta Ze = [Ze_m] - (Ze_{sh})$. Причому, чим більша величина «перезарядки» при переході міжфазного кордону, тим вищою має бути різниця потенціалів подвійного шару і нижчим коефіцієнт розподілу відповідного елемента

Ефективність технології виробництва металу, що забезпечує реалізацію максимальної здатності рафінуючого шлаку, оцінюється за ступенем відхилення фактичного значення коефіцієнта розподілу елемента від рівноважного. На рис.1 показано ступень відхилення фактичного коефіцієнта розподілу фосфору (а) та сірки (б) від рівноважного, що дозволяє здійснити оцінку ефективності процесу рафінування сталі у сучасних умовах виплавки сталі в Україні. З аналізу представлених даних випливає, що в реальних умовах плавки розподіл фосфору та сірки для всіх марок сталі нижче рівноважного.

Найкращий ступінь наближення до рівноваги по фосфору спостерігається для марки сталі ШХ15, найгірша для 480W.

Для оцінки розрахунку рівноважного міжфазного коефіцієнта розподілу сірки використовується залежність від параметрів металевої (Z^Y) і шлакової системи (Δe і ρ), яка отримана за даними Куликова І.С. і Баптизманського В.І. [3]

$$\lg L_S^0 = 9,03 \times Z^Y + 18,53 \times \rho - 0,096 \times \Delta e - 24,27 \quad (1)$$

Ця залежність дає змогу оцінити ступінь наближення системи «метал-шлак» до рівноваги за сіркою в реальних умовах плавки через відношення фактичного коефіцієнта L_S розподілу сірки до рівноважного:

L_S^0 : $\varepsilon_S = L_S / L_S^0 \times 100, \%$. Найбільша різниця значень фактичного коефіцієнта розподілу сірки L_S та рівноважного L_S^0 до обробки сталі на УВП спостерігається для марок: ШХ15 ($\varepsilon_S = 1/n \times \Sigma L_S / L_S^0 \times 100 = 45\%$), 480W ($\varepsilon_S = 46\%$), SAE1006 ($\varepsilon_S = 51\%$), GR06m ($\varepsilon_S = 52\%$) (група 1), що свідчить про незавершеність іонообмінних процесів розподілу сірки в системі «метал-шлак» на цьому етапі доведення сталі.

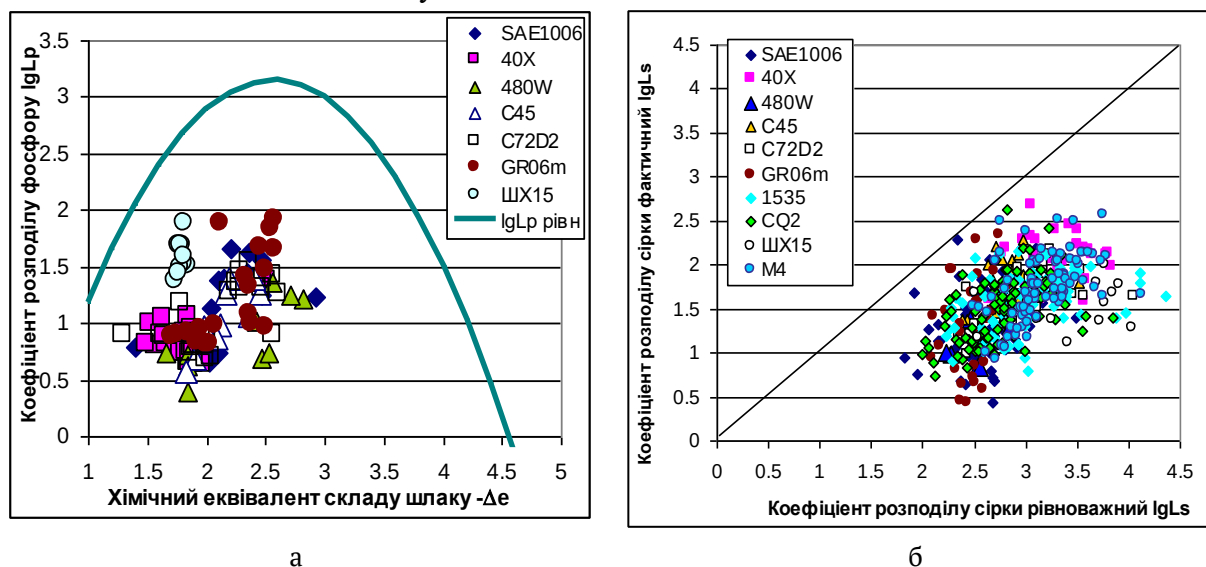


Рисунок 1 - Оцінка ефективності процесу рафінування сталі за ступенем відхилення фактичного міжфазного коефіцієнта розподілу фосфору (а) та сірки (б) від рівноважного у сучасних умовах виплавки сталі в Україні

Виконаний розрахунковий аналіз зв'язку параметра «перезарядки» фосфору ΔZ_p та сірки ΔZ_s з відповідними коефіцієнтами їх розподілу між металом та шлаком показав наступне. Найбільший ступінь зв'язку $\lg L_p = f(\Delta Z_p)$ встановлено для сталі 480W з коефіцієнтом кореляції тісноти парного зв'язку $R=0,82$, що свідчить про незавершеність процесу дефосфорації цієї марки сталі при її виплавці в конвертері. Найкращу ефективність видалення фосфору зі

сталі встановлено для марки ШХ15, про що свідчить низький рівень зв'язку показника L_p з параметром ΔZ_p зі значенням $R^2=0,18$.

Що до десульфурації сталі виявлено зворотний характер зв'язку фактичного коефіцієнта розподілу сірки L_s з параметром «перезарядки» ΔZ_s для всіх досліджуваних марок сталі до її обробки на УКП, що свідчить про загальну закономірність - чим більшою є величина "перезарядки" під час переходу міжфазного кордону, тим нижчим є фактичний коефіцієнт розподілу сірки. При цьому найбільший ступінь парного зв'язку $lgL_s=f(\Delta Z_s)$ виявлено для тих самих марок сталі, для яких найменший ступінь наближення до рівноваги по сірці: GR06m ($R^2=0,63$), SAE1006 ($R^2=0,37$), 480W ($R^2=0,36$), ШХ15 ($R^2=0,35$).

Отже, для зазначених марок сталі процес розподілу сірки в системі «метал-шлак» на етапі її доведення до УКП не вичерпав свій потенціал іонообмінної взаємодії, про що свідчить низькі значення ступеня досягнення до рівноваги показника ε_s , а також істотно значущий вплив параметра «перезарядки» ΔZ_s на коефіцієнт розподілу сірки. Слід відзначити, що саме для цих марок сталі процес її десульфурації на УКП пройшов найбільш ефективно, що підтверджують високі значення показника ε_s , розрахованого по даним кінцевого хімічного складу сталі після її обробки на УКП. Наприклад, для марки сталі GR06m $\varepsilon_s=81\%$ (рис. 2). До того ж найбільші значення різниці показника ε_s до обробки сталі на УКП і після її доведення на УКП ($\Delta\varepsilon_s = \varepsilon_{\text{спосле УКП}} - \varepsilon_{\text{до УКП}}$) виявлено для тієї ж 1-ї групи марок сталі: для GR06m $\Delta\varepsilon_s=29\%$, ШХ15 $\Delta\varepsilon_s=25\%$, SAE1006 $\Delta\varepsilon_s=24\%$, 480W $\Delta\varepsilon_s=21\%$ (рис. 2).

Тобто для марок сталі групи 1 процес десульфурації на установці ківш-піч пройшов найефективніше з позиції перебігу іонообмінного процесу міжфазного розподілу сірки, що підтверджується високими значеннями показника $E_s = (L_s^k - L_s^n) / L_s^n$, де L_s^n, L_s^k - фактичні коефіцієнти розподілу сірки між металом і шлаком до і після доведення сталі на УКП. Чим вищі значення цього показника, тим інтенсивніше відбувалися фізико-хімічні процеси взаємодії компонент у системі «метал-шлак». Зокрема, високі значення показника E_s зафіксовано для марок сталі також 1-ї групи: GR06m $E_s= 9$ од., 480W $E_s= 7$ од., SAE1006 $E_s= 8$ од. Слід зазначити, що десульфуруючий потенціал системи

«метал-шлак» для марки сталі ШХ15 порівняно із зазначеними марками сталі був не до кінця вичерпаний, що підтверджує невисоке значення показника $E_S = 4$ од.

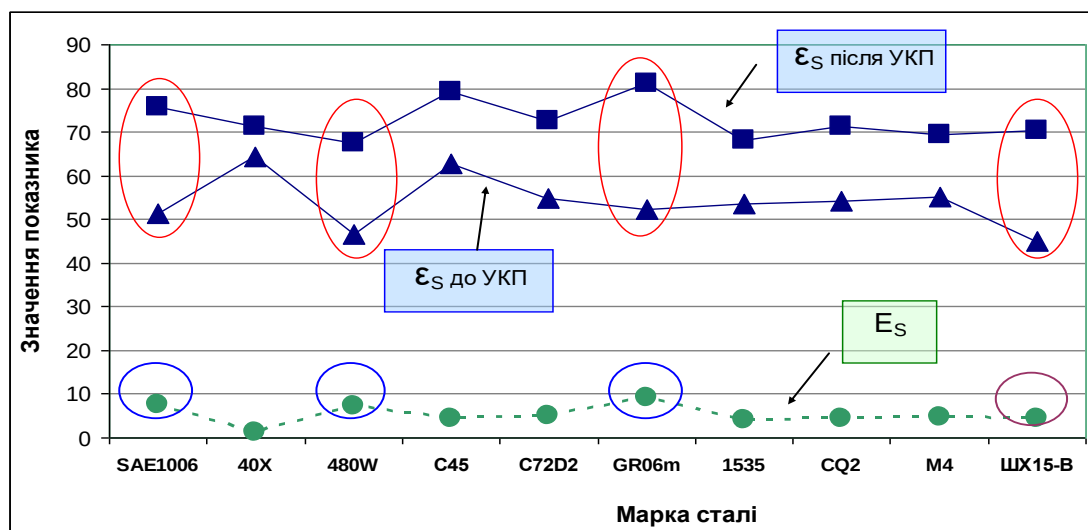


Рисунок 6 – Узгоджена зміна показників оцінки досягнення системи «метал-шлак» рівноваги по сірці $\varepsilon_S = L_S / L_S^0 \cdot 100, \%$ (до та після обробки сталі на УКП) та ступеню завершення іонообмінних процесів $E_S = (L_S^K - L_S^H) / L_S^H$

Таким чином, отримані результати досліджень дають змогу використовувати параметр «перезарядки» елемента, що дифундує через кордон розділу фаз, зокрема сірки та фосфору, як критерій оцінки ступеня завершеності фізико-хімічних іонообмінних процесів взаємодії в системі «метал-шлак» на різних етапах виплавки й доведення сталі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Togobitska D. and Belkova A. New approach to evaluating the thermodynamic consistency of melts in the "Metal-Slag" system based on interatomic interaction parameters. *Lithuanian Journal of Physics*. Vol. 64, №.1, pp. 58-71 (2024). <https://doi.org/10.3952/physics.2024.64.1.6>
2. Методика оцінки фізико-хімічної взаємодії в системі "метал-шлак" як кооперативного іонообмінного процесу під час рафінування сталі / Д. М. Тогобицька, А. І. Белькова, Д. О. Степаненко, І. Р. Поворотня, С. В. Греков // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. - 2023. - Вип. 37. - С. 271-286. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-271-286>
3. Тогобицька Д.М. Банк даних «Металургія» - інформаційна основа прогнозування властивостей фізико-хімічних систем та їх розплавів / Д.М. Тогобицька, Д.О.

4. Степаненко, А.І. Белькова, О.П. Петров, Ю.М. Ліхачов // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. -2021. -№24. - С. 140-148. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.2021.01.14>

DEVELOPMENT OF CRITERIA FOR EVALUATING STEEL REFINING PROCESSES USING INTERATOMIC INTERACTION PARAMETERS IN MELTS

Togobitskaya Daria, Bielkova Alla, Stepanenko Dmytro, Khodotova Nadiya

Abstract. *To evaluate the efficiency of steel refining processes, the results of the physicochemical interaction of elements in the metal-slag system of ten steel grades smelted in modern conditions in Ukraine were analysed.*

As a result of the analysis of the patterns of changes in the distribution coefficients of sulphur and phosphorus depending on the chemical composition of steel and slag, physicochemical criteria for assessing the degree of completeness of ion exchange processes during steel dephosphorisation and desulphurisation have been developed using integral parameters of interatomic interaction in melts. Along with the use of integral physicochemical parameters of the chemical and charge state of the system Z^Y , Δe and Z_e , the key role of the influence of the "recharge" parameter of the element ΔZ_e on the process of sulfur and phosphorus distribution between metal and slag is shown and its use as a criterion for assessing the degree of deviation of the system from equilibrium is substantiated.

Keywords: *steel refining, dephosphorisation, desulphurisation, metal-slag system, parameters of interatomic interaction in melts, sulphur and phosphorus distribution coefficient, system disequilibrium assessment criterion*

REFERENCE

1. Togobitska D. and Belkova A. New approach to evaluating the thermodynamic consistency of melts in the "Metal-Slag" system based on interatomic interaction parameters. *Lithuanian Journal of Physics*. Vol. 64, №.1, pp. 58-71 (2024). <https://doi.org/10.3952/physics.2024.64.1.6>
2. Metodyka otsinky fizyko-khimichnoyi vzayemodiyi u systemi "metal-shlak" yak kooperativnoho ionoobminnoho protsesu pid chas rafinuvannya stali / D. M. Tohobyts'ka, O. I. Byel'kova, D. O. Stepanenko, I. R. Povоротnya, S. V. Hrekov // Fundamental'ni ta prykladni problemy chornoyi metalurhiyi. – 2023. – Vip. 37. – S. 271-286. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-271-286>
3. Tohobyts'ka D.M. Bank danykh «Metalurhiya» - informatsiyina osnova prohnozuvannya vlastyvostey fizyko-khimichnykh system ta yikh rozplaviv / D.M. Tohobyts'ka, D.O. Stepanenko, O.I. Byel'kova, O.P. Petrov, YU.M. Likhachov // Suchasni problemy metalurhiyi. Naukovi visti. -2021. -№24. – S. 140-148. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.2021.01.14>

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.017

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ЯК ПІДҐРУНТТЯ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ КОМПЛАЄНС

Тубольцев Л. Г¹., Петренко В. О²., Фонарьова Т. А²., Селегей А. М².

¹Інститут чорної металургії імені З. І. Некрасова НАН України, м.Дніпро,

²Український державний університет науки і технологій, м.Дніпро,

Анотація. В дослідженні наведено теоретичні положення системного аналізу металургійного виробництва, які базуються на розгляді виробництва як Гіперкомплексної динамічної системи, яка має системні властивості, зокрема такі, як гіперкомплексність, динамічність і структурність. Наведено напрями формування та удосконалення системи Комплаєнс з використанням системного підходу та теорії Гіперкомплексних Динамічних систем. Показано, що використання системного аналізу дозволяє отримати реальний теоретичний та практичний інструмент для забезпечення сталості і безпеки роботи підприємства.

Ключові слова: гіперкомплексність, системний аналіз, Комплаєнс, відповідність, ризики, металургійне виробництво, безпека.

Метою даного дослідження є визначення сучасних підходів до формування місії та стратегії системи Комплаєнс на промислових, зокрема металургійних підприємствах. У визначенні поняття «Комплаєнс», поряд із формулюванням його цілей та завдань, часто застосовується термін «відповідність». На нашу думку, науковим підґрунтям розробки системи комплаєнсу в межах металургійного виробництва виступає системний аналіз діяльності металургійного підприємства для забезпечення відповідності та оптимального балансу ключових показників в складних умовах виробничої діяльності та постійного перебування в умовах ризику.

Розглянемо складові діяльності металургійного підприємства як складної промислової системи з позицій теорії Гіперкомплексних динамічних систем [1]. При розгляді ГМК як системи, з вихідних даних виділимо її системні властивості, зокрема, гіперкомплексність (S_1), динамічність (S_2) і структурність (S_3) [2]. Гіперкомплексність забезпечується різноманітністю підгалузей, що входять до об'єкту дослідження. Перерахуємо і пронумеруємо всі підгалузі ГМК, виконавши таку процедуру:

$$S_1 = P_1 S_0 = \{ a_1, a_2, \dots, a_n \}, \quad (1)$$

де S_1 – системні властивості гіперкомплексності;

P_1 – операція перерахування і нумерації;

S_0 – досліджувана група підгалузей (промислових об'єктів), в рамках якої виконується операція P_1 ;

a_n – підгалузь (промисловий об'єкт), що розглядаються в якості елемента системи.

Динамічність системи (S_2) забезпечується наступним чином:

$$S_2 = P_2 S_0 = \{ Y_{in} \} \quad (2)$$

де S_2 – динамічність, що реалізується за рахунок взаємодії між елементами системи;

P_2 – визначення каналів взаємодії та їх характеристика (наприклад, безпосередній контакт між виробниками і споживачами, або опосередкований – через посередників).

Властивість структурності S_3 визначимо таким чином:

$$S_3 = P_3 S_0, \quad (3)$$

де S_3 – постановка задачі визначення якості структурності, яка відображається у вигляді графа інформаційних контактів;

P_3 – оператор визначення елементів графа взаємодії;

S_0 – досліджувана група підгалузей (промислових об'єктів), яка розглядається з позицій структуроутворення інформаційної моделі.

Таким чином, визначення системи S полягає у виконанні послідовності операцій $\{P_n\} = P_1 P_2 P_3$:

$$S = (P_1 S_0) \cdot (P_2 S_0) (P_3 S_0), \quad (4)$$

Викладені вище принципи можливо застосувати до розроблення матеріально-балансової моделі наскрізної технології виробництва металопродукції [2].

Сьогодні ГМК України, як крупний експортер своєї продукції, знаходиться в тісних взаємозв'язках зі світовою економікою і повинна враховувати світові закони, стандарти, положення та нормативи. Однією з новітніх світових наукових розробок щодо порядку дотримання зобов'язань у фінансовій та промисловій сферах є концепція Комплаєнс [3]. Ця система для України поки

що законодавчо не закріплена, однак її впровадження є обов'язковою для підприємств, що здійснюють зовнішньоекономічну діяльність.

Відомо декілька рівнів Комплаєнсу, які зображені на рисунку 1:

міжнародний (стосується поведінки держав – того, як і чому вони дотримуються міжнародного права);

внутрішній Комплаєнс включає наступні рівні:

1) інститутаційний (стосується поведінки державних органів та суб'єктів підприємницької діяльності всередині країни);

2) корпоративний (стосується поведінки учасників виробничого процесу всередині корпорації або підприємства);

3) комплаєнс працівників (стосується поведінки учасників виробничого процесу з усіма гілками державної влади та керівництвом підприємства).



Рисунок 1 – Взаємодія рівнів Комплаєнсу (створено авторами на основі [3]).

Теорії міжнародного Комплаєнсу, як реалістичні теорії «логіки наслідків», припускають, що примус і стримування є основними способами запобігання недотриманню законів. На відміну від реалістичних теорій, інституціоналізм бачить роль міжнародних інституцій у сприянні співпраці, яка відповідає довгостроковим інтересам держав. Ліберальна теорія міжнародних відносин враховує складність прийняття державних рішень і підкреслює роль, бізнесу, ЗМІ та міжнародних організацій у створенні відповідності вимогам Комплаєнсу. Нормативні теорії зосереджуються на нормативній силі правил, ідей, правових зобов'язань, спільного дискурсу та знань на інтереси держав. Легітимність теорії ґрунтується на прозорості та чесності у діяльності урядів.

Теорії внутрішнього Комплаєнсу на національному рівні вивчають реакцію не держав, а громадян і фірм на закони та правові приписи. У державах, які не спроможні накладати суттєві санкції на міжнародному рівні, спостерігається критична відмінність між внутрішнім і міжнародним правом. Це показує, що застосування справедливої сили є вирішальним фактором у реалізації системи Комплаєнс. Відповідно, ці теорії наголошують на примусі та стримуванні, щоб змінити розрахунки фірм щодо вигод і витрат. Баланс між двома моделями є системою примусового дотримання, яка також заохочує до добровільного дотримання законів та правил. Однак, виконання цих загальних рекомендацій на практиці має певні недоліки через недостатньо визначені форми взаємодії таких категорій, як «ризики» та «відповідність». [3]

Формування та впровадження системи Комплаєнс може викликати певні проблеми та складності, проте при правильному управлінні та контролі їх можна вирішити досить швидко та без відчутних втрат. Надання всередині організації високого статусу службі Комплаєнс може призвести до невиконання чинних правил. Тому системі Комплаєнс на підприємстві доцільно надати дорадчі функції, коли остаточне рішення щодо впровадження її рекомендацій приймає керівництво підприємства відповідного рівня. Загальне місце системи Комплаєнс на металургійному підприємстві показано на рисунку 2.

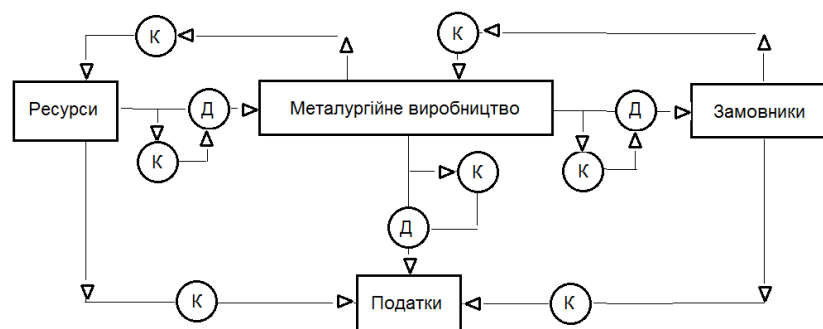


Рисунок 2 – Схема взаємодії комплаєнсу в системі металургійного виробництва.
(К – служба комплаєнс, Д – керівництво металургійного підприємства відповідного рівня) (створено авторами).

Загальним для всіх теорій Комплаєнсу є винайдення балансу між такими категоріями, як «відповідність» встановленим вимогам та «ризики» від невідповідного виконання зобов'язань. Вирішення завдань такого балансу

належить до типових задач невизначеності, які в загальному випадку можна визначити наступним чином [4]:

$$S = S_{\text{риз}} * S_{\text{відп}} = \Delta 1 * \Delta 2 = \text{const}, \quad (5)$$

де $S_{\text{риз}}$ – сукупність закономірностей системи ризику;

$S_{\text{відп}}$ – сукупність закономірностей системи відповідності;

$\Delta 1$ та $\Delta 2$ – складові системи, що визначають системні властивості ризику та відповідності суб'єктів підприємницької діяльності.

Для замкнутої системи, яка характеризує виробничий процес на металургійному підприємстві, характерним є те, що зміна однієї системної властивості призводить до відповідної зміни іншої у протилежний бік, що можна записати наступним чином:

$$(\downarrow \Delta 1) * (\uparrow \Delta 2) = \text{const} \quad (6)$$

В якості прикладу на рис. 3 наведено співвідношення фінансових ризиків та імовірності відповідності цим ризикам суб'єктів підприємницької діяльності. Вочевидь, що рівень відповідності суб'єктів повинен відповідати рівню фінансових ризиків, які може зазнати підприємство в разі неналежного виконання персоналом своїх службових обов'язків.

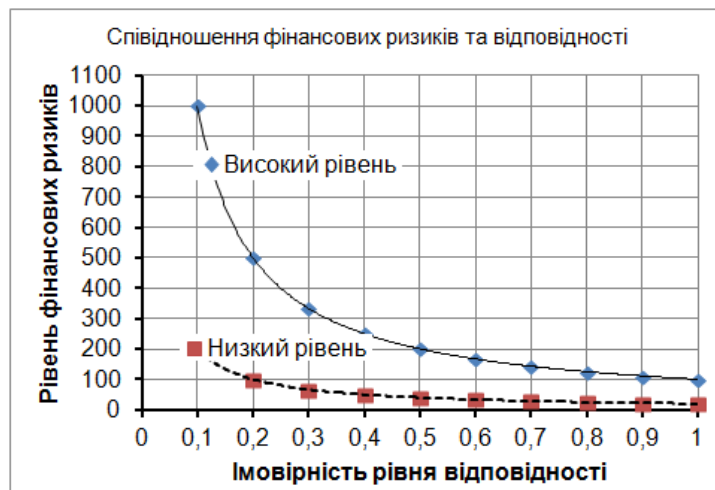


Рисунок 3 – співвідношення фінансових ризиків та імовірності відповідності цим ризикам суб'єктів підприємницької діяльності [4].

Виходячи з умов сталості виробничого процесу виникнення ризику (шахрайство, втрата безпеки фінансового та виробничого процесу тощо) ти менше, чим більше відповідність суб'єктів підприємницької діяльності. Тому завданням системи Комплаєнс має бути моніторинг виконання працівниками службових обов'язків відповідно до встановленого регламенту, дослідження

психологічного та морального стану працівників, виявляти зміну у поведінці працівників тощо.

Висновки. Таким чином, Комплаєнс має набувати статусу не тільки контролюючого органу, але і враховувати елементи психології у реалізації своєї діяльності. З використанням аналізу даних ймовірностей, які можна отримати як статистичними, так і експертними дослідженнями, система Комплаєнс дає можливість отримати реальний теоретичний інструмент для забезпечення сталості і безпеки роботи підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Малюта А. Н. Закономірності системного розвитку. Львів: Вища школа. Видання при Львів.ун-ті, 1989. 120 с.
2. Тубольцев Л., Пригунова А., Нарівський А., Петренко В. Концепція сталого розвитку металургії України. Стан, досвід, перспективи. – ІЧМ, НАН України, УДУНТ. - Дніпро, 2022. - 364 с. з. іл.
3. Lean Compliance, 2024. Five Theories That Will Transform Your Compliance. URL: <https://www.leancompliance.ca/post/five-theories-that-will-transform-your-compliance>. (Дата звернення 15.03.2024р).
4. Тубольцев Л.Г., Петренко В.О., Фонарьова Т.А., Селегей А.М. Розвиток теорії комплаєнс. Управління проектами. Перспективи розвитку проектного та нейроменеджменту, інформаційних технологій управління, технологій створення та використання об'єктів права інтелектуальної власності, трансферу технологій: зб наук. праць за матер. VI Міжнар. наук-практ. інтернет- конф. (21-22 березня 2024 р.). УДУНТ, УКРНЕТ, НДІІВ НАПрН України, Дніпро: УДУНТ, 2024. 796 с. С. 394-399.

SYSTEM ANALYSIS OF METALLURGICAL VIBRATION WITH VICORISTAN COMPLIANCE THEORIES

Leonid Tuboltsev, Vitalii Petrenko, Tetiana Fonarova, Andriy Selegey.

Abstract. *The purpose of the study is to determine modern approaches to the strategy of applying the compliance system at metallurgical enterprises. From the standpoint of the theory of hypercomplex dynamic systems, the components of the metallurgical enterprise are considered. Hypercomplexity is provided by the variety of sub-sectors included in the research object. The system properties of metallurgical production are highlighted, in particular, hypercomplexity (S1), dynamism (S2) and structurality (S3). It is shown that one of the latest global scientific developments regarding the procedure for compliance with obligations in the financial and industrial spheres is the theoretical concept of Compliance. It is advisable to provide advisory functions to the Compliance system at the enterprise, when the final decision on the implementation of its recommendations is taken by the management of the enterprise at the appropriate level. It is shown that*

common to all theories of Compliance is finding a balance between such categories as "compliance" with established requirements and "risks" from inappropriate fulfillment of obligations. The ratio of financial risks and the probability of compliance with these risks of business entities is given. It is shown that Compliance should acquire the status of not only a controlling body, but also take into account the elements of psychology in the implementation of its activities.

Keywords: *hypercomplexity, system analysis, Compliance, conformity, risks, metallurgical production, security.*

REFERENCE

1. Malyuta A. N. Zakonomernosti sistemnogo razvitiya. [Patterns of system development.]. L'vov: Vyshcha shkola. Izd-vo pri L'vov.un-te, 1989. 120 c.
2. Tubol'tsev L.H., Prynunova A.H., Narivs'kyi A.V., Petrenko V.O. Kontseptsiya staloho rozvytku metalurhiyi Ukrainy. Stan, dosvid, perspektyvy. [Concept of sustainable development of metallurgy of Ukraine. Condition, experience, prospects.]. 2023. 364 c. ISBN 978-966-02-9926-9
3. Lean Compliance, 2024. Five Theories That Will Transform Your Compliance. URL: <https://www.leancompliance.ca/post/five-theories-that-will-transform-your-compliance>. (Дата звернення 15.03.2024р).
4. Tuboltsev L.H., Petrenko V.O., Fonarova T.A., Selegey A.M. Development of the theory of compliance. Project management. Prospects for the development of project and neuromanagement, management information technologies, technologies for the creation and use of objects of intellectual property rights, technology transfer: a collection of scientific works based on the materials of the VI International Scientific and Practical Internet Conference (March 21-22, 2024). Dnipro: USUST, 2024. 796 p. P. 394-399.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.018

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ПЛАСТИКУ В ДОМЕННІЙ ПЕЧІ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ВИКИДИ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ

Чайка О.Л., Корнілов Б.В., Москалина А.О., Лебідь В.В.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Дніпро, Україна

Анотація. *Зважаючи на світові тенденції щодо зменшення впливу антропогенних факторів на природу, а саме утилізації пластмасових відходів та декарбонізацію промислових потужностей виконано дослідження впливу використання пластику в доменній печі, як найбільш енергоємного агрегату в циклі виробництва сталі, на техніко-економічні показники доменної плавки та викиди CO₂ з доменної печі на основі теплового балансу.*

Встановлено, що використання пластику в доменній печі дозволить вирішити питання його утилізації з найменшими наслідками для навколишнього середовища. Встановлені кількісний вплив використання пластику на продуктивність печі, витрату коксу та викиди CO₂.

Визначено коефіцієнт заміни коксу різними видами пластику при використанні його в доменній печі.

Ключові слова: *доменна піч, декарбонізація, витрата коксу, пластикові відходи, утилізація, коефіцієнт заміни.*

Вступ. Збільшення виробництва та споживання пластмасових матеріалів призводить до постійного збільшення кількості пластикових відходів. Виробництво та споживання пластмас у всьому світі зросло приблизно з 1,5 млн тонн у 1950 році до 245 млн тонн у 2008 році [1,2].

Після використання пластик, який не підлягає повторній переробці, викидають (звалища та поховання відходів пластику) або спалюють. При викиданні пластик довго зберігається у навколишньому середовищі. У разі спалювання відходів пластику в навколишнє середовище можуть виділятися токсичні гази, що містять такі речовини як діоксини, фурані, ртуть та поліхлоровані дифеніли [1]. Тому задача утилізації пластику без шкоди для навколишнього середовища є актуальною проблемою.

Одним з ефективних способів переробки зростаючої кількості пластикових відходів, що утворюються, є їх утилізація (вдування) в доменних печах (ДП), окремо і/або спільно з пиловугільним паливом (ПВП) та іншими паливними добавками [2].

Перші спроби вдування відходів пластику в доменні печі в Європі зроблено на Бременському сталеливарному заводі (Німеччина) у 1994 році, а через рік налагоджено технологію вдування відходів пластику в доменні печі. У Японії першу інтегровану систему для вдування пластикових відходів було встановлено на заводі Keihin Works (завод East Japan Works) компанії NKK (нині JFE Steel) у Японії [3]. Технологія вдування відходів пластику в фурмене вогнище доменних печей застосовується на кількох металургійних заводах Європи та Японії [2], Індії та Китаю [2].

З погляду екології вдування відходів пластику в доменну піч спільно з іншими паливними добавками має ряд переваг [4]: переробка значної кількості відходів пластику (до 100 тис. т. відходів на рік при питомій витраті пластику 3 кг/т чавуну); ефективність використання енергії становить більше 80% у доменному виробництві порівняно з іншими способами переробки пластику; утилізація пластику в доменній печі є одним з найбільш екологічних способів переробки відходів пластику, так як не утворюються шкідливі речовини (зокрема діоксини).

Основна частина. Виконано аналіз впливу вдування різних видів пластику (поліетилен – PE, полістирен – PS, поліетилентерефталат – PET), хімічний склад яких наведено в таблиці 1 [2], спільно з природним газом на викиди CO₂ та показники доменної плавки з використанням теплового балансу, який розраховувався за теплоенергетичною моделлю І.Д. Семікіна [5].

Таблиця 1

Хімічний склад видів пластику

Складові, %	Вид пластику		
	Поліетилен (PE)	Полістирен (PS)	Поліетилентерефталат (PET)
Вуглець C, %	85,60	92,16	64,71
Водень H ₂ , %	14,21	7,63	3,89
Кисень O ₂ , %			31,23
Зольність, %	0,19	0,21	0,17
Сума, %	100,0	100,0	100,0

Розрахунок виконано при зміні витрати пластику в діапазоні від 0 до 100 кг/т та постійній витраті природного газу – 50 м³/т для 2 варіантів

розрахунку (рис. 1): при змінній теоретичній температурі в межах 1800-2200°C та за підтримки теоретичної температури на постійному рівні ~2100°C.

Застосування різних видів пластику (PE, PS та PET) надає різний вплив на техніко-економічні показники доменної плавки та викиди CO₂ з доменної печі (рис. 1).

При постійній теоретичній температурі збільшення витрати пластику PE / PS на кожні 10 кг/т чавуну призводить до збільшення продуктивності печі на 78 / 72 т/добу та зменшення витрат коксу на 11,5 / 11,1 кг/т чавуну. При використанні пластику PET на кожні 10 кг/т продуктивність печі зменшується на 37 т/добу та витрати коксу на 5,8 кг/т.

При змінній теоретичній температурі збільшення витрати пластику PE / PS / PET на кожні 10 кг/т чавуну призводить до зменшення продуктивності печі на ~12,7 / 8,2 / 38,7 т/добу та витрат коксу на 11,9 / 11,5 / 5,8 кг/т.

Таким чином, аналітичним способом визначено коефіцієнт заміни коксу різними видами пластику в діапазоні: PE – 1,28-1,34 кг/т; PS – 1,23-1,28 кг/т, PET – 0,57-0,61 кг/т.

Зважаючи на світові тенденції щодо зменшення впливу антропогенних факторів на природу, а саме декарбонізацію промислових потужностей, до яких відноситься і металургійний комплекс (на долю доменних печей, в якому приходить близько 70% енергоресурсів), важливим питанням є аналіз впливу тих чи інших факторів, в тому числі й використання пластику, на викиди діоксиду вуглецю з доменної печі.

В результаті аналізу встановлено що збільшення витрати пластику PE / PS на кожні 10 кг/т чавуну дозволяє зменшити викиди CO₂ з урахуванням допалювання СО поза ДП на 6,5-7,0 / 2,8-3,5 кг/т на кожні 10 кг/т пластику як за постійної так і за змінної теоретичної температури. Використання пластику PET призводить до збільшення викидів CO₂ з доменної печі на 5,5 кг/т на кожні 10 кг/т пластику, а екологічний ефект від його використання ґрунтується на його утилізації в доменній печі.

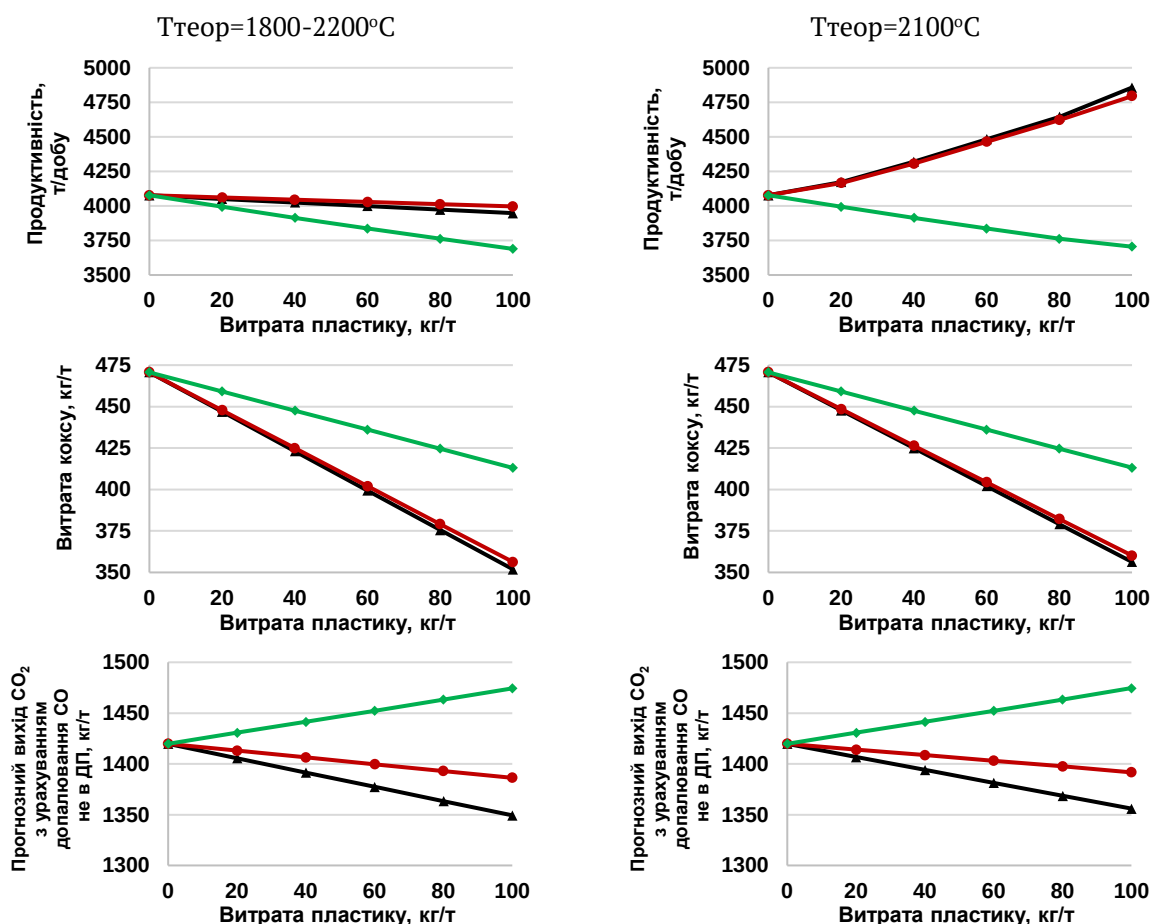


Рисунок 1 – Вплив витрати пластику на техніко-економічні показники доменної плавки та викиди CO₂ за підтримки теоретичної температури горіння на постійному рівні ($T_{теор}=2100^{\circ}\text{C}$) та змінній теоретичній температурі ($T_{теор}=1800-2200^{\circ}\text{C}$)

На рисунку: —▲— PE, —●— PS, —●— PET

Висновки. Використання пластику в доменній печі дозволить вирішити питання його утилізації з найменшими наслідками для навколишнього середовища.

Використання пластику PE / PS на кожні 10 кг/т чавуну дозволяє зменшити витрату коксу на 11,5-11,9 / 11,1-11,5 кг/т чавуну та викиди CO₂ з урахуванням допалювання СО поза ДП на 6,5-7,0 / 2,8-3,5 кг/т.

Визначено коефіцієнт заміни коксу різними видами пластику при використанні його в доменній печі: PE – 1,28-1,34 кг/т; PS – 1,23-1,28 кг/т, PET – 0,57-0,61 кг/т.

ЛІТЕРАТУРА

1. Меньшикова Е. А. Токсичные загрязнители из пластиковых отходов. Лучшие научные исследования 2022: сборник статей IV Международного научно-исследовательского конкурса. 20 февраля 2022, г. Пенза, С. 16-19.

2. Carpenter A. Injection of Coal and Waste Plastics in Blast Furnaces. 2010. London, UK.
3. Ziebek A, Stanek W. Forecasting of the energy effects of injecting plastic wastes into the blast furnace in comparison with other auxiliary fuels. Energy 2001; 26 (12): 1159-1173.
4. Wakimoto K. A feedstock recycling system of waste plastics in a blast furnace at NKK // Ironmaking Conference Proceedings. 2001. P. 473-483.
5. Бородулин А. В., Горбунов А. Д., Орел Г. И., Романенко В. И. Домна в энергетическом измерении. Кривой Рог: Издательство СП «Мира» 2004 г., с. 436.

Analysis of the impact of plastic utilization technology in a blast furnace on technical and economic indicators and carbon dioxide emissions

Chaika O., Kornilov B., Moskalyna A., Lebid V.

Abstract. *Taking into account global trends in reducing the impact of anthropogenic factors on nature, namely the utilization of plastic waste and decarbonization of industrial facilities, the article studies the impact of the use of plastic in a blast furnace, as the most energy-intensive unit in the steel production cycle, on the technical and economic indicators of blast furnace melt and CO₂ emissions from the blast furnace based on the heat balance.*

It was found that the use of plastic in a blast furnace will allow solving the issue of its utilization with the least environmental impact. The quantitative impact of plastic use on furnace performance, coke consumption, and CO₂ emissions was determined.

The coefficient of coke replacement by different types of plastic when used in a blast furnace was determined.

Keywords: *blast furnace, decarbonization, coke consumption, plastic waste, utilization, replacement rate.*

REFERENCE

1. Menshikova E. A. Toksichnie zagryazniteli iz plastikovikh otkhodov. The best scientific research 2022: collection of articles of the IV International Research Competition, February 20. Penza. – 2022. p. 16-19.
2. Carpenter A. Injection of Coal and Waste Plastics in Blast Furnaces. 2010. London, UK.
3. Ziebek A, Stanek W. Forecasting of the energy effects of injecting plastic wastes into the blast furnace in comparison with other auxiliary fuels. Energy 2001; 26 (12): 1159-1173.
4. Wakimoto K. A feedstock recycling system of waste plastics in a blast furnace at NKK // Ironmaking Conference Proceedings. 2001. P. 473-483.
5. Borodulin A. V., Gorbunov A. D., Orel G. I., Romanenko V. I. Domna v energeticheskom izmerenii. Krivoi Rog: Borodulin A. V., Gorbunov A. D., Orel G. I., Romanenko V. I. Domna v energeticheskom izmerenii. Krivoi Rog: Izdatelstvo SP «Mira» SP «Mira» 2004. – pp. 436.

ВПЛИВ РУДНОВУГІЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ У СКЛАДІ ШИХТИ НА ФОРМУВАННЯ ТЕРМІЧНО РЕЗЕРВНОЇ ЗОНИ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Ванюков А.А.¹, Камкіна Л.В.¹, Іващенко В.П.¹, Мянєвська Я.В.¹, Сазонов П.О.².

Український державний університет науки і технологій

Дніпростандартметрологія

Анотація. Об'єкт дослідження – технологія виплавки чавуну при застосуванні рудновугільних композицій. Мета роботи – вплив змінення складу доменної шихти на тепловий стан формування термічно резервної зони. Методи дослідження – теоретичні дослідження базуються на основних положеннях фізичної хімії і теорії металургійних процесів. Експериментальні дослідження проведено в лабораторних та промислових умовах. Наукова новизна – між відновленням та газифікацією “coupling phenomenon” існує – це тісний контакт між дрібними частинками оксидів заліза та вуглецю, який формується в рудо-вугільному композиті, що забезпечує підвищення ефективності доменної плавки. Скорочення витрати палива та відповідно кількості газів на одиницю шихти сучасної доменної плавки, скорочується висота резервної зони; не спостерігається цієї зони і у вертикальних елементах печі з максимальним рудним навантаженням. Практична значимість – застосування рудовугільних композицій забезпечує високу швидкість реакцій відновлення заліза і газифікації вуглецю і низьку початкову температуру газифікації вуглецю 250-420°C, що забезпечується рециркуляцією газу в обкотині, завдяки короткій відстані між частинами залізовмісних та вуглецевих композитів та їх розмірів, де відстань між ними коротка і межа реакції «видима» одним і іншим.

Ключові слова: доменна піч, термічно резервна зона, рудовугільні композити, відновлення, реакція газифікації вуглецю, реакційна здатність вуглецю

Вступ. До найбільш важливих зон доменної печі відноситься зона коксової насадки, термічно резервна зона, які виконують роль своєрідного буфера та згладжують недоліки, що виникають, і цим забезпечують високу стабільність доменного процесу. Експериментальні дані про розподіл температур за висотою доменної печі дозволили встановити, що в міру скорочення витрати палива та відповідно кількості газів на одиницю шихти сучасної доменної плавки, скорочується висота резервної зони. Не спостерігається цієї зони і у вертикальних елементах печі з максимальним рудним навантаженням.

Аналіз наукової інформації. Розрахунок О.М. Рама для реальних сучасних умов доменної плавки дає величину мінімальної різниці температур газу та шихти в середній зоні 50-150°C. Прямі виміри Н.І. Красавцева одніє з доменних печей показали аналогічну величину у різних точках радіуса шахти 30-150°C. Як і у М.А. Павлова, ці дані свідчать про уповільнення зміни температури в цій зоні. При зондуванні печі І.Г. Товаровський та В.П. Лялюк [1], зазначають, що чим ближче вертикаль зонда до перефірії, тим більше вимір йде у бік нижчих температур і тим яскравіше "ілюзія" уповільнення швидкості збільшення температур по висоті печі, тобто є наявність термічно резервної зони у вигляді ізотермічної ділянки висоти.

Таким чином, термічно "резервна зона" виникає як правило в середній зоні доменної печі в зоні уповільненого теплообміну. Саме в цій зоні знаходиться вюстит і при його відновлення утворюється CO_2 , при цих температурах в цій зоні не відбувається газифікація вуглецю. Очевидно, термічно резервна зона виникла, щоб її резерви використовувати для зниження температур нижче 1000°C і з одночасним відновленням FeO з подальшою газифікацією вуглецю із суттєвим поглинанням теплоти та зниженням температури в термічно резервній зоні доменної печі. Доцільно використовувати цей обсяг печі термічно резервної зони, з метою завершення підготовки шихти для високотемпературних процесів розплавлення чавуну та шлаку [1-4].

Отримання рудо вугільних композитів в даний час є досить широко відомим способом підготовки залізорудної сировини у вигляді рудовугільних композицій [2]. При їх використанні в шихті забезпечуються процес відновлення вюститу і газифікації вуглецю в композиті. У термічно резервній зоні доменної печі, за рахунок реакції газифікації вуглецю, яка протікає із витратою теплоти, знижується температура у цій зоні.

Вперше виробництво обпалених композитів із суміші залізорудного концентрату і вугілля було здійснено на дослідній фабриці окомкування, які були отримані з суміші залізорудного концентрату з подрібненим вугіллем, суміш окомковувалася на чашевому грануляторі і окатиші обпалювалися на

обпалювальній машині ОК-18. В шихту додавали 20% цих обкотишів, витрата коксу знизилась на 5,5% та збільшилась продуктивність на 8,7%. Було вироблено промислову партію композитів на випалювальній машині ОК-278 об'ємом 21870 тонн, яка була проплавлена в доменних печах металургійного заводу ім. Петровського. Кількість досліджуємих окатишів у доменній шихті склала від 47 до 81%. Дослідні котуни містили 0,39% вуглецю. У перерахунку на масу таких котунів вміст вуглецю в шихті 3,29 кг/тчав, що підвищило вміст FeO до 10,16%, зменшився ступінь прямого відновлення з 31 до 30,6%, витрата коксу знизилась на 14 кг/тчав.

Рудовугільні композити були випробувані на діючій доменній печі в Кореї [4]. Було встановлено, що завантаження рудо вугільних композитів не надає негативного впливу на газопроникність шихтових матеріалів, на стабільність сходу шихти і на рівність ходу доменної печі. Відновлення залізовмісних матеріалів починається в зоні низьких температур і закінчується швидше порівняно з агломератом і котунами.

В Україні з 2005 року введено в експлуатацію фабрику з виробництва безобпальних обкотишів на портландцементній зв'язці з суміші пилу і шламів доменного та конверторного виробництва продуктивністю 120 тис. тонн обкотишів на рік, основністю 1,5-1,7. Було вироблено 21000 тонн композиту з використанням пилів та шламів доменної печі з додаванням цементу. Вміст вуглецю у композиті становив 20%. Експерименти проводилися на доменній печі обсягом 5775 м³, витрата композиту 54 кг/тчав. Температура доменної печі в точці рівноваги при витраті композиту 54 кг/тчав, знизилася на 83°C. Встановлено, що при зниженні рівноважної температури кожен 1°C знижує витрату вуглецю на 0,05 кгС/1°C.

Реакції відновлення при зниженій температурі в шахті доменної печі забезпечують скорочення витрати коксу, за рахунок підготовки шихти у вигляді композитів. У разі відповідності температур термічно резервної зони доменної печі та початкової температури реакції Будуара здійснюється зниження витрати коксу завдяки зниженню температури термічно резервної зони доменної печі.

Резервні зони виникають спонтанно через термодинаміку та механізми реакції між відновленням залізовмісних оксидів і газифікацією вуглецю. Одна з умов контролюючих відновлення доменної печі - це зниження температури в термічно резервній зоні шляхом збільшення реактивності вуглецю коксу. Як поліпшення хімічної активності вуглецю, так і скорочення крупності вуглецевмісного матеріалу, є методами збільшення реакційної здатності вуглецю [3, 4].

Якщо швидкість відновлення оксидів заліза може збільшуватися та початкова температура реакції газифікації знижується ($C+CO_2=2CO-\alpha$), то внаслідок цього слід очікувати підвищення ефективності доменного процесу за рахунок повнішого відновлення. Зміна механізму реакції можна простежити в композитному рудовугільному котуні що наведені на рис.1. Початковою реакцією має бути реакція (3). Однак механізм подальших реакцій може відрізнятися і змінюватись в залежності від розташування вуглецю та оксидів заліза. У позицій (а) рис.1, реакція (3) ніколи не протікатиме, а реакції (1) та (2) домінуватимуть. Однак загальну ситуацію відновлення та газифікації важко пояснити, чому швидкість реакції прискорюється лише через циркуляцію газу. У цьому випадку існує лише одна можливість для пояснення цієї ситуації: відстань між частинками має бути мінімальною, тобто межа реакції має бути видимою одним та іншим матеріалом.

Експериментальні дослідження відновлення рудовугільних композитів

Композит отримували із суміші тонкоподрібнених матеріалів: шламів доменного та конверторного виробництв, хімічний склад: Фезаг-43%, С -7-9%, CaO 12-16, SiO₂-7-8%. Проба композиту розміром 5-10 мм завантажувалося в тигель і нагрівалася в електропечі в атмосфері аргону. Відновлення композиту проводили при температурах 900,1000 і 1100 °С протягом 150 і 240 хвилин. Ступінь відновлення за рахунок вуглецю, що міститься в композиті, складає при витримці 150 хв - 67,5% - 68,7%, при витримці 240 хвилин 69,6% - 69,9%.

Композит роблять з суміші тонкоподрібнених залізрудних матеріалів і вуглецьмістячих компонентів з добавкою в'язучої речовини. Тоді при нагріві

усередині обкотиша на контакті тверде – тверде (Fe_2O_3 тв - Ств) відбувається процес відновлення по реакціях:



На рис. 1 схематично ілюструються різні механізми відновлення композиту з вуглецем, розміщеним в середині обпалювальних обкотишів, та вуглецем розташованим зовні обкотиша.

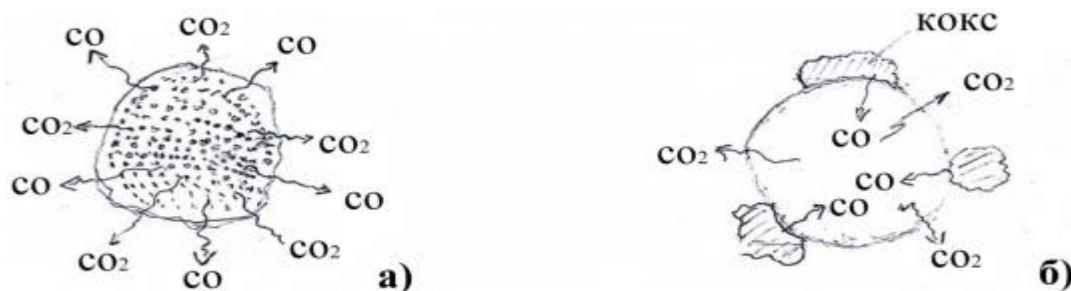


Рис. 1 Схема ілюструюча різні механізми відновлення

а) обкотиші, що самовідновлюються. Реакція 1, 2 і 3 протікають у середині обкотиша; б) звичайні обпалені обкотиші: розташування вуглецю на їх поверхні.

Відновлення обкотишів, що містять оксиди заліза і частки твердого палива, не відбувається в ізотермічних умовах і процес відновлення протікає при істотних температурних градієнтах. Значна роль в цих процесах належить крупності частинок залізної руди і вуглецю. Розмір частинок шламів доменного і конверторного виробництв і коксика складає в основному 70-80% величину від 10 до 70 мкм. Відстань для CO_2 , щоб пройти від місця його появи (частинка шламу, що містить вуглець з оксидом заліза) до місця його зникнення може бути близько 100 мікрон в місцях з високою температурою, де активно протікає хімічна реакція. Ця дистанція порівнянна з середнім вільним пробігом молекул газів, що дозволяє зробити висновок про те, що перенесення маси газів не є лімітуючою стадією для швидкості реакції.

Теплоперенос в пористому просторі включає: теплопровідність, випромінювання і конвекцію. Відносні значення цих механізмів варіюються залежно від властивостей: твердої фази, структури пір, інтервалу температур і руху газу. Для даного випадку швидкість передачі теплоти випромінюванням на три порядки менша, ніж теплопровідністю. Зі збільшенням

теплопровідності шихти температура в системі і швидкість загальної реакції значно збільшується. Більше того, рання металізація збільшує термічну провідність реакційної суміші завдяки підвищеному вмісту металевого заліза. Усе це дає позитивний ефект, збільшуючи швидкість хімічної реакції.

Збільшення питомої швидкості хімічної реакції газифікації вуглецю має мінімальний ефект на швидкість загальної реакції. Це може бути пояснено таким чином. Збільшення швидкості ендотермічної реакції газифікації вуглецю пов'язане зі збільшенням швидкості споживання теплоти. Реакція газифікації вуглецю сама по собі також сильно залежить від температури. Швидке поглинання теплоти завдяки швидкій газифікації вуглецю матиме тенденцію до зниження локальної температури, яка веде до зниження локальної швидкості хімічної реакції. Виходячи з цього, можна припустити, що загальна кінетика реакції може контролюватися швидкістю теплопереноса, щоб ініціювати і підтримувати газифікацію вуглецю за рахунок CO₂ і H₂O.

Одна з переваг відновлення композиту полягає в тому, що при значній кількості тісних контактів між вуглицем і оксидами заліза протікає реакція прямого відновлення по двухзвенній схемі ($\text{FeO}_x + \text{CO} \rightarrow \text{FeO}_x - 1 + \text{CO}_2$; $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$). Причому, ці дві реакції протікають одночасно.

Висновок. Дослідження показали високу швидкість реакцій відновлення заліза і газифікації вуглецю і низьку початкову температуру газифікації вуглецю 250-420°C. Прискорення реакції відновлення відбувається за рахунок рециркуляції газу завдяки короткій відстані між частинами залізовмісних та вуглецевих композитів та їх розмірів., де відстань між ними коротка і межа реакції «видима» одним і іншим.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Ruijun Yan, Zhenggen Liu, Peijun Liu. Effect of coke reactivity on softening-melting and dripping behaviors of sinter. Ironmaking & Steelmaking, 25. 2023. DOI:10.1080/03019233.2023.2200621
2. Fundamental research on iron coke hot briquette – A new type burden used in blast furnace. H. Wang, M. Chu, W. Zhao, R. Wang, Z. Liu, J. Tang. Ironmaking & Steelmaking. 2016. DOI:10.1080/03019233.2016.1152344

3. MENG Fan-chao, ZOU Zong-shu. Influence of Thermal Reserve Zone Temperature in Blast Furnace on Gas Utilization Rate. Journal of Northeastern University Natural Science 2018, Vol. 39. Issue (7): 985-989. DOI: 10.12068/j.issn.1005-3026.2018.07.015.
4. Fanchao Meng, Lei Shao, Wenjie Ni, Zongshu Zou. A Numerical Study on the State of the Blast Furnace Thermal Reserve Zone under Different Starting Temperatures of Coke Solution Loss Reaction. Steel research international. Research Article. 2022 . Volume93, Issue7. <https://doi.org/10.1002/srin.202100823>.

PECULIARITIES OF FORMATION OF THE HEAT RESERVE ZONE WHEN USING ORE AND COAL PELLETS

Vanyukov Anton, Kamkina Lidiya, , Ivashchenko Valerii,
Miyanovska Yana., Sazonov P.

Abstract. *The object of research is the technology of iron smelting when using ore-coal compositions. The purpose of the work is the effect of changing the composition of the blast furnace charge on the thermal state of the formation of the thermal reserve zone. Research methods - theoretical studies are based on the basic principles of physical chemistry and the theory of metallurgical processes. Experimental studies were carried out in laboratory and industrial conditions. Scientific novelty - there is a "coupling phenomenon" between recovery and gasification - this is a close contact between small particles of iron oxides and carbon, which is formed in the ore-coal composite, which ensures an increase in the efficiency of blast furnace smelting. Reduction of fuel consumption and, accordingly, the amount of gases per unit charge of modern blast furnace smelting, the height of the reserve zone is reduced; this zone is not observed in the vertical elements of the furnace with the maximum ore load. Practical significance - the use of ore-coal composites provides a high speed of iron recovery and carbon gasification reactions and a low initial temperature of carbon gasification of 250-420°C, which is ensured by gas recirculation in the under burden, due to the short distance between the parts of iron-containing and carbon composites and their sizes, where the distance between them is short and the limit of the reaction is "visible" to both.*

Keywords: *blast furnace, thermal reserve zone, ore-coal composites, recovery, carbon gasification reaction, carbon reactivity*

RESEARCH OF FAILURE HOSE IN THE OPERATION OF FORKLIFTS IN SEAPORTS

Viktor Strelbitskyi

Odessa National Maritime University, Ukraine

Abstract. *This study focuses on hydraulic hoses utilized in the hydraulic systems of forklifts. The investigation examined 8 forklifts, each with a loading capacity of 10 tons. The check took place every six months over a three-year span. Before and after each shift, the forklift operator performed visual checks and hydraulic system and brake a inspections.*

The research findings indicated that the most frequent hose malfunction was a result of a rupture. The failure rate noticeably increased during the winter, attributable to the low temperatures' adverse effect on the hoses' physical and mechanical properties. Another common area of hydraulic hose failure is due to substandard crimping and minimal fitting depth in the sleeves..

Keywords: *forklift, hydraulic hoses, failure, wear.*

Forklifts are commonly utilized for transferring cargo at seaports [1-6]. The hydraulic drive is an essential component that, if widely adopted, can greatly enhance the performance of loaders [1-5].

The performance of forklifts can be greatly enhanced by introducing hydraulic drives. The reason for its widespread use is because of several advantages, such as small size and weight, smooth operation, and shock load compensation by the working fluid [1-4].

The functionality of the hydraulic drive hoses, which power the lifting mechanism, is crucial for the proper operation of the boom. The primary condition that shows the functionality of these hoses is their undamaged state and lack of wear indications [1-4].

Nevertheless, while loaders are in operation at the port, unfavorable factors can negatively affect the performance of the hydraulic system. Specifically, a rise in the operating pressure, cuts on the surfaces, rubber layer delamination, and braid breaks cause a reduction in the longevity of the sleeves [1-6]. Even with improvements in machine reliability, the issue of unexpected hose failures has not been resolved. There are very few works that focus on predicting the condition of hoses [2-4].

During the research, 8 forklifts, each with a lifting capacity of 10 tons, were examined, which are operated in the seaport in summer and winter. The check took place every six months over a three-year span. Before and after each shift, the forklift operator performed visual checks and hydraulic system and brake inspections. The majority of the malfunctions were discovered through a visual examination.

The fig.1 shows distribution of hose failures in summer and winter periods of operation of the forklift.

Based on extensive data analysis, it was determined that hose rupture is the predominant mode of failure. This is particularly evident during winter months, where the number of failures surpasses those in summer. This disparity can be attributed to the detrimental effects of colder temperatures on the physical and mechanical properties of the hoses. In-depth examination of failed hoses revealed that premature rupture often stems from substandard crimping techniques and insufficient insertion depth of the fittings into the hoses during manufacturing.

Subpar crimping techniques can lead to uneven distribution of stress and pressure across the hose, ultimately increasing the likelihood of rupture.

In addition to temperature fluctuations, environmental factors such as exposure to chemicals, and ozone can accelerate the degradation of hoses.

To mitigate the risk of hose failures and ensure optimal performance, the following preventive measures should be implemented:

- a) Adhere to proper crimping techniques and specifications.
- b) Ensure sufficient insertion depth of fittings during hose assembly.
- c) Regularly inspect hoses for signs of wear and damage.
- d) Store hoses in controlled environments, protected from extreme temperatures and other adverse conditions.
- f) Select hoses with appropriate materials and specifications for the intended application.

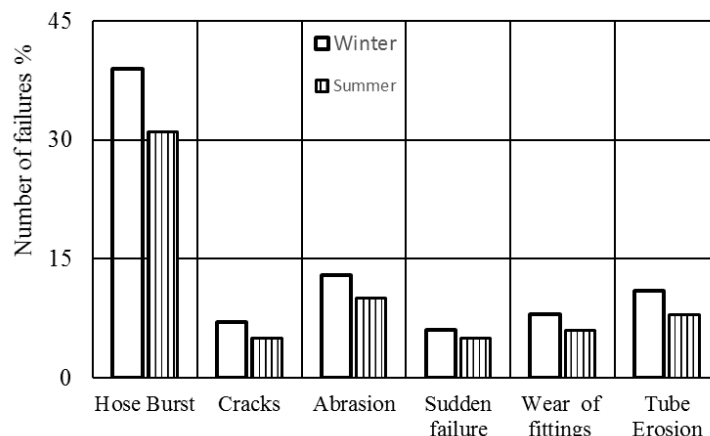


Figure 1 – Distribution of hose failures in summer and winter periods of operation of the forklift

When using hoses in low temperatures, their durability is notably reduced, as shown by experimental research findings.

By implementing these proactive measures, the longevity and reliability of hoses can be significantly enhanced, reducing the incidence of failures and potential safety hazards.

REFERENCES

1. Fedorko G, Molnar V, Dovica M, Toth T and Fabianova J Failure analysis of irreversible changes in the construction of the damaged rubber hoses. Engineering Failure Analysis. 2015.58. Pp. 31–43.
2. Hryhorov O. V., Petrenko N. O. Vantazhopidiomni mashyny: Navch. posibnyk. Kharkiv: NTU «KhPI», 2005. 304 s..
3. Tishchenko L. M. Proektuvannia vantazhopidiomnykh mashyn ta navantazhuvachiv / L. M. Tishchenko, V. O. Bilostotskyi. – Kharkiv, 2003. 401 s.
4. Andrenko P.M. Nadiinist, tekhnichne diahnostuvannia ta ekspluatatsiia hidro- i pnevmopryvodiv : navch. posib. / P.M. Andrenko, A.Iu. Lebediev, O.V. Dmytriienko, M.S. Svyarenko ; pid red. prof. P.M. Andrenka. Kharkiv : Vydavnychyi tsentr NTU «KhPI», 2018. 519 s.
5. Strelbitskyi V.V., Bovnegra L.V., Pavlyshko A.V. Analysis of strength of a fork of the forklift by numerical methods /V.V. Strelbitskyi, L.V. Bovnegra, A.V. Pavlyshko // System technologies. Dnipro, 2023. N 3(146). P.38 – 45.
6. Karpenko M., Prentkovskis O., Šukevičius Š. Research on high-pressure hose with repairing fitting and influence on energy parameter of the hydraulic drive // Eksploatacja i Niezawodność. 2022. T. 24. №. 1.-Pp. 25-32.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ГІДРАВЛІЧНИХ РУКАВІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИЛОЧНИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ В МОРСЬКИХ ПОРТАХ

Стрельбіцький Віктор

Одеський національний морський університет, м. Одеса.

Анотація: У роботі досліджено ушкодження гідравлічних рукавів виловних навантажувачів. Для обстежень обрано 8 навантажувачів вантажопідйомністю 10 тон. Перевірка проводилася кожні шість місяців протягом трьох років, перед початком і після кожної зміни оператор навантажувача проводив візуальний огляд, а також перевірку гідравлічної системи і гальм.

Результати дослідження показали, що найчастіше рукави виходять з ладу внаслідок розриву. У зимовий період кількість відмов помітно зросла, що пов'язано з несприятливим впливом низьких температур на фізичні і механічні властивості рукавів. Крім того, передчасний вихід з ладу рукавів відбувається через неякісний обжим та мінімальну глибини установки фітінгу у рукави.

Ключові слова: виловний навантажувач, гідравлічний рукав, несправність, знос.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fedorko G, Molnar V, Dovica M, Toth T and Fabianova J Failure analysis of irreversible changes in the construction of the damaged rubber hoses. Engineering Failure Analysis. 2015.58. Pp. 31–43.
2. Григоров О. В., Петренко Н. О. Вантажопідйомні машини: Навч. посібник. Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 304 с..
3. Тіщенко Л. М. Проектування вантажопідйомних машин та навантажувачів / Л. М. Тіщенко, В. О. Білостоцький. – Харків, 2003. 401 с s.
- 4.. Андренко П.М. Надійність, технічне діагностування та експлуатація гідро- і пневмоприводів : навч. посіб. / П.М. Андренко, А.Ю. Лебедєв, О.В. Дмитрієнко, М.С. Свинаренко ; під ред. проф. П.М. Андренка. Харків : Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2018. 519 с.
5. Strelbitskyi V.V., Bovnegr L.V., Pavlyshko A.V. Analysis of strength of a fork of the forklift by numerical methods /V.V. Strelbitskyi, L.V. Bovnegr, A.V. Pavlyshko // System technologies. Dnipro, 2023. N 3(146). P.38 – 45.
6. Karpenko M., Prentkovskis O., Šukevičius Š. Research on high-pressure hose with repairing fitting and influence on energy parameter of the hydraulic drive // Eksploatacja i Niezawodność. 2022. T. 24. №. 1.-Pp. 25-32.

СЕКЦІЯ 2

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСАХ ОДЕРЖАННЯ МАТЕРІАЛІВ
ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

SECTION 2

**INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE PROCESSES
OF OBTAINING MATERIALS WITH SPECIFIED PROPERTIES**

АДАПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ВУЛИКА ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА АНАЛІЗУ АУДІО

Жуков¹О.О., Горбенко²В.І.

¹Запорізький національний університет, аспірант, Україна

²Запорізький національний університет, к.ф.м.н, доцент, Україна

Анотація. У сучасному бджільництві ідентифікація присутності матки в вулику є важливим завданням, що впливає на здоров'я та продуктивність бджолоїної колонії. Розвиток методів машинного навчання, зокрема згорткових нейронних мереж, відкриває нові можливості для автоматизації цього процесу. Ця стаття фокусується на використанні нейронних мереж та способів виділення характеристик аудіоданих MFCCs та STFT для ідентифікації стану відсутності матки у вулику, а також огляд можливостей використання навчених моделей на даних з інших вуликів. Результати дослідження демонструють, що MFCCs є більш універсальним способом обробки даних для цієї мети, порівняно з STFT, який показав позитивні результати на першому наборі даних, але не показав значних результатів на другому. Також, використання навченої моделі з використанням MFCCs на обмеженому наборі даних показало кращий результат ніж повне навчання моделі на цих даних.

Ключові слова: нейронні мережі, бджоли, глибоке навчання, аналіз аудіо, tensorflow, згорткові нейронні мережі, mfccs, stft.

Бджоли є невід'ємною частиною глобальної екосистеми, відіграючи критичну роль в процесі запилення. Цей процес сприяє репродукції багатьох видів рослин, включно з великою кількістю тих, що формують основу людського харчування [1]. У сучасному бджільництві ідентифікація присутності матки в вулику є важливим завданням, яке впливає на здоров'я та продуктивність бджолоїної колонії. Розвиток методів машинного навчання, зокрема згорткових нейронних мереж, відкриває нові можливості для автоматизації цього процесу. Також важливим аспектом використання нейронних мереж для ідентифікації стану вулика є їх універсальність, тобто можливість використання навченої нейронної мережі на інших вуликах, що можуть містити інший набір мікрофонів та мати відмінності у їх розміщенні.

Численні дослідження показали ефективність використання акустичних сигналів для ідентифікації станів бджолоїного вулика [2], а також застосування

нейронних мереж для їх аналізу, зокрема використання архітектури рекурентної нейронної мережі LSTM для ідентифікації відсутності бджолиної матки у вулику [3].

Метою роботи є розробка глибокої нейронної мережі для класифікації аудіосигналів з метою ідентифікації присутності бджолиної матки у вулику, а також аналіз можливостей використання моделей на іншому вулику.

У якості джерела даних для дослідження використовувався анотований датасет “To bee or not to bee” [4]. Дані з цього датасету були розділені на два набори даних в залежності від джерела аудіоданих та були оброблені, а згодом приведені до загального вигляду шляхом розподілу за критерієм присутності матки: з наявною маткою (queen), та без неї (noqueen), а також розділенням великих аудіофайлів на частини по 4 секунди.

Для подальшого тренування моделей використовувалися два методи виділення ознак з аудіоданих: Мел-частотні кепстральні коефіцієнти(MFCCs) та віконне перетворення Фур’є.

Після навчання моделей, було виконано порівняння метрик результатів їх навчання та роботи на тестовій вибірці даних (Таблиця 1), що складала 20% від початкового набору даних. Для цього використовувались наступні метрики:

Таблиця 1

Результати тренування та тесту моделей на наборі даних OSBH

	Loss	Val. Loss	Accuracy	Val. Accuracy
MFCCs	0,30	0,27	0,91	0,90
STFT	0,27	0,22	0,92	0,93

Виходячи з наведених у Таблиці 1 результатів, можна сказати, що обидва методи успішно впоралися з задачею ідентифікації присутності матки у вулику. Використання методу MFCCs дозволило коректно ідентифікувати присутність бджолиної матки на 90% тестових аудіозаписів, а STFT показав трохи кращий результат у 93%.

У випадку використання 20% від повного другого набору даних для тренування, отримуємо результати наведені у Таблиці 2, виходячи з яких

донавчання моделі на меншому наборі даних може дати кращий результат за повне перенавчання моделі «з нуля».

Таблиця 2

Результати тренування та тесту моделей на обмеженому наборі даних NU-Hive

	Loss	Val. Loss	Accuracy	Val.Accuracy
Моделі NU-Hive				
STFT	0,65	0,71	0,65	0,38
MFCCs	0,69	0,65	0,58	0,56
Донавчені моделі OSBH				
STFT	0,61	0,56	0,62	0,59
MFCCs	0,58	0,60	0,77	0,73

Висновки. За результатами виконаних досліджень встановлено, що хоч використання віконного перетворення Фур'є показало найкращий результат, коли модель була тренувана на першому наборі даних, використання мел-частотних кепстральних коефіцієнтів для тренування моделей дало позитивний результат в обох випадках, що робить цей спосіб виділення характеристик аудіосигналів більш універсальним вибором для задачі ідентифікації присутності бджолої матки. Також, виходячи з результатів тренування на другому наборі даних, застосування навчених моделей з використанням мел-частотних кепстральних коефіцієнтів на обмеженому наборі даних може дати кращий результат за повне перенавчання такої моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. KremenC., Williams N. M., ThorpR.W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2002. вип.99, Т. 26. С.16812–16816.
2. Kirchner W. H. Acoustical communication in honeybees. *Apidologie*. 1993. Т. 24, вип.3. С.297–307.
3. S.Ruvinga та ін. Use of LSTM Networks to Identify “Queenlessness” in Honeybee Hives from Audio Signals / *2021 17th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, Dubai, United Arab Emirates, 21–24 чер. 2021 р. 2021.
4. Nolasco I., Benetos E. To bee or not to bee: Investigating machine learning approaches to beehive sound recognition. *Workshop on Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events (DCASE)*. 2018.

AN ADAPTIVE APPROACH TO THE BEE HIVE STATE IDENTIFICATION USING NEURAL NETWORKS AND AUDIO ANALYSIS

Oleksandr Zhukov, Vitalii Horbenko

Abstract: *Monitoring the queen bee is crucial for the health and productivity of a bee colony. The queen plays a vital role in reproduction and maintaining the colony's population. Utilizing neural networks, such as CNNs along with sound analysis, can be a valuable tool for monitoring queen bees and assessing their behavior and health within the hive. Finding the best way to preprocess audio data and review it is an important task that, if performed well, will help to track the bee hive population and its health state in general. According to the training and evaluation results, MFCCs-based models have given constant good results, and when used on a limited audio dataset, pre-trained model showed better performance than the one trained from zero.*

Keywords: *neural networks; tensorflow; deep learning; bees; MFCCs; STFT; bees;*

Reference

1. Kremen C., Williams N. M., Thorp R. W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2002. Vol. 99, no. 26. P. 16812–16816.
2. Kirchner W. H. Acoustical communication in honeybees. *Apidologie*. 1993. Vol. 24, no. 3. P. 297–307.
3. Use of LSTM Networks to Identify “Queenlessness” in Honeybee Hives from Audio Signals / S. Ruvinga et al. *2021 17th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, Dubai, United Arab Emirates, 21–24 June 2021. 2021.
4. Nolasco I., Benetos E. To bee or not to bee: Investigating machine learning approaches to beehive sound recognition. *Workshop on Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events (DCASE)*. 2018.

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРФОРАЦІЇ ПЛАСТИН ЗІ СТАЛІ 30ХН2МА ПІД ВПЛИВОМ ВІБРАЦІЇ

Свиридов С. О.¹, Балакін В. Ф.², Балаханова Т. В.³, Гавриляк Р.В.³

¹ПАТ «Запоріжсталь», Запоріжжя, Україна

² Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

³Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, Дніпро, Україна

Анотація: В роботі досліджено особливості руйнування та деформації металевих пластин зі сталі марки 30ХН2МА після балістичних випробувань. Особливістю експерименту було те, що під час випробування на частину пластин додатково була накладено вібрація частотами 10 та 20 Гц. Виявлено перспективність впливу вібрації на балістичну стійкість пластин. Після експерименту в статичних пластинах наскрізні отвори фрагментаційного та пелюсткового типів з подальшим розтріскуванням. Розтріскування поширювалося вглиб недеформованої пластини. Накладення вібрації показало суттєве покращення балістичних властивостей. При застосуванні комбінованого випробування було виявлено зміна супротиву мішені. Зокрема була збільшена пластична складова руйнування та виявлені фрагменти кулі, що залишилися на лицьовій поверхні пластини після випробування. Показано, що подальше застосування вібрації є перспективним напрямом підвищення балістичної стійкості матеріалів.

Ключові слова: балістична стійкість, фрагментація, вібраційна обробка, механізм руйнування, мікроструктура.

Постійний розвиток систем озброєнь, безперервні військові дії призводять до необхідності посиленого захисту як людей, так і різних об'єктів. Попри постійні розробки та дослідження нових матеріалів, одним із найпоширеніших матеріалів для використання як захисного елемента бронезилетів, панцирних укріплень тощо, є металеві пластини різної твердості та товщини. Оскільки захисні матеріали повинні мати не тільки високу балістичну стійкість, але й бути легкими, надійними, відрізнятися простотою виготовлення, вчені шукають шляхи підвищення захисних характеристик наявних матеріалів – покращення структурного стану матеріалу при збереженні його твердості [1, 2], використання перфорованих пластин [3, 4], багат шарових [5, 6] та зверхтвердих пластин [7], високоентропійних сплавів [8] та пластин зі специфічним рельєфом поверхні [6, 9]. Існують розробки, що

показують вагомий вплив відхилення мішені від нормального положення щодо траєкторії снаряда/кулі на результати балістичних випробувань [10-12]. При чому відхилення відразу по кількох осях викликає більший ефект [13-14]. Крім цього в реальних умовах на пластину часто впливає спершу вибухова хвиля і потім вже наступний удар уламками, тобто пластина зазнає одночасно кількох дій – деформацію від вибухової хвилі та балістичний удар [15]. Таким чином вивчення поведінки металевої пластини при балістичних випробуваннях під додатковим зовнішнім впливом є актуальним та маловивченим напрямом досліджень.

Зовнішнім чинником на мішень було обрано вібраційне навантаження. На сьогодні віброобробка використовується не тільки як вплив на ванну розплаву при литті та зварювальних процесах для подрібнення структури, що твердне, але і як ефективний спосіб перерозподілу та зняття залишкових напружень металовиробів [16, 17].

В роботі було вивчено поведінку металевої пластини зі сталі марки 30XH2MA товщиною 6,7 мм при балістичних випробуваннях. Пластини були жорстко прикріплені до основи. Для стрілянини використовувалася гвинтівка МКМ-072. Стріляли з відстані 10 м кулями зі сталевим осердям калібру 7,62×39 мм під кутом 90° до досліджуваних зразків. Випробування проводилися як зі застосуванням вібрації, так і за її відсутності. Було використано вібрацію частотами 10 та 20 Гц. Оскільки вібраційний вплив був нерезонансний використано широкий набір амплітуд (від 0,1 до 4 мм).

За результатами випробувань у всіх випадках статичного положення пластини відбулося наскрізне пробиття. На місці удару були утворені отвори різного вигляду. За більшістю випадків руйнування пластини відбувалося шляхом фрагментації, діаметр отвору, що виник, відповідав розміру кулі (рис. 1, а). В деяких випадках спостерігалось виникнення пелюсткоподібної форми з виникненням тріщини (рис. 1, б). Але суттєвих проявів пластичного деформування у всіх випадках руйнування статичної пластини не виявлено. Розтріскування та відшарування тильної сторони плити не спостерігалось за

всіх режимів балістичних випробувань. Це пояснюється першочергово невеликою твердістю металу (НВ 295).



а

б

Рисунок 1 – Перфоровані ділянки статичної пластини: а – пластично-фрагментаційна перфорація, б – пелюсткова перфорація з додатковим розтріскуванням тильної сторони

Однак застосування вібрації суттєво підвищило балістичну стійкість на пластинах навіть такої невисокої твердості. Застосування вібрації частотою 10 Гц показало покращення характеристик (6 зразків з 9 не були перфоровані – рисунок 2, а). У зразках, які не пройшли випробування було помітно більший рівень пластичної складової (опуклість місця виходу кулі). При цьому розтріскування не поширювалося далі опуклої частини металу (рис. 2, б).



а

б

Рисунок 2 – Зразки пластини після балістичного випробування з вібраційним навантаженням 10 Гц: а – зразок, що витримав випробування, б – пластично-пелюсткова перфорація з додатковим розтріскуванням опуклої сторони

Застосування вібрації 20 Гц показало більш стабільний результат. За цим режимом не виявлено перфорованих зразків. В результаті балістичних випробувань виникли ямки на фронтівій частині металевої пластини (рис. 3). Спостерігалась тенденція збільшення висоти опуклостей зі збільшенням значення амплітуди вібраційної обробки. В деяких спостерігалось зародження

руйнування за суто фрагментаційним типом, тобто частка пластини усувається на кшталт корка (рис. 3, а). Деякі автори пов'язують такий тип руйнування з формою кулі, а саме з тупим носом. Таким чином під час удару при вібраційному навантаженні куля ефективно втратила частину вихідної кінетичної енергії. Завдяки вібрації куля відскочила навкопиль.



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд зразків після балістичних випробувань, вібраційне навантаження 20 Гц: а – зразок з початком фрагментаційного руйнування, б – зразок з опуклістю

Металографічний аналіз виявив фрагменти поверхневої оболонки кулі на зразках пластини після випробування із застосуванням вібрації частотою 20 Гц (рис. 4).

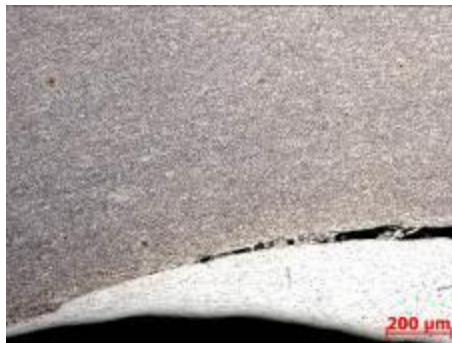


Рисунок 4 – Структура ямки зразка з фрагментом поверхневого матеріалу кулі після балістичних випробувань, вібрація 20 Гц, $\times 100$

Це свідчить про деформацію та руйнування тіла кулі під час балістичних випробувань.

На підставі представленого комплексу експериментальних умов, що використовуються при балістичних випробуваннях металевих пластин зі сталі марки 30ХН2МА товщиною 6,7 мм, можна зробити наступні висновки.

Спільне застосування балістичного удару та вібраційного навантаження суттєво вплинуло на сприйнятливість мішені до удару, зміну характеру руйнування та призвело до зміни форми кулі та її часткового руйнування.

Отримані результати показують перспективність потенційного застосування вібраційної обробки під час проектування бронезахисних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Jo M., Kim S., Suh D., Kim H., Kim Y., Sohn S., Su L. Enhancement of ballistic performance enabled by transformation-induced plasticity in high-strength bainitic steel. *Journal of Materials Science & Technology*. – 2021. № 84. DOI: 10.1016/j.jmst.2020.12.059
2. Pai A., Rodríguez M., Marcos B., Masuhiro V.-M., Borja S. Experimental techniques for performance evaluation of shielding materials and configurations subjected to Blast and Ballistic impacts: A State-of-the-Art Review. *Thin-Walled Structures*. – 2023. № 191. C. 111067. DOI: 10.1016/j.tws.2023.111067
3. Puica C., Trană E., Pupaza C., Turtoi C., Rotariu A., Pană I.-F. Experimental and Numerical Study on Perforated Plate Mitigation Capacity to Near-Field Blasts. *Materials*. – 2023. № 16. C. 4255. DOI: 10.3390/ma16124255
4. Acar D., Canpolat B., Cora Ö. N. Ballistic performances of Ramor 500, Armox Advance and Hardox 450 steels under monolithic, double-layered, and perforated conditions. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. – 2024. № 51. C. 101653. DOI: 10.1016/j.jestch.2024.101653
5. Bekci M., Canpolat B., Usta E., Güler M., Cora Ö. N. Ballistic performances of Ramor 500 and Ramor 550 armor steels at mono and bilayered plate configurations. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. – 2021. № 24. DOI: 10.1016/j.jestch.2021.01.001
6. Jinnapat A., Doungkom C., Somton K., Dateraksa K. Ballistic performance of composite armor impacted by 7.62 mm armor projectile. *Journal of Metals, Materials and Minerals*. – 2023. № 33. C.120-127. DOI: 10.55713/jmmm.v33i2.1698
7. Ryan S., Li H., Edgerton M., Gallardy D., Cimpoeu S. J. The ballistic performance of an ultra-high hardness armour steel: An experimental investigation. *International Journal of Impact Engineering*. – 2016. № 94. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2016.03.011
8. Muskeri S., Jannotti C., Schuster B., Lloyd J., Mukherjee S. Ballistic Impact Response of Complex Concentrated Alloys. *International Journal of Impact Engineering*. – 2021. № 161. C. 104091. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2021.104091
9. Khalaf W., Hamzah M. Experimental and numerical studies of ballistic resistance of hybrid sandwich composite body armor. *Open Engineering*. – 2024. № 14. DOI: 10.1515/eng-2022-0543
10. Gupta C., Iqbal M. A., Mohammad Z., Baqi A., Gupta N. K. Energy absorption in thin metallic targets subjected to oblique projectile impact: A numerical study. *Thin-Walled Structures*. – 2017. № 126. DOI: 10.1016/j.tws.2017.08.005

11. Ryan S., Berk J., Weiss A., Yatom N., Vardy M., Rana S., Greenhill S., Venkatesh S. (2022). Adaptive Experimental Optimisation for Sample-Efficient Armour Design. – 2022. DOI: 10.12783/ballistics22/36177
12. Bekci, M. L., Canpolat B. H., Usta E., Güler M. S., Cora Ö. N. Ballistic performances of Ramor 500 and Ramor 550 armor steels at mono and bilayered plate configurations. Engineering Science and Technology, an International Journal. – 2021. № 24(4). C. 990-995. DOI: 10.1016/j.jestch.2021.01.001
13. Wei H., Zhang X., Liu C., Liu J., Li C. A three-dimensional penetration trajectory model for ogive-nosed projectile into metal targets. International Journal of Impact Engineering. – 2021. № 157. C. 103998. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2021.103998
14. Fras T. On the effect of pitch and yaw angles in oblique impacts of small-caliber projectiles. Defence Technology. – 2024. № 31. C. 73-94. DOI: 10.1016/j.dt.2023.06.004
15. Li L., Zhang Q. C., Lu, T. J. Ballistic penetration of deforming metallic plates: Experimental and numerical investigation. International Journal of Impact Engineering. – 2022. № 170 C. 104359. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2022.104359
16. Fayrushin A. M., Chernyatyeva R. R., Yakovleva D. N. The effects of vibration treatment in the process of welding on the structure of metal of seam weld. In IOP Conference Series. Earth and Environmental Science. – 2020. № 6. C. 459. DOI: 10.1088/1755-1315/459/6/062110
17. Naidu M. C., Padal K. T., Eshete G. Influence of Heat-Treated and Vibratory-Assisted Weld Joints on the Mechanical Properties of 304L SS Material. Journal of Nanomaterials. 2022. № 4. C. 1-9. DOI: 10.1155/2022/1000859

INFLUENCE FACTORS ON THE FORMATION OF MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURE OF STEEL FOR MANUFACTURE OF RAILWAY AXES

Sviridov Semen, Balakin Valeriy, Balakhanova Tetiana, Havryliak Vladyslav

Abstract. *The article investigated the features of the destruction and deformation of metal plates made of 30CrNi2Mo steel after ballistic tests. The peculiarity of the experiment was that during the test, the plates were additionally subjected to vibration at frequencies of 10 and 20 Hz. The perspective of the impact of vibration on the ballistic stability of plates has been revealed. After the experiment, through-holes of fragmentation and petal types with subsequent cracking were found in the static plates. Cracking propagates deep into the undeformed plate. The application of vibration showed a significant improvement in ballistic properties. When applying the combined test, a change in the resistance of the target was detected. Namely, the plastic component of the metal around the hole was increased and bullet fragments were found that remained on the surface of the plate after the test. It is shown that the further application of vibration is a promising direction for increasing the ballistic resistance of materials.*

Keywords: *ballistic resistance, fragmentation, vibration processing, destruction mechanism, microstructure*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРОКАТКИ НА СТАНІ 800

Зінченко М.Д., Потап О.Ю., Бурчак А.А.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. Метою роботи є експериментальне дослідження процесу прокатки на стані 800 квадратних профілів для визначення впливу параметрів прокатки на розміри і довжину розкату. При дослідженні визначили коливання маси злитка, розмірів розкату, довжини розкату, отримали рівняння регресії і коефіцієнти кореляції залежностей розмірів та довжини розкату від маси злитка, змінення міжвалкового зазору і затримки часу перед чистою кліткою. Встановлено, що коливання маси злитку відбувається в значних межах – 638 кг, що спричинено коливаннями маси плавки. Коливання маси злитка в межах одного піддона спричинено розмірами виливниць і знаходиться в межах 154 кг. Коливання розмірів розкату здійснюється в межах: товщина – 1,0 мм, ширина – 0,5 мм, довжина – 5,3 м. Зміна міжвалкового зазору може бути використана для корекції довжини готового розкату в невеликому діапазоні довжин, якщо коливання маси відбуваються в межах точності розливу на одному піддоні. Необхідно додатково вживати заходів щодо стабілізації маси злитка. Вплив затримок у лінії стану, які виникають при прокатці і призводять до нестабільності температурного режиму прокатки, для даного типу профілів не позначається суттєво на розмірах поперечного перерізу і довжині розкату.

Ключові слова: маса злитку, товщина та ширина розкату, довжина розкату, струм двигуна, міжвалковий зазор.

Вступ. В реальних умовах прокатки розміри прокату та заготовки не залишаються постійними. Спостерігається одночасний вплив кількох факторів на довжину розкату, зокрема, коливань маси злитка та маси заготовки через неточний розкрій розкату, змінення температури розкату та поперечних розмірів готового прокату через знос валків. Це, як правило, не дозволяє отримати однозначні залежності між розмірами прокату і параметрами прокатки [1].

Метою роботи є експериментальне дослідження впливу технологічних параметрів та параметрів обладнання стана 800 на довжину прокату з ранжуванням їх за ступенем впливу.

Основний матеріал. У промисловому експерименті отримали дані про поперечні розміри прокатних профілів та довжину розкатів під час прокатки квадратного профілю 125 мм на правій та квадратного профілю 150 мм на лівій нитці стана 800.

Під час проведення досліджень на правому боці стана було прокатане дві плавки. При прокатці першої плавки були виконані затримки при передачі розкатів з передчистої кліті в чистову кліть і зміна міжвалкового зазору чистової кліті, другу плавку прокатали в режимі пасивного експерименту.

При проведенні експериментальних досліджень реєстрували струм та частоту обертання двигуна головного приводу, здійснювали відбір проб, що вирізалися на пилках гарячого різання з середини розкату, після чого обмірювалися вручну за допомогою штангенциркуля. Довжину розкату контролювали за положенням заднього кінця розкату відносно нанесеної на огородження відповідного рольганга розмітки. Положення заднього кінця фіксували за допомогою цифрового фотоапарата з подальшою роздруківкою фотографій та визначенням довжини розкату. На рис.1 наведено фотографію положення заднього кінця розкату.



Рисунок 1 – Визначення положення заднього кінця розкату.

Струм та частоту обертання двигуна головного приводу вимірювали тахогенератором та датчиком струму, що були підключені до розташованого в машинній залі стана 800 комп'ютера за допомогою модуля введення/виведення аналогових сигналів PCL-818L. Експериментальні осцилограми струму та частоти обертання двигуна наведені на рис. 2.

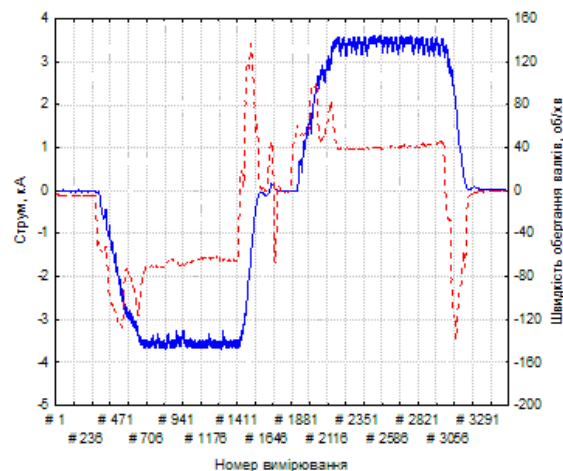


Рисунок 2 – Осцилограми струму I та частоти N двигуна чистової прокатної кліти у передчистовому та чистовому проходах

Визначені за результатами пасивного експерименту значення статистичних параметрів розміру прокату наведені у таблиці 1. Отримані дані свідчать, що маса злитків у плавці коливається у широких межах, що обумовлено процесом розливання сталі у виливниці в конвертерному цеху, адже перший піддон наливається на задану масу, а другий заповнюється залишком сталі у ковші. Наприклад, у двох плавках маса перших піддонів становить 7175 кг, а других – 6682 кг. Коливання маси злитка на плавці становить 830 кг, у піддоні – 154 кг.

Таблиця 1

Результати статистичної обробки експериментальних даних для прокатки квадрата 125 у чистовій кліті стана 800 (друга плавка)

Параметри	Кількість вимірювань	Середнє значення	Мінімальне значення	Максимальне значення	Діапазон змінення	Дисперсія	Середнє квадр. відхилення
Товщина, мм	8	126,58	126,00	127,00	1,000	0,162	0,403
Ширина, мм	8	126,72	126,50	127,00	0,500	0,033	0,183
Площа поперечного перерізу, мм ²	8	16040	15976	16090	114	2112	45,95
Довжина розкату, м	8	56,57	54,11	59,43	5,325	5,110	2,260
Маса розкату, кг		7078	6791	7430	638	71966	268
Струм двигуна у передчистовому проході, кА	8	1,39	1,35	1,44	0,090	0,00109	0,033
Струм двигуна у чистовому проході, кА	8	0,94	0,89	0,98	0,090	0,00073	0,027

Значні коливання маси злитка очікувано визначають їхній превалюючий вплив на довжину розкату. Вплив маси злитка на довжину прокату описується рівнянням регресії (1) та коефіцієнтом кореляції 0,99 (табл. 2), з якого випливає тісний зв'язок між довжиною розкату та масою злитка.

Розміри поперечного перерізу прокату визначаються умовами деформації в клітках та встановленими міжвалковими зазорами по клітках. Зміну міжвалкового зазору в чистовій кліті здійснювали для визначення впливу його зміни на довжину розкатів в межах допуску на поперечні розміри. У таблиці 2 наведені рівняння регресії та коефіцієнти кореляції розмірів прокату та зміни міжвалкового зазору, які свідчать, що збільшення міжвалкового зазору призводить до збільшення товщини прокату та зменшення його довжини. Ширина розкату при цьому істотно не змінюється і не впливає на довжину розкату.

Теоретичні значення впливу товщини прокату на довжину практично збігаються з експериментальними. Здійснений за даними таблиці 1 розрахунок зміни довжини розкату при зміні товщини прокату на 1 мм та незмінній ширині прокату показав, що зміна довжини розкату становить 450 мм, а зміна довжини розкату за експериментальними даними становила - 331-351 мм.

При проведенні експериментальних досліджень часової затримки розкату здійснювали перед прокаткою в чистовій кліті. Реальна величина затримок визначалася за осцилограмами струму. Рівняння регресії та коефіцієнти кореляції між та розмірами прокату, величиною затримки та іншими параметрами прокатки наведені у таблиці 2. З них випливає, що затримка не суттєво впливає на розміри прокату. Це пояснюється підвищенням тепловмістом квадратних заготовок з перетином від 100x100 мм та вище, середньомасова температура яких залишається достатньо високою навіть при суттєвому зниженні температури їх поверхні [2].

Результати експерименту в заготівельній кліті, що отримані впродовж прокатки квадратного профілю 150 з заготовок двох плавок, наведені у таблиці 3.

Таблиця 2

Рівняння регресії для квадрата 125 для прокатки в чистовий кліті стана 800

Рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції
Вплив маси розкату М на довжину розкату L	
$L=2990,14 + 8,42M$	0,99
Вплив змінення міжвалкового зазору dS на розміри прокату та струм прокатки в передчистовому I_{np} та чистовому $I_{ч}$ проходах	
$H=126,63 + 1,32dS$	0,89
$B=126,67 + 0,13dS$	0,16
$L=57480 - 505dS$	-0,66
$I_{np}=1,77 - 0,124dS$	-0,98
$I_{ч}=1,124 - 0,0128dS$	-0,16
Вплив затримки часу Т (с) перед подачею до чистової кліті на розміри прокату та струм прокатки в передчистовому I_{np} та чистовому $I_{ч}$ проходах	
$H=123,03 + 0,0065T$	0,59
$B=127,56 + 0,0085T$	0,79
$I_{np}=1,64 + 0,0021T$	0,89
$I_{ч}=1,006 - 0,0008T$	0,85

Таблиця 3

Результати статистичної обробки експериментальних даних для прокатки квадрата 150 у заготівельній кліті

Параметри	Кількість вимірювань	Середнє значення	Мінімальне значення	Максимальне значення	Діапазон змінення	Дисперсія	Середнє квадр. відхилення
Товщина, мм	16	149,19	148,50	149,6	1,100	0,078	0,279
Ширина, мм	16	149,89	149,00	150,5	1,500	0,14	0,373
Площа поперечного перерізу, мм ²	16	22362	22260	22454	194,75	3193	56,51
Довжина розкату, м	23	40,23	38,40	41,50	3,10	5,43	0,73
Струм двигуна в першому проході, кА	23	4,66	2,59	5,67	3,08	0,679	0,7
Струм двигуна в другому проході, кА	23	3,52	2,05	4,21	2,16	0,167	0,2
Струм двигуна в третьому проході, кА	23	1,55	0,83	3,97	3,14	0,620	0,6
Маса розкату, кг	16	6831	6505	7012	507	21267	145,83

Висновки. Проведені на стані 800 експериментальні дослідження дозволили отримати реальні значення діапазону коливань розмірів поперечного перерізу квадрата на правій стороні та в заготівельній кліті. Коливання довжини розкату значною мірою обумовлені коливаннями маси злитка.

Зміна міжвалкового зазору може бути використана для корекції довжини готового розкату в обмеженому діапазоні. Проте ця корекція не зможе повністю вирішити проблему стабілізації довжини розкату з метою підвищення виходу мірної продукції. Необхідно вживати додаткові заходи для стабілізації маси злитка в межах точності розливу на одному піддоні.

Часові затримки в лінії стана, що виникають під час прокатки квадратних профілів 125 та 150 і призводять до нестабільності температурного режиму прокатки та зміни енергосилових параметрів прокатки, не мають суттєвого впливу на розміри поперечного перерізу і довжину розкатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зінченко М.Д. Експериментальне дослідження процесу прокатки на блюмінгу та стані 800 метзаводу ім.Петровського. Металургійна та гірничорудна промисловість. 2000. №4. С. 40-45.
2. Експериментальне дослідження впливу температурного режиму на розміри фасонних профілів прокату / А.Н. Чернишов, Н.І. Біда, Г.С. Щербина та ін. Металургійна та гірничорудна промисловість. 1977. №4. С.16-19.

EXPERIMENTAL STUDY OF ROLLING ACCURACY ON STAND 800

Mykhailo Zinchenko, Oleh Potap, Andrii Burchak

Abstract. *The purpose of the work is an experimental study of the process of square sections rolling on the rolling mill 800 to determine the influence of rolling parameters on the dimensions and length of the roll. During the study, variations in ingot mass, rolling dimensions, and rolling length were determined, regression equations and correlation coefficients were obtained for the dependence of rolling dimensions and length on the ingot mass, changes in interroll gap and time delay before the finishing stand. It was established that the ingot mass variates within significant limits - 638 kg, which is caused by the melt mass variations. Variations in the mass of the ingot within one ingot mold stool are caused by the dimensions of the ingot molds and are within 154 kg. Variations in the dimensions of the roll are carried out within the following limits: thickness - 1.0 mm, width - 0.5 mm, length - 5.3 m. The change of the interroll gap can*

be used to correct the length of the finished roll in a small range of lengths, if the mass variations occur within accuracy of ingot casting on one ingot mold stool. It is necessary to take additional measures to stabilize the weight of the ingot. The influence of delays in the rolling train, which occur during rolling and lead to instability of the rolling temperature regime, for this type of profiles does not significantly affect the dimensions of the cross section and the length of the roll.

Keywords: *ingot weight, roll thickness and width, roll length, motor current, interroll gap.*

REFERENCE

1. Zinchenko M.D. An experimental study of the blooming and 800 stand rolling process metal plant named after Petrovsky. Metallurgical and mining industry. 2000. No. 4. P. 40-45.
2. An experimental study of the effect of the temperature regime on the dimensions of the shaped rental profiles. A.N. Chernyshev, N.I. Bida, G.S. Shcherbina and others. - Metallurgical and mining industry. 1977. No. 4. P.16-19.

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗМІНИ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Луценко В. А., Голубенко Т. М., Луценко О. В., Сівак Г. І.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України

Анотація. Сортовий прокат круглого перерізу з низьковуглецевих сталей марок SAE 1008 вимагає постійного підвищення надійної системи забезпечення якості. Найбільш важливим параметром мікроструктури є розмір зерна, який є одним із найефективніших способів управління структурою, що приводить до зміни механічних властивостей. Металографічні дослідження дозволили встановити вплив параметрів деформаційно-термічної обробки на структуру дослідженої сталі, яка являє собою ферит з невеликими ділянками пластинчастого перліту. За допомогою проведених розрахунково-аналітичних досліджень встановлено, що після високошвидкісної гарячої деформації саме температура кінця охолодження впливає на середній умовний діаметр зерна. Для прокату зі сталей марок типу SAE 1008 раціональним після гарячої деформації є охолодження до температур $\sim A_1 + 150^\circ\text{C}$ з наступним уповільненим охолодженням, при якому формується більш рівномірне зерно, що забезпечить мінімальний розкид механічних властивостей.

Ключові слова: низьковуглецева сталь, сортовий прокат, температура, охолодження, структура, розмір зерна, механічні властивості.

Вступ. Виробництво круглого сортового прокату із низьковуглецевих сталей марок типу SAE 1008 вимагає постійного підвищення конкурентоспроможності, що диктує необхідність організації на металургійних підприємствах України надійної системи забезпечення якості [1].

Перспективними є процеси деформаційно-термічної обробки (ДТО), що включають після гарячої прокатки охолодження за особливими температурно-швидкісними параметрами, які забезпечують формування однорідної структури та властивостей [2, 3].

Залежно від умов проведення гарячої деформації в сталевому прокаті можуть спостерігатися різні структурні стани, які зафіксовані охолодженням та визначають властивості металу [2, 4, 5]. Якщо метал піддавати витримкам при температурі кінця деформації, то в ньому відбуватимуться процеси збиральної рекристалізації, яка проявляється у формуванні зародків, здатних до

подальшого зростання [3-5]. Після гарячої деформації подрібнення аустенітного зерна приводить до зменшення розмірів перлітних ділянок у сталях із невисоким вмістом вуглецю. Утворення внаслідок збиральної рекристалізації великого аустенітного зерна призводить до зменшення кількості структурно-вільного фериту [3, 4]. Тому актуальним є моделювання впливу на структуру та властивості температурних режимів при використанні ДТО сортового прокату із низьковуглецевої сталі марки SAE 1008.

Результати дослідження. Досліджували сортовий прокат із низьковуглецевої сталі марки SAE 1008 [6] круглого перерізу діаметром 9,0...18,0 мм. Круглий сортовий прокат, який після швидкісного чистового блоку має температуру гарячої прокатки (вище за A_3), охолоджували водою перед розкладкою на витки до різних температур ($T_{в/о}$ - температура виткоутворення) вище за A_1 , у подальшому охолоджували із середньою швидкістю $\sim 3,0$ °C/с.

Найбільш важливим параметром мікроструктури є розмір зерна. Основу структури прокату сталі SAE 1008 після ДТО становить ферит та перліт. Розмір зерна є одним із найефективніших способів управління структурою, що впливає на зміну механічних властивостей.

Дані про механічні властивості та структурні характеристики прокату зі сталі SAE 1008, підданого різним режимам ДТО, наведені в таблиці 1 (приведені дані механічних властивостей – середнє значення та середньоквадратичне відхилення).

Таблиця 1

Механічні властивості та структурні характеристики
сортового прокату сталі марки SAE 1008 після ДТО

Процес ДТО з температурою $T_{в/о}$	$A_1 + 150^\circ\text{C}$	$A_1 + 250^\circ\text{C}$
Тимчасовий опір, МПа	$430,6 \pm 4,18$	$422,1 \pm 10,61$
Відносне подовження, %	$36,3 \pm 2,11$	$37,6 \pm 3,6$
Відносне звуження, %	$75,2 \pm 1,7$	$75,8 \pm 2,11$
Розмір зерна, номер	8 – 7	7 – 8
Співвідношення ферит/перліт, %	91,6 / 8,4	93,3 / 6,7

При температурах $T_{в/о} = A_1 + 150...250^\circ\text{C}$ охолодження забезпечує формування структури фериту з невеликими ділянками пластинчастого перліту. Структура, що піддана ДТО з різними температурними режимами обробки, наведена на рис. 1.

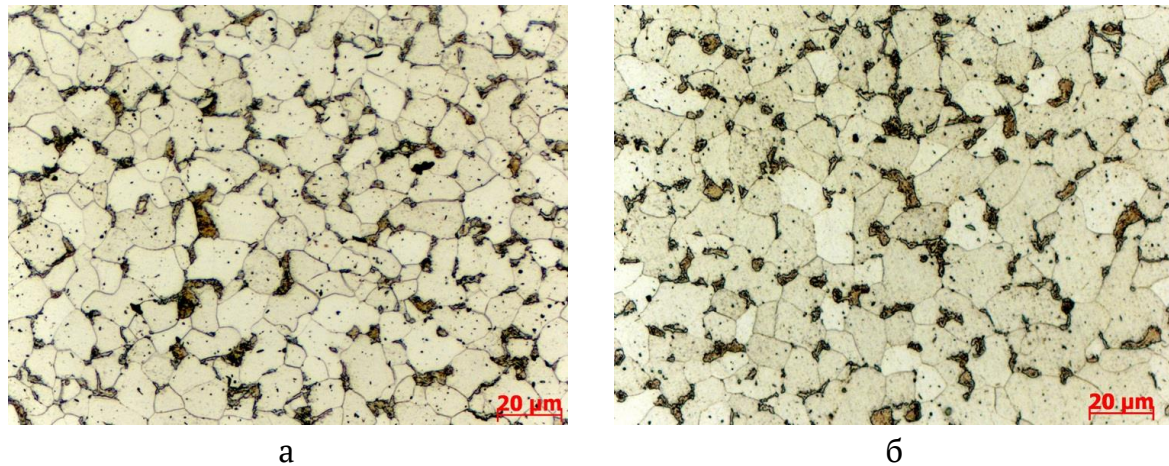


Рисунок 1 – Характерна структура низьковуглецевої сталі SAE 1008, підданої ДТО з різною температурою а – $A_1 + 150^\circ\text{C}$; б – $A_1 + 250^\circ\text{C}$

Вивчали вплив обробки (ДТО) на розмір зерна низьковуглецевої сталі SAE 1008. Проведений статистичний аналіз частот попадань для середнього умовного діаметра зерна [7] показав відмінність вибірок: сортовий прокат при $T_{\text{в/о}} = A_1 + 150^\circ\text{C}$ характеризується більшою схожістю показників, тоді як для $T_{\text{в/о}} = A_1 + 250^\circ\text{C}$ властива велика неоднорідність.

Як видно із рис. 2, для режиму $T_{\text{в/о}} = A_1 + 150^\circ\text{C}$ вибіровий розподіл майже нормальний, а для $T_{\text{в/о}} = A_1 + 250^\circ\text{C}$ має помітну асиметричність. Отже температурний режим $T_{\text{в/о}} = A_1 + 150^\circ\text{C}$ більш сприятливий для отримання стабільних механічних властивостей.

Для дослідження впливу ДТО на середній умовний діаметр зерна (d_L) низьковуглецевої сталі SAE 1008 використовували вуглецевий еквівалент (C_e):

$$d_{L \text{ } A_1 + 150} = 0,0051 + 0,071 C_e \quad R^2 = 0,824 \quad (1)$$

$$d_{L \text{ } A_1 + 250} = 0,015 + 0,03 C_e \quad R^2 = 0,453 \quad (2)$$

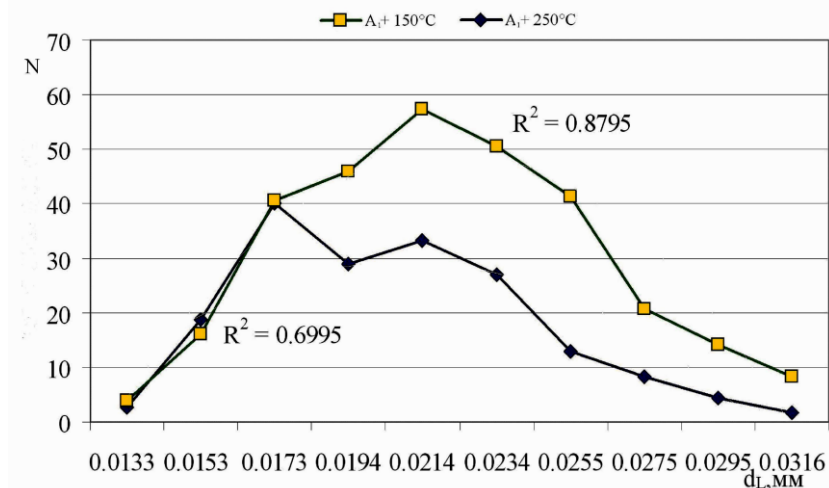


Рисунок 2 – Середні показники частоти влучань (N) для середнього умовного діаметра зерна (dL) у прокаті після ДТО

Рівняння (1) та (2) описують вплив вуглецевого еквівалента на середній умовний діаметр зерна після ДТО. Встановлено, що зі збільшенням вуглецевого еквівалента збільшується розмір зерна, а при охолодженні до температури $T_{в/о} = A_1 + 150^\circ\text{C}$ коефіцієнт кореляції становить $R^2 = 0,824$, тоді як при $T_{в/о} = A_1 + 250^\circ\text{C}$ – $R^2 = 0,453$. Більший розбіг середнього умовного діаметра зерна, що формується при $T_{в/о} = A_1 + 250^\circ\text{C}$, можна пояснити проходженням процесів метадинамічної та часткової збірної рекристалізації [3]. При $T_{в/о} = A_1 + 150^\circ\text{C}$ формується більш рівномірне зерно, що для сталі SAE 1008 забезпечить мінімальний розкид механічних властивостей (див. табл. 1).

Висновки. З проведених досліджень встановлено, що на середній умовний діаметр зерна впливає режим ДТО, а саме середня температура кінця водяного охолодження після гарячої деформації.

При виробництві низьковуглецевого сортового прокату марок типу SAE 1008 слід використовувати схему ДТО з регульованим двостадійним охолодженням при середній температурі на виткоутворювачі $A_1 + 150^\circ\text{C}$, при якій формується більш рівномірне зерно, що забезпечить мінімальний розкид механічних властивостей. Підвищення температури на виткоутворювачі призводить до утворення різнозернистості в мікроструктурі, що є небажаним.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тубольцев Л. Г., Чайка О. Л., Бабаченко О. І. Перспективи розвитку металургійного виробництва в Україні за рахунок використання нових технологій. Фундаментальні та

- прикладні проблеми чорної металургії. 2023. Вип. 37. С. 4-25.
<https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-4-25>.
2. Parusov E.V., Levchenko G.V., Lutsenko V.A., Bobyr S.V., Parusov O.V., Chuiko I.M., Golubenko T.M. Scientific and technological fundamentals of the production of highly efficient types of construction steel and wire rod. Metal and Casting of Ukraine. 2019. No. 7-9 (314-316). P.30-38.
<https://doi.org/10.15407/steelcast2019.07.060>.
3. Lutsenko V.A., Parusov E.V., Parusov O.V., Lutsenko O.V., Chuiko I.M., Golubenko T.M. Peculiarities of Formation of High-Carbon Steel Structure During Rolling. Materials Science. 2023. Vol. 58. No. 5. P. 621–628.
<https://doi.org/10.1007/s11003-023-00708-z>.
4. Maropoulos S., Karagiannis S., Ridley N. The effect of austenitising temperature on prior austenite grain size in a low-alloy steel. Materials Science and Engineering. 2008. Vol. 483-484. No. 1-2. P. 735-739. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.11.172>.
5. Celada-Casero C., Sietsma J., Santofimia M. J. The role of the austenite grain size in the martensitic transformation in low carbon steels. Materials & Design. 2019. Vol. 167. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107625>.
6. ASTM A510/A510M-18 Standard Specification for General Requirements for Wire Rods and Coarse Round Wire, Carbon Steel, and Alloy Steel.
7. ДСТУ 8972:2019. Сталі та сплави. Методи виявлення та визначення величини зерна. ДП «УкрНДНЦ», 2021.

MODELING OF THE INFLUENCE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CHANGES IN PROCESSING MODES OF LOW-CARBON STEEL

Vladyslav Lutsenko, Tetiana Golubenko, Olga Lutsenko, Ganna Sivak

Abstract. Round bar sections made from the low-carbon SAE 1008 steel grades require a continuously increase of the improvements of the reliable quality assurance of the system. The grain size, leading to changes in mechanical properties, is the most important microstructure parameter. Influence of the parameters of the deformation and heat treatment on the structure of the investigated steel, which is ferrite with small areas of lamellar pearlite, was determined due to metallographic examinations. Established, based on the conducted computational and analytical investigations, that after high-speed hot deformation, exactly the temperature of the end of the cooling affected the average conditional diameter of the grain. Cooling to temperatures $\sim A_1 + 150^\circ\text{C}$ after hot deformation, followed by slow cooling, during which forms a more uniform grain, which ensures minimal dispersion of the mechanical properties, is rational for rolled steels of the SAE 1008 grades.

Keywords: low-carbon steel, bar sections, temperature, cooling, structure, grain size, mechanical properties.

REFERENCES

1. Tuboltsev, L.G., Chaika, O.L., & Babachenko, O.I. Prospects of technological development of metallurgical production in Ukraine due to the use of new technologies. Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. 2023. Vol. 37. P. 4-25. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-4-25>.
2. Parusov E.V., Levchenko G.V., Lutsenko V.A., Bobyr S.V., Parusov O.V., Chuiko I.M., Golubenko T.M. Scientific and technological fundamentals of the production of highly efficient types of construction steel and wire rod. Metal and Casting of Ukraine. 2019. No. 7-9 (314-316). P.30-38. <https://doi.org/10.15407/steelcast2019.07.060>.
3. Lutsenko V.A., Parusov E.V., Parusov O.V., Lutsenko O.V., Chuiko I.M., Golubenko T.M. Peculiarities of Formation of High-Carbon Steel Structure During Rolling. Materials Science. 2023. Vol. 58. No. 5. P. 621–628. <https://doi.org/10.1007/s11003-023-00708-z..>
4. Maropoulos S., Karagiannis S., Ridley N. The effect of austenitising temperature on prior austenite grain size in a low-alloy steel. Materials Science and Engineering. 2008. Vol. 483-484. No. 1-2. P. 735-739. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.11.172>.
5. Celada-Casero C., Sietsma J., Santofimia M. J. The role of the austenite grain size in the martensitic transformation in low carbon steels. Materials & Design. 2019. Vol. 167. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107625>.
6. ASTM A510/A510M-18 Standard Specification for General Requirements for Wire Rods and Coarse Round Wire, Carbon Steel, and Alloy Steel.
7. DSTU 8972:2019. Steel and alloys. Methods for detection and determination of grain size. DP «UkrNDNTS», 2021.

МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ВІДПОВІДАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Поворотня І.Р., Подольський Р.В., Сафронова О.А., Олійник Е.В.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Україна, Дніпро

Анотація. Особливого значення у металургійній промисловості набуває питання оптимізації хімічного складу сталі з метою забезпечення затребуваного рівня властивостей. Проте значна кількість сучасних комплексних підходів ґрунтується на застосуванні інформаційних технологій.

Метою роботи є дослідження впливу хімічного складу вуглецевих сталей на формування їх мікроструктури та твердості. У рамках дослідження було виплавлено дослідні злитки вуглецевих сталей різного складу, які потім піддавалися гарячій пластичній деформації (ГПД) з наступною термічною обробкою (ГПД+ТО). Матеріалом дослідження були лабораторні сталі, що є співставними за хімічним складом зі сталями для залізничних осей відповідно до державного стандарту, європейського та американського стандарту.

Під час досліджень виявлено, що хімічний склад впливає на кількість структурних компонентів та твердість досліджених сталей у різних станах, таких як литий, після ГПД та ГПД+ТО. Виявлено, що за певного хімічного складу, при якому величина інтегрального параметру зарядового стану (Z^y) менше 0,20 е, твердість сталі у стані після ГПД перевищує твердість сталі у стані після ГПД+ТО.

Ключові слова: залізничні осі, хімічний склад, параметри міжатомної взаємодії, твердість, термічна обробка, гаряча пластична деформація.

Існуючі методи оптимізації хімічного складу сталі, спрямовані на забезпечення необхідних механічних властивостей та структурного стану, як правило, базуються на статистичних моделях "склад-властивість", що не враховують фізико-хімічні аспекти поведінки багатокомпонентного розплаву на заключних стадіях технології виробництва готової продукції, таких як фазові перетворення. У даній роботі був проведений комплексний пошук оптимального хімічного складу в межах відомих марок сталей. Цей підхід ґрунтується на концепції спрямованого хімічного зв'язку [1], яка розглядає металевий розплав як хімічно єдине ціле, та використанні факторного аналізу для генерації моделей оптимальної структури.

Проведено аналіз впливу хімічних елементів на твердість з використанням параметрів міжатомної взаємодії: Z^Y – параметр зарядового стану системи, e ; d – середньозважена між'ядерна відстань, 10^{-1}nm ; tga – константа для кожного елементу, що характеризує зміну радіуса іона при зміні його заряду; ρl – спрямована зарядова щільність, e/nm (рис. 1). Об'єктом дослідження були лабораторні сталі, які мають хімічний склад, подібний до сталей, що використовуються для виробництва залізничних осей марок EA1N (EN13261:2009), OC (ДСТУ 4728:2014) та F (AAR M-101-2017).

Встановлено, що при виконанні умови $1,20 \leq Z^Y \leq 1,2$ відбувається зміна пріоритету функцій твердості від хімічного складу після ГПД та ГПД+ТО: до цього інтервалу значень вище розташовується лінія тренду для стану після термічної обробки, а нижче – після гарячої пластичної деформації; після цього інтервалу значень Z^Y – навпаки (рис. 2).

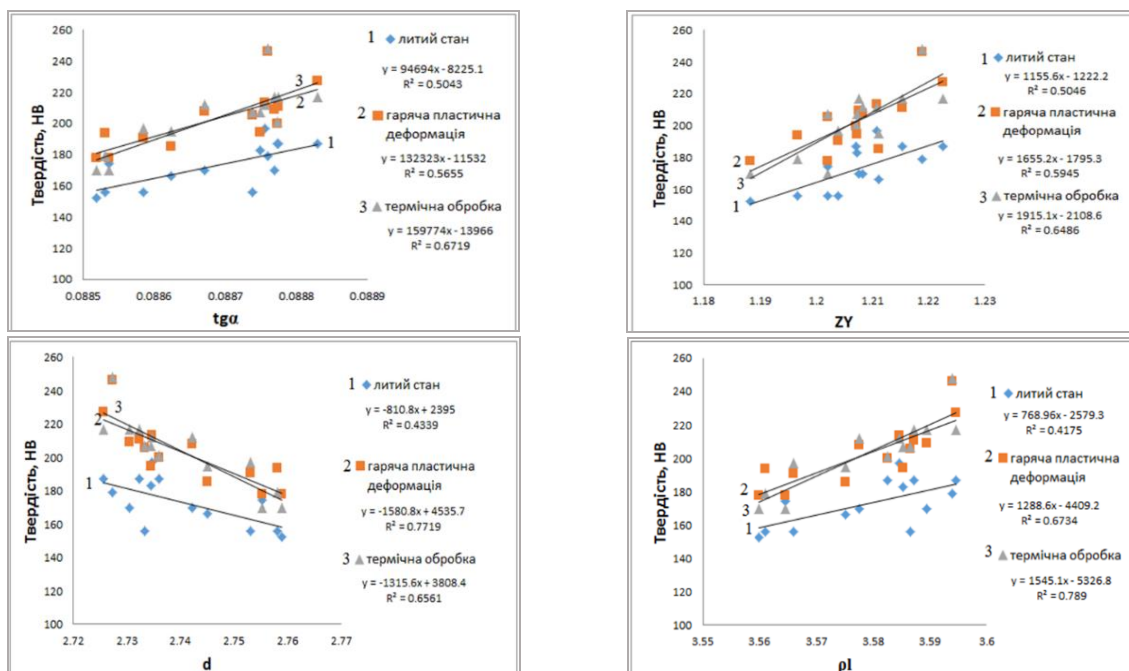


Рисунок 1 – Залежність твердості зразків дослідної сталі лабораторного виготовлення від параметрів міжатомної взаємодії

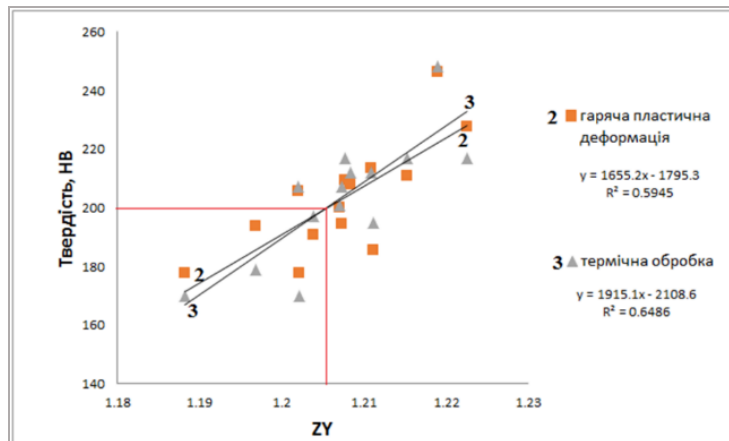


Рисунок 2 – Вплив зміни значення параметру Z^Y на рівень твердості зразків дослідної сталі лабораторного виготовлення

Таким чином в результаті досліджень впливу хімічного складу на кількість структурних складових та твердість дослідних сталей у литому стані, після ГПД, та ГПД+ТО встановлено, що за певного хімічного складу при якому Z^Y менше 0,20 е твердість сталі у стані після ГПД вище, ніж після наступної термічної обробки.

Висновок

У результаті проведеного аналізу впливу хімічного складу сталей, що закодовано у інтегральних параметрах міжатомної взаємодії на твердість виявлено найбільш вагомі для опису кожного з трьох станів, що досліджувались (литий стан, ГПД, ГПД+ТО). Виявлено зміну направленості ліній трендів ГПД та ГПД+ТО, завдяки параметру зарядового стану системи Z^Y , яка відбувається при виконанні умови $1,20 \leq Z^Y \leq 1,2$, що відображає роль специфіки технологічних аспектів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Togobitska D., Belkova A. (2024) New approach to evaluating the thermodynamic consistency of melts in the «Metal-Slag» system based on interatomic interaction parameters. Lithuanian Journal of Physics. 64, (1), 58-71. <https://doi.org/10.3952/physics.2024.64.1.6>

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE DETERMINATION OF THE EFFECTIVE COMPONENT COMPOSITION OF CARBON STEELS FOR THE RESPONSIBLE APPOINTMENT

Povorotnia I., Podolskyi R., Safronova O., Oleinyk E.

Abstract. *Of particular importance in the metallurgical industry is the issue of optimizing the chemical composition of steel in order to ensure the required level of properties. However, a significant number of modern complex approaches are based on the application of information technologies.*

The purpose of the work is to study the influence of the chemical composition of carbon steels on the formation of their microstructure and hardness. As part of the research, experimental ingots of carbon steels of various compositions were melted, which were then subjected to hot plastic deformation (HPD) followed by heat treatment (HPD+HT). The research material was laboratory steels, which are comparable in chemical composition to steels for railway axles according to the state standard, European and American standard.

During the research, it was found that the chemical composition affects the number of structural components and the hardness of the studied steels in different states, such as cast, after HPD and HPD +TO. It was found that for a certain chemical composition, in which the value of the integral parameter of the state of charge (Z^Y) is less than 0.20 e, the hardness of steel in the state after HPD exceeds the hardness of steel in the state after HPD +TO.

Keywords: *railway axles, chemical composition, parameters of interatomic interaction, hardness, heat treatment, hot plastic deformation.*

REFERENCES:

1. Togobitska D., Belkova A. New approach to evaluating the thermodynamic consistency of melts in the «Metal-Slag» system based on interatomic interaction parameters. Lithuanian Journal of Physics. 2024. Vol. 64. No.1. pp.58-71. <https://doi.org/10.3952/physics.2024.64.1.6>

**ASSESSMENT OF SLAG MELT STRUCTURE USING ADAPTIVE SEGMENTED
REGRESSION MODEL OF TEMPERATURE-DEPENDENT
VISCOSITY AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY**

Dmytro Stepanenko¹, Nataliya Togobytska²

¹*Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute of NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

²*University of Applied Sciences (HTW Berlin), Berlin, Germany*

Abstract. *The expediency of using an adaptive segmented regression model for the analysis of logarithmic dependences of viscosity and electrical conductivity on temperature to assess the structure of slag melts is shown. Calculated values of the activation energies of viscosity (E_η) and electrical conductivity (E_χ) in different temperature ranges. The obtained calculation results confirm that the viscosity and electrical conductivity of slag melts characterize the interaction of various structural particles (ions and/or their groups) and can be used in the study of the structure of slag melts. It was established that the activation energy of viscosity and electrical conductivity decreases as the temperature of slag melts increases. The performed calculations of the indicator $n = \frac{E_\eta}{E_\chi}$ indicate that it can be a criterion for evaluating the structure of the slag melt, when $n > 1$, the slag melt is a heterogeneous system, and when $n < 1$, it is a homogeneous system. Viscosity and electrical conductivity are interdependent properties and can be predicted if there is data on one of the properties, provided the value of n is known.*

Keywords: *slag, viscosity, electrical conductivity, temperature, structure, adaptive segmented regression model.*

When selecting the optimal composition for slags, viscosity and electrical conductivity stand out as the most informative properties [1–3]. Examination of the fundamental mathematical equations governing the temperature dependency of dynamic viscosity reveals the significant impact of slag structure [4, 5]. Thus, the development of a universal mathematical model for estimating viscosity and electrical conductivity should be based on the "composition-structure-properties" scheme.

There is an empirical dependence according to which electrical conductivity (χ) is related to viscosity (η) as follows [6–8]:

$$\chi^n \cdot \eta = \text{constant}, \quad (1)$$

According to Y. I. Frenkel's [6] ideas about the electrical conductivity of ionic melts, particles (ions) are involved in the transfer of electric current, which are able, due to the continuous redistribution of kinetic energy, to pass from one relatively stable state to another. The probability of such displacement under the influence of external field forces is proportional to $e^{-\frac{E_\chi}{RT}}$. It follows from equation (2) that electrical conductivity is a function not only of temperature, but also of the mobility of ions, which significantly depends on the energy of their interaction, which is determined by the chemical composition and is common to both electrical conductivity (E_χ) and viscosity (E_η).

$$\chi = B \cdot e^{-\frac{E_\chi}{RT}}, \quad (2)$$

$$\eta = A \cdot e^{-\frac{E_\eta}{RT}}, \quad (3)$$

The above suggests that electrical conductivity, like viscosity, is determined by the chemical composition of the slag and the structure of its melt. Consequently, it has the capability to reflect phase changes occurring within the melt. Therefore, when studying the viscosity and electrical conductivity of slags as their structurally sensitive properties, it is possible to perform a more detailed assessment of the structural state of melts.

Based on equations (1) - (3), we derive the following

$$\chi^n \cdot \eta = B^n A e^{-\frac{nE_\chi + E_\eta}{RT}}. \quad (4)$$

The product will not depend on temperature, especially if

$$-nE_\chi + E_\eta = 0. \quad (5)$$

From equation (5), it follows that

$$n = \frac{E_\eta}{E_\chi}. \quad (6)$$

For various oxide systems, taking into account the temperature of their melt, the indicator n can be $n > 1$ or $n < 1$, respectively $E_\eta > E_\chi$ and $E_\eta < E_\chi$ [6, 9, 10]. The possibility of inequality $n > 1$ and $n < 1$ is related to the heterogeneity of aluminosilicate melts. Thus, the inequality $n < 1$ is caused by the dissociation of silicon-oxygen anions and the possibility of rearrangement of heteropolar bonds into homeopolar bonds at high temperatures. On the contrary, when $n > 1$, the

inequality $E_\eta > E_\chi$ is satisfied, which is due to the heteropolarity of bonds between particles in the aluminosilicate melt and its crystallization when the temperature decreases. Therefore, the heterogeneity of slag melts leads to deterioration of diffusion processes in the "metal-slag" system.

Understanding and evaluating these activation energies are essential conditions in studying the fundamental structure of slag melts.

The technique suggested for determining activation energies, as outlined in references [2, 6], relies on utilizing the logarithmic form of equations (2) and (3):

$$\ln(\chi) = -\frac{E_\chi}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + \ln(B). \quad (7)$$

$$\ln(\eta) = \frac{E_\eta}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + \ln(A). \quad (8)$$

By denoting

$$y = \ln(\chi), \quad x = \frac{1}{T}, \quad a = \ln(B), \quad b = -\frac{E_\chi}{R},$$

eq. (1) can be written as

$$y = bx + a. \quad (9)$$

Analogously, equation (8) can be rewritten as (9). If the coefficients a , b are known (for example, from experimental data), the activation energies of viscosity (E_η) and electrical conductivity (E_χ) can be calculated using the formula

$$E_\eta, E_\chi = b \cdot R. \quad (10)$$

Hence, this method is based on the construction of piecewise linear relationships between $\ln(\eta, \chi)$ and its approximation by linear regression in the temperature ranges defined by an expert. However, this identification procedure is notably time-intensive and subject to a degree of subjectivity, impacting the reliability of the estimated activation energies [4]. To address these challenges, we propose a mathematical approach aimed at enhancing the efficiency of this process. In this paper, we use segmented linear regression to calculate activation energies for both temperature-dependent material properties and the temperature values (break points) at which the activation energy changes. Specifically, we use a piecewise linear regression model with unknown breakpoints and number of segments, fitted to experimental data of the electrical conductivity and the viscosity of slag.

Segmented linear regression is widely used in a variety of fields, such as medicine, ecology, and engineering, as published in e.g. [11, 12]. The basic idea behind segmented linear regression is to divide the data range into several segments and fit separate linear regression models to each segment. The adaptive aspect of segmented regression refers to the iterative process of identifying the positions of breakpoints. This process involves the global problem of finding estimates for the breakpoint positions and the local problem of fitting line segments given breakpoints.

Using segmented linear regression, the activation energy values of viscosity (E_η) and electrical conductivity (E_χ) were calculated in different temperature ranges ($T_1 \div T_2$) based on experimental data on the viscosity and electrical conductivity of metallurgical slags (the chemical composition of the slag is represented by the basicity indicator CaO/SiO₂) (Table 1). The technique for measuring the viscosity and electrical conductivity of slag melts and some results are described in detail in [1, 4].

Table 1.

Results of calculating the activation energies of viscosity (E_η) and electrical conductivity (E_χ) using segmented linear regression.

CaO/Si O ₂	Activation energy of viscosity			Activation energy of electrical conductivity			$n = \frac{E_\eta}{E_x}$
	Temperature range (K)		E_η , kJ/mol	Temperature range (K)		E_x , kJ/mol	
	T ₁	T ₂		T ₁	T ₂		
1,109	1872	1651	169,69	1775	1543	175,18	0,97
	1651	1383	245,60	1543	1391	253,16	0,97
	1383	1382	14358,03	1391	1298	414,45	34,64
1,13	1872	1545	178,75	1878	1564	151,65	1,18
	1545	1368	321,95	1564	1396	240,03	1,34
	1368	1367	5394,12	1396	1282	349,60	15,43
1,111	1874	1538	187,81	1873	1660	130,20	1,44
	1538	1368	324,83	1660	1405	230,21	1,41
	1368	1367	11506,74	1405	1286	333,06	34,55
1,235	1874	1610	166,28	1879	1589	149,90	1,11
	1610	1447	258,07	1589	1405	230,71	1,12
	1447	1444	5596,15	1405	1295	342,70	16,33
1,181	1873	1514	184,90	1878	1650	129,37	1,43
	1514	1339	331,98	1650	1412	202,78	1,64
	1339	1324	859,83	1412	1281	323,83	2,66

The obtained results confirm the feasibility of using an adaptive segmented regression model to analyze the logarithmic dependences of viscosity ($\ln(\eta)$) and electrical conductivity ($\ln(\chi)$) on temperature () in order to assess the structure of slag melts on the corresponding segments. The calculated values of activation energies of viscosity (E_η) and electrical conductivity (E_χ) in different temperature ranges ($T_1 \div T_2$) indicate that:

- viscosity and electrical conductivity of slag melts characterize the interaction of various structural particles (ions and/or their groups) and can be used in studying the structure of slag melts;

- with increasing temperature of slag melts, the activation energies of viscosity (E_η) and electrical conductivity (E_χ) decrease;

- the ratio $\frac{E_\eta}{E_\chi} = n$ can be a criterion for assessing the structure of the slag melt. It has been confirmed that when $n > 1$, the slag melt is a heterogeneous system, and when $n < 1$, it is a homogeneous system.

- viscosity and electrical conductivity are interdependent properties and can be predicted if there is data on one of the properties when the n indicator is known.

ОЦІНКА СТРУКТУРИ ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ НА ПІДСТАВІ АНАЛІЗУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ В'ЯЗКОСТІ ТА ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТИВНОЇ СЕГМЕНТНОЇ РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ

Степаненко Д.¹, Togobytska N.²,

¹Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Дніпро, Україна

²University of Applied Sciences (HTW Berlin), Berlin, Germany

Анотація. Показано доцільність використання адаптивної сегментованої регресійної моделі для аналізу логарифмічних залежностей в'язкості та електропровідності від температури для оцінки структури шлакових розплавів. Розраховані значення енергій активації в'язкості (E_η) та електропровідності (E_χ) в різних діапазонах температур. Отримані результати розрахунку підтверджують, що в'язкість і електропровідність шлакових розплавів характеризуються взаємодію різноманітних структурних частинок (іонів та/або їх груп) і можуть бути використані при дослідженні структури шлакових розплавів. Встановлено, що з підвищенням температури шлакових розплавів зменшуються енергії активації в'язкості і електропровідності. Виконані

$$n = \frac{E_{\eta}}{E_x}$$

розрахунки показника n свідчать про те, що він може бути критерієм оцінки структури шлакового розплаву, при $n > 1$ шлаковий розплав є гетерогенною системою, а при $n < 1$ – гомогенною. В'язкість і електропровідність є взаємозалежними властивостями і можуть бути прогнозовані, якщо є дані про одне з властивостей за умови коли відомо значення n .

Ключові слова: шлак, в'язкість, електропровідність, температура, структура, адаптивна сегментована регресійна модель.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. D.A. Stepanenko, O. Volkova, H.-P. Heller, P.I. Otorvin, and D.A. Chebykin, Selecting optimal slag conditions in the blast furnace, Steel Transl. 47, pp. 610–613 (2017).
2. G. Stovpchenko, D. Togobitskaya, L. Lisova, D. Stepanenko, and L. Medovar, Predictive models for molten slags viscosity and electrical conductivity based on directed chemical bonds concept, Ironmak. Steelmak. 49(6), pp. 572–580 (2022), <https://doi.org/10.1080/03019233.2022.2026043>.
3. Wanli Li, Xiaozhou Cao, Tao Jiang, He Yang, Xiangxin Xue, Relation between Electrical Conductivity and Viscosity of CaO–SiO₂–Al₂O₃–MgO System, ISIJ International, Vol. 56, No. 2, pp. 205–209, (2016), <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2015-502>.
4. D. Stepanenko. Calculation of activation energy of viscosity for evaluation of metallurgical slag melt structure, Lithuanian Journal of Physics, Vol. 63, No. 1, pp. 40–45 (2023), <https://doi.org/10.3952/physics.2023.63.1.6>.
5. Pavel Ferkl, Pavel Hрма & Albert Kruger, Parsimonious viscosity–composition relationships for high-temperature multicomponent glass melts, Journal of Asian Ceramics Societies, Vol. 10, No. 1, pp. 83–98 (2022), <https://doi.org/10.1080/21870764.2021.2012903>.
6. J.I. Frenkel, Kineticheskaya teoriya zhidkostej, Nauka, Leningrad, (1975).
7. Yesin O, Geld P. Physical chemistry of pyrometallurgical processes, Ch. 2. Moscow: Metallurgy; 1966.
8. Medovar B, Tsykulenko A, Shevtsov V. Metallurgy of electrosag process. Kiev: Naukova dumka; 1986.
9. Gabdullin T, et al. Physical and chemical properties of manganese slags. Publishing Science, Alma-Ata; 1984.
10. Institute of Ferrous Metallurgy of NAS of Ukraine (Stepanenko D.O., Togobytska D.M., Khamkhotko A.F.). Method of research of phase transformations of electrolyte melts. Ukraine Patent 107387, IPC (2015, 01) G01N 25/12 (2006.01); 2014.
11. Muggeo, V. M.: Estimating regression models with unknown break-points. Statistics in Medicine, 22(19), 3055–3071, (2003).
12. Toms, J. D., Lesperance, M. L.: Piecewise regression: A tool for identifying ecological thresholds. Ecology, 84(8), 2034–2041, (2003).

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ АНАЛІЗІ ДИЛАТОГРАМ МАРТЕНСИТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ У СТАЛЯХ

Чуйко І. М., Парусов Е.В., Бобирь С. В., Сагура Л. В.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Україна

Анотація. У роботі наведено практичний досвід застосування математичного моделювання при аналізі кінетики атермічного мартенситного перетворення у економнолегованій конструкційній сталі 30ХГСА (Fe-0,30C-0,86Si-1,02Mn-0,84Cr, % ваг.) з використанням дилатограми реального процесу гартування. Застосована методика визначення співвідношення фаз забезпечує кореляцію *in situ* з мікроструктурними механізмами, що реалізуються у досліджуваному матеріалі під час термічної обробки. Показано зміну кількості утвореного мартенситу в досліджуваній сталі від температури за безперервного гартувального охолодження.

Ключові слова: моделювання, мартенсит, аустеніт, загартування, дилатограма.

Вступ. Термічне оброблення полягає у використанні температурного впливу для зміни фізичних та/або механічних властивостей матеріалу з метою адаптації його характеристик до вимог конкретного застосування. Серед традиційних видів термічного оброблення сталей гартування є одним з основних і широко застосовується у промисловій практиці, забезпечуючи високі характеристики міцності металовиробів [1]. Мартенситне перетворення у більшості випадків є атермічним, тобто характеризується поступовим збільшенням кількості утвореного мартенситу при безперервному охолодженні від температури початку перетворення до температури його завершення, при цьому швидкість перетворення не залежить від температури, зупинка охолодження в інтервалі його протікання призводить до припинення перетворення, а для його відновлення потрібно продовжити охолодження.

Щоб дослідити перетворення у твердому стані необхідно зареєструвати його еволюцію в залежності від температури та часу [2]. Це ґрунтується на моніторингу певної фізичної властивості, пов'язаної з різними фазовими станами матеріалу (тобто аустеніту та мартенситу у разі мартенситного перетворення у сталі). Прикладами фізичних властивостей, що контролюються

для вивчення перетворень, є: твердість, питома довжина, питомий електричний опір, ентальпія (тобто тепло, що виділяється/поглинається), намагніченість тощо. Для проведення кількісного аналізу фізичні властивості необхідно трансформувати у ступінь реалізації перетворення (або об'ємну частку фази, що зазнала перетворення). Коли об'ємна частка фази, що зазнала перетворення, відображається в залежності від температури або часу, формується крива перетворення, яку можна проаналізувати для отримання певної інформації про механізми самого перетворення.

Розширення металу являє собою безперервну або переривчасту зміну об'єму кристалічної решітки, обумовлену зміною температури або фазовим перетворенням. Ця фізична природа робить дилатометричний аналіз потужним методом вивчення протікання фазових перетворень у металевих сплавах [3–4]. Дилатометричні дані, виміряні чутливим високошвидкісним дилатометром поєднаним з термічним симулятором, можуть надати докладну інформацію щодо характеристик теплового розширення та зміни середнього об'єму кристалічної решітки при перетворенні [5]. Використовуючи спеціальні моделі аналізу, можна визначити кількість фаз як функцію температури або часу з дилатометричної кривої. Ретельний аналіз дилатометричних даних забезпечує кореляцію *in situ* з мікроструктурними механізмами, що реалізуються у досліджуваному матеріалі. Наприклад, при дослідженні сталей фазове перетворення аустеніту в мартенсит призводить до помітного об'ємного розширення, яке можна зареєструвати за змінами лінійних розмірів зразка. Таким чином, деформація (зміна лінійних розмірів) досліджуваного зразка є важливою фізичною властивістю, що пов'язана з різними фазовими станами металічних матеріалів, і широко використовується для аналізу кінетики протікання фазових перетворень.

Матеріал і методи дослідження. У якості матеріалу для досліджень обрано економнолеговану конструкційну сталь 30XГСА (Fe-0,30C-0,86Si-1,02Mn-0,84Cr, % ваг.) у вигляді прокату діаметром 13 мм промислового виробництва. Для проведення дилатометричних досліджень зі сталевих прокатів були виготовлені зразки у вигляді паралелепіпедів з

перерізом 2 мм × 2 мм і довжиною 10 мм. Дилатометричні дослідження проводили за допомогою гартувально-деформаційного дилатометру LINSEIS L78 RITA (Німеччина) з комп'ютерним управлінням. Математичне моделювання і аналіз кінетики мартенситного перетворення проводили з використанням персонального комп'ютеру за допомогою табличного процесору Microsoft Excel та програмного пакету OriginPro.

Результати дослідження. Дилатограма процесу гартування сталі 30ХГСА до кімнатної температури з аустенітної області (нагрівання до 890 °С) і критичні температури відповідних перетворень наведена на рис. 1 а.

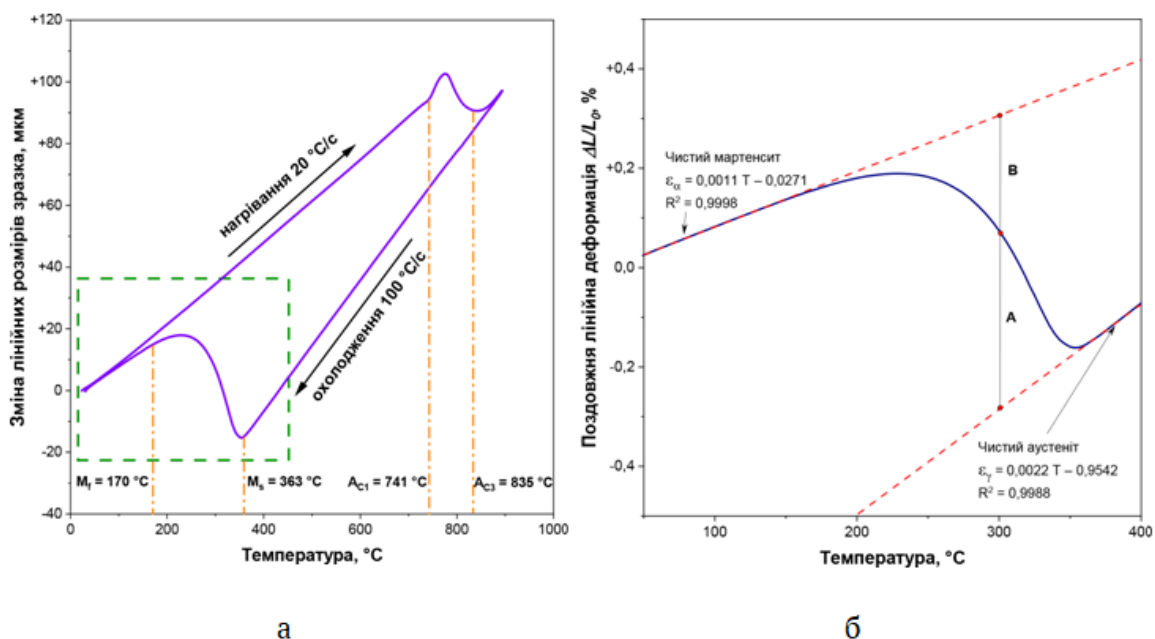


Рисунок 1 – Дилатограма процесу гартування сталі 30ХГСА до кімнатної температури з аустенітної області та критичні температури фазових перетворень (а); частково збільшене зображення області, виділеної штриховим прямокутником на а, з лінійними рівняннями термічного стиснення аустеніту та мартенситу (б)

Основною методикою аналізу, використовуваною для розрахунку об'ємної частки фаз за дилатометричною кривою, є правило важеля [6]. Як показано на рис. 1 б, пунктирні лінії є екстраполяцією кривих стиснення аустеніту та мартенситу в процесі гартувального охолодження та розраховуються шляхом регресії дилатометричних даних [7]. Припускаючи, що об'ємна частка фаз пропорційна деформації розтягування, можна розрахувати об'ємну частку фази, що утворилася за даної температури (V_α), використовуючи відповідні довжини відрізків А і (А + В) на рис. 1 б:

$$V_{\alpha} = \frac{A}{A+B} \quad (1)$$

Відомо, що під час зниження температури аустеніт стискається лінійно. Лінійне рівняння термічного стиснення аустеніту можна отримати апроксимацією дилатометричних даних у однофазній аустенітній області на рис. 1 б у відповідності до виразу:

$$\varepsilon_{\gamma} = aT + b \quad (2)$$

де ε_{γ} – виміряна деформація при охолодженні аустеніту;

T – температура;

a, b – коефіцієнти лінійного рівняння.

Аналогічній закономірності підпорядковується і термічне стиснення мартенситу в процесі охолодження, лінійне рівняння зміни якого можна отримати апроксимацією дилатометричної кривої на рис. 1 б після закінчення мартенситного перетворення:

$$\varepsilon_{\alpha} = cT + d \quad (3)$$

де ε_{α} – виміряна деформація при охолодженні мартенситу;

T – температура;

c, d – коефіцієнти лінійного рівняння.

Враховуючи, що загальна деформація металевого зразка (ε) під час перетворення підпорядковується співвідношенню за правилом важеля, а деформації фаз дорівнюють зміні довжини зразка за даної температури (регресійні лінійні рівняння на рис. 1 б), використовуючи рівняння (2) і (3) об'ємна частка утвореного мартенситу може бути визначена виходячи з виразу [2]:

$$V_{\alpha} = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{\gamma}}{\varepsilon_{\alpha} - \varepsilon_{\gamma}}. \quad (4)$$

З використанням рівняння (4) можна визначити об'ємну частку мартенситу, що утворився у процесі гартувального охолодження сталі, у будь-який момент часу. Графічна інтерпретація відповідних розрахунків для досліджуваної сталі 30ХГСА наведена на рис. 2.

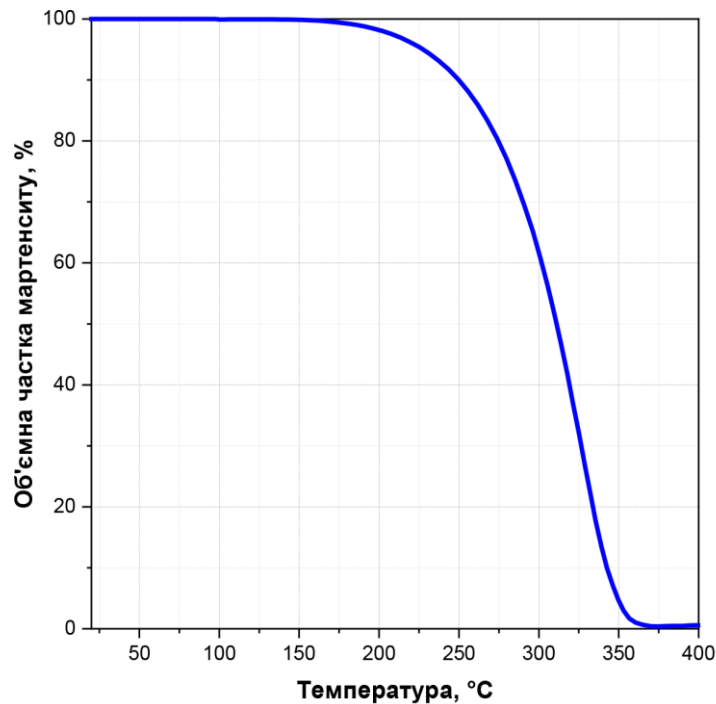


Рисунок 2 – Кількість утвореного мартенситу в сталі 30ХГСА за безперервного гартувального охолодження в залежності від температури

При цьому авторами робіт [8, 9] зроблено припущення, що застосування дилатометричних даних для аналізу кінетики мартенситного перетворення сталі може призводити до певних похибок у визначенні об'ємних часток фаз, а помилки вимірювань пов'язуються із впливом структурних напружень, зумовлених зсувним характером утворення мартенситу, а також наявністю температурного градієнту в зразках під час гартувального охолодження. Однак дилатометричний метод аналізу мартенситного перетворення у сталях є найбільш точним з точки зору кількісної оцінки співвідношення фаз у процесі перетворення і широко застосовується на практиці науковцями й інженерно-технічними працівниками металургічних підприємств.

Висновки. З використанням дилатограми реального процесу загартування конструкційної сталі 30ХГСА проведено математичний аналіз кінетики атермічного мартенситного перетворення. Показано зміну кількості утвореного мартенситу в досліджуваній сталі від температури за безперервного гартувального охолодження. Отримані результати будуть використані для розроблення параметрів термічного оброблення за принципом загартування з перерозподілом (Q&P) для поліпшення комплексу властивостей сталі 30ХГСА за рахунок створення мультифазної структури.

ЖИТЕПАТҮПА \ REFERENCE

1. ASM handbook. Volume 4, Heat treatment. Ohio : ASM International, 1991. 1012 p. ISBN 9780871703798
2. Mittemeijer E. J. Review Analysis of the kinetics of phase transformation. *J. Mater. Sci.* 1992. Vol. 27. P. 3977–3987. DOI: 10.1007/BF01105093
3. Kop T. A., Sietsma J., Van Der Zwaag S. Dilatometric analysis of phase transformations in hypo-eutectoid steels. *J. Mater. Sci.* 2001. Vol. 36. P. 519–526. DOI: 10.1023/A:1004805402404
4. Salari S., Naderi M., Prahl U., Bleck W. Quantification of phase transformation kinetics under thermomechanical conditions using dilatometry data. *Adv. Materials Research.* 2012. Vol. 622–623. P. 581–584. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.622-623.581
5. Suh D.-W., Oh C.-S., Han H. N., Kim S.-J. Dilatometric analysis of austenite decomposition considering the effect of non-isotropic volume change. *Acta Materialia.* 2007. Vol. 55. Iss. 8. P. 2659–2669. DOI: 10.1016/j.actamat.2006.12.007
6. ASTM International. Standard practice for quantitative measurement and reporting of hypoeutectoid carbon and low-alloy steel phase transformations (A1033-18). 2018. 14 p. DOI: 10.1520/A1033-18
7. Yang H.-S., Bhadeshia H. K. D. H. Uncertainties in dilatometric determination of martensite start temperature. *Mat. Sci. Tech.* 2007. Vol. 23. Iss. 5. P. 556–560. DOI: 10.1179/174328407X176857
8. Liu L., Guo B. Dilatometric analysis and kinetics research of martensitic transformation under a temperature gradient and stress. *Materials.* 2021. Vol. 14. 7271. DOI: 10.3390/ma14237271
9. Gomez M., Medina S. F., Caruana G. Modelling of phase transformation kinetics by correction of dilatometry results for a ferritic Nb-microalloyed steel. *ISIJ International.* 2003. Vol. 43, 1228–1237. DOI: 10.2355/isijinternational.43.1228

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN ANALYSIS OF DILATOGRAMS OF MARTENSITIC TRANSFORMATION IN STEEL

Ihor Chuiko, Eduard Parusov, Serhii Bobyr, Liudmyla Sahura

Abstract. *The paper provides practical experience of applying mathematical modeling in the analysis of the kinetics of athermal martensitic transformation in low-alloy structural steel 30HGSA (Fe-0.30C-0.86Si-1.02Mn-0.84Cr, % wt.) using the dilatogram of the real quenching process. The change in the amount of martensite formed in the studied steel as a function of temperature during continuous quenching cooling is shown. The used technique for determining the phase ratio provides in situ correlation with the microstructural mechanisms implemented in the studied material during heat treatment. The obtained results will be used to develop parameters of heat treatment based on the principle of quenching and partitioning (Q&P) to improve the complex of properties of 30HGSA steel due to the creation of a multiphase structure.*

Keywords: *modeling, martensite, austenite, quenching, dilatogram.*

СЕКЦІЯ 3

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

SECTION 3

**MATHEMATICAL MODELING
OF COMPLEX SYSTEMS**

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА СТАТИСТИЧНОЇ ОДНОРІДНОСТІ АВТОКОРЕЛЬОВАНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Федоренко О.Д., Малайчук В.П.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Анотація. Доповідь присвячена дослідженню та оцінці статистичної однорідності автокорельованих вимірювань, що є важливим завданням у сфері аналізу часових рядів і експериментальних даних. Під час дослідження буде розглянуто, як автокореляція впливає на статистичні висновки та якість оцінок параметрів. Особливу увагу приділено методам виявлення автокореляції та корекції даних для забезпечення надійних результатів аналізу. Доповідь охоплює як теоретичні аспекти, так і практичні приклади застосування різних методів оцінювання статистичної однорідності в автокорельованих вимірах. Автокореляція може спотворювати статистичні висновки, тому тема дослідження таких вимірювань та вивчення методів коригування, котрі можна застосувати для отримання більш надійних результатів, являється актуальною та не освіченою повною мірою.

Ключові слова: автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології, неруйнівний контроль, розподіл, статистичний аналіз, псевдовипадкові числа.

Автокорельовані вимірювання та корельовані вимірювання - це два різні концепти, які можуть бути пов'язані між собою, але мають різні значення. Автокорельовані вимірювання це тип кореляції, коли кожен вимір у серії даних корелює з попередніми вимірами цієї ж серії. Корельовані вимірювання це більш загальний термін, який означає, що значення в одному наборі вимірювань корелюють із відповідними значеннями в іншому наборі вимірювань. Це не обов'язково стосується послідовності вимірювань у часі, як у випадку автокорельованих вимірювань.

Таким чином, різниця між ними полягає в тому, що автокорельовані виміри пов'язані з часовими рядами і залежать від попередніх значень у тому самому ряді, тоді як корельовані виміри можуть належати до будь-яких наборів даних.

Іншими словами, автокореляція означає, що значення часового ряду залежать від самих себе в попередні моменти часу.

Автокореляція – це явище, яке відіграє ключову роль в аналізі часових рядів, економетриці та інших галузях статистики і науки про дані. Цей феномен виникає, коли значення змінної корелюють з її власними попередніми значеннями в часовому ряді або послідовності вимірювань. Тобто, автокореляція відображає ступінь зв'язку між значеннями змінної в різні моменти часу.

Кореляційний аналіз передбачає вивчення залежності між випадковими величинами з одночасною кількісною оцінкою ступеня невинпадконості їхнього спільного вимірювання. Вимірювання випадкової величини y , що відповідає зміні випадкової величини x , розбивається на дві складові – стохастичну, пов'язану з невинпадковою залежністю y від x , та випадкову (або статистичну), пов'язану з випадковим характером поведінки самих y та x . Під час проведення такого аналізу головним досліджуваним питанням являється «Чи вибірки некорельовані?». Якщо це не так, то подальший експеримент не має сенсу.

Основні аспекти кореляційного аналізу:

Коефіцієнт кореляції: Це числова міра, яка показує ступінь взаємозв'язку між двома змінними. Найпоширенішим коефіцієнтом кореляції є коефіцієнт Пірсона, який вимірює лінійний зв'язок між змінними. Іншими типами коефіцієнтів кореляції є коефіцієнт Спірмена (для рангових даних) і коефіцієнт Кендалла (для порядкових даних).

Інтерпретація коефіцієнта кореляції: Значення коефіцієнта кореляції лежить між -1 і 1 . Значення ближче до 1 вказує на сильну позитивну кореляцію, коли обидві змінні рухаються в одному напрямку. Значення ближче до -1 вказує на сильну негативну кореляцію, коли змінні рухаються в протилежних напрямках. Значення ближче до 0 означає відсутність кореляції.

Важливість інтерпретації: Важливо пам'ятати, що кореляція не обов'язково означає причинно-наслідковий зв'язок між змінними. Вона лише показує, що зміни в одній змінній можуть супроводжуватися змінами в іншій змінній, але не вказує на те, яка змінна спричиняє зміни в іншій.

Графічне представлення: Кореляцію також можна візуалізувати за допомогою діаграм розсіювання, які дають змогу побачити, як змінні розподілено відносно одна одної та оцінити силу зв'язку між ними.

Вимірювання параметрів технічних об'єктів містять інформацію про їхній стан. Це випадкові величини і вимірювання їхніх статистичних закономірностей є ознакою зміни стану контрольованих об'єктів. Класична математична статистика пропонує безліч методів перевірки гіпотез (припущень) про вимірювання: математичних очікувань, дисперсії, коефіцієнтів асиметрії, зрушень вибірок, розкиду вимірювань, статистичних зв'язків (коефіцієнти автокореляції). На жаль, немає результатів порівняння їхньої інформативності: які методи і показники, кращі чи гірші, коли і як їх застосовувати.

Вимірювання статистичних зв'язків між вимірами у вибірках (автокореляція) і статистичні зв'язки між двома вибірками одного й того самого технічного об'єкта - це теж інформація про стан спостережуваних технічних об'єктів і природних процесів. Така інформація в класичній теоретичній статистиці міститься в математичних моделях опису коливання. Це диференціальні рівняння опису причинно-наслідкових зв'язків, у яких ми живемо, спостерігаємо і вимірюємо. Енергетичні спектри та функції автокореляції містять інформацію про стан технічних об'єктів і процесів. Труднощі їх використання на практиці виникають, коли вибірки вимірів короткі, статистичні закономірності вимірів недосліджені, невідомі диференціальні рівняння, описи об'єктів та їхні параметри.

Використовуючи разносні рівняння дискретно-цифрових фільтрів, аналогів диференціальних рівнянь, можна сформулювати вибірки вимірювань із різними видами їхньої коливальності (корельованості), вивчити їхні статистичні закономірності та інформативність у завданнях контролю та спостереження за станом технічних і природних об'єктів і процесів.

Довгі вибірки експериментальних вимірювань стану лінійно-протяжних об'єктів можна розглянути як дискретно-цифрові сигнали після аналогово-

цифрового перетворення і їхні статистичні закономірності описувати дискретними функціями автокореляції.

Прикладом вибірок таких вимірювань можуть бути випадкові величини, сформовані шляхом перетворення незалежних випадкових величин різницеvими рівняннями дискретних фільтрів. Прикладами можуть слугувати рівняння Смірнова і Юла:

$$\begin{aligned}y_1(k) &= \alpha_1 y_1(k-1) + \beta_1 U_1(k), \\y_2(k) &= \alpha_1 y_2(k-1) - \alpha_2 y_2(k-2) + \beta_2 U_2(k)\end{aligned}\tag{1}$$

$U(k)$ – вибірки незалежних випадкових величин з відомими статистичними закономірностями.

Класична математична статистика широко використовує коефіцієнтні автокореляції та інші критерії, які містять інформацію про статистичні зв'язки експериментальних вимірювань для перевірки гіпотез про незалежність досліджуваних випадкових величин – експериментальних вимірювань.

Визначається, з якою ймовірністю (0,9; 0,95; 0,99) ухвалюються рішення про незалежність досліджуваних випадкових величин (експериментальних) вимірювань. З цими ймовірностями ухвалюються рішення про незалежність дійсно незалежних випадкових величин (про що ми не знаємо).

Проведення подібних статистичних досліджень можливе лише за допомогою комп'ютерних потужностей та обчислень, через великі об'єми експериментальних даних.

Можна впевнено стверджувати, що дослідження та оцінювання статистичної однорідності автокорельованих вимірювань, є актуальним завданням у сфері аналізу часових рядів та експериментальних даних. Наявність автокореляції може значно спотворювати статистичні висновки та призводити до неточних оцінок параметрів. Важливим результатом є виявлення методів виявлення автокореляції та корекції даних, які дають змогу поліпшити якість аналізу та підвищити достовірність висновків. Наголошується необхідність врахування автокореляції під час аналізу даних і практичну значущість застосування різних методів оцінювання статистичної однорідності в автокорельованих вимірах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pierre L'Ecuyer. Random Number Generation // Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. – 2007. – P. 93 -137
2. Кобзарь А.І. Прикладна математична статистика. Для інженерів і науковців. – 2006. – 606-646 с.

RESEARCH AND EVALUATION OF STATISTICAL HOMOGENEITY OF AUTOCORRELATED MEASUREMENTS

Fedorenko O., Malaychuk V.

¹Dnipro National University named after Oles Honchar, Dnipro, Ukraine

Abstract. *The presentation is devoted to the study and evaluation of the statistical homogeneity of autocorrelated measurements, which is an important task in the analysis of time series and experimental data. The study will consider how autocorrelation affects statistical conclusions and the quality of parameter estimates. Particular attention is paid to methods of autocorrelation detection and data correction to ensure reliable analysis results. The report covers both theoretical aspects and practical examples of applying various methods for assessing statistical homogeneity in autocorrelated measurements. Autocorrelation can distort statistical conclusions, so the topic of researching such measurements and studying the correction methods that can be used to obtain more reliable results is relevant and not fully covered.*

Keywords: *automation, computer-integrated technologies, non-destructive testing, distribution, statistical analysis, pseudo-random numbers.*

REFERENCE

1. Pierre L'Ecuyer. Random Number Generation // Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. – 2007. – P. 93 -137
2. Kobzar A.I. Applied mathematical statistics. For engineers and scientists. - 2006. - 606-646 p.

ПОРІВНЯННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СЕРВІСНО-ОРІЄНТОВНОЇ АРХІТЕКТУРИ ТА МІКРОСЕРВІСНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ У СТВОРЕННІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Молодець Б.В., Булана Т.М.

Анотація: *Робота присвячена аналізу можливостей архітектур таких як: сервісно-орієнтованої архітектури та мікросервісна архітектура. В рамках роботи описані переваги та недоліки цих архітектур, наведені можливі схеми реалізації та відмінності. В якості провайдера хмарних послуг було обрано Amazon Web Service. У результаті аналізу було отримані рекомендації коли доречно використовувати той чи інший підхід. Мікросервіси дозволяють гнучко масштабувати систему, додаючи або видаляючи окремі сервіси в залежності від потреб. Сервісно-орієнтована архітектура сприяє високій модульності та зручному взаємодії між компонентами системи. Враховуючи швидко зростаючі технології та вимоги до інформаційних систем, використання мікросервісної та сервісно-орієнтованої архітектур дозволить створити динамічну та ефективну систему, здатну швидко адаптуватися до змінних умов та вимог користувачів.*

Ключові слова: *інформаційна система, моніторинг якості повітря, архітектура програмного забезпечення, SOA, MSA*

Вибір архітектури програмного забезпечення є ключовим етапом у процесі розробки будь-якого проекту. Коректна обрана архітектура визначає ефективність, гнучкість та масштабованість системи.

Мікросервісна архітектура - це підхід до розробки програмного забезпечення, де програмний додаток розбивається на невеликі, самостійні модулі, відомі як мікросервіси. Кожен мікросервіс виконує конкретну функцію та має власний набір інтерфейсів API для взаємодії з іншими мікросервісами. Мікросервіси взаємодіють між собою через API, що дозволяє їм співпрацювати та обмінюватися даними [1].

Для розгортання мікросервісної архітектури на платформі Amazon Web Services можна скористатися наступним: сервісами контейнеризації Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) або Amazon Elastic Kubernetes Service (EKS) , які дозволяють запускати та керувати контейнерами для ваших мікросервісів, Amazon Simple Storage Service (S3) в якості сховища для зберігання об'єктів , такі як файли, зображення та інше, Amazon CloudFront в якості швидкому та

ефективному доставці вмісту веб-застосунку, Amazon ALB для балансування навантаження, Amazon DynamoDB та Amazon Aurora як нереляційну та реляційну бази даних відповідно та Amazon ElastiCache для підвищення продуктивності та масштабованість застосунку шляхом кешування даних в оперативній пам'яті та забезпечуючи швидкий доступ[2].

До переваг мікросервісної архітектури можна віднести наступне[3]:

- Гнучкість: Мікросервісна архітектура дозволяє розділити додаток на невеликі, незалежні сервіси, що надає більшу гнучкість у розробці, тестуванні та впровадженні нових функцій;
- Швидкість розгортання: Можливість незалежного розгортання кожного сервісу дозволяє прискорити процес впровадження змін та оновлень.
- Масштабованість: Кожен сервіс може бути масштабований незалежно, що дозволяє оптимізувати ресурси та витрати.

До недоліків мікросервісної архітектури можна віднести наступні пункти:

- З більшою кількістю сервісів у системі стає складніше керувати конфігураціями та налаштуваннями.
- З більшою кількістю сервісів також ускладнюється моніторинг їх роботи та відлагодження випадків неполадок.
- Більше сервісів означає більше залежностей між ними.
- Інтеграція між сервісами може вимагати значних зусиль у вирішенні питань сумісності, забезпеченні безпеки та забезпеченні спільного управління.
- Зменшується швидкодія системи через накладні розходи на мережеві виклики між сервісами (в тому числі при обміні даними).

Альтернативним рішенням, яке було обрано для розробки інформаційної системи, стала сервісно-орієнтовна архітектура (SOA).

Основна ідея SOA полягає в тому, щоб розділити функціональність додатків на окремі сервіси, які можуть бути реалізовані та підтримувані незалежно один від одного [4].

У сервісно-орієнтовній архітектурі функціональність додатків розбивається на окремі сервіси, які можуть бути незалежними один від одного. Завдяки розділенню функціональності на окремі сервіси, сервісно-орієнтовна архітектура дозволяє краще масштабувати систему, оскільки можна масштабувати тільки ті сервіси, які потребують додаткових ресурсів [5].

Основними відмінностями сервісно-орієнтовна архітектура від мікросервісної архітектури є наступні пункти:

- Сервісно-орієнтовна архітектура зазвичай створює більш великі та важкі сервіси, які можуть містити різноманітну функціональність; Мікросервісна архітектура,

навпаки, розглядає функціональність як набір дрібних, відокремлених сервісів, які керуються принципом "один сервіс - одна функція".

- У сервісно-орієнтовній архітектурі, великі сервіси можуть мати складні залежності один від одного, що може робити їх важко масштабувати та підтримувати. У мікросервісній архітектурі, кожен сервіс незалежний і може бути масштабованим та підтримуваним окремо.

- У сервісно-орієнтовній архітектурі сервіси можуть використовувати різні протоколи та стандарти для взаємодії між собою. У мікросервісній архітектурі, зазвичай використовуються легкі та стандартні протоколи, такі як HTTP або REST, для взаємодії між сервісами.

- У сервісно-орієнтовній архітектурі керування багатьма великими сервісами може бути складним завданням. У мікросервісній архітектурі, хоча кількість сервісів може бути більшою, кожен сервіс менший і простіший у розгортанні та управлінні.

У контексті розробки системи моніторингу якості повітря, мікросервісна та сервісно-орієнтована архітектура відіграють значущу роль. Мікросервіси дозволяють гнучко масштабувати систему, додаючи або видаляючи окремі сервіси в залежності від потреб. Сервісно-орієнтована архітектура сприяє високій модульності та зручному взаємодії між компонентами системи. Враховуючи швидко зростаючі технології та вимоги до систем моніторингу повітря, використання мікросервісної та сервісно-орієнтованої архітектур дозволить створити динамічну та ефективну систему, здатну швидко адаптуватися до змінних умов та вимог користувачів.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Dragoni, N. et al. (2017). Microservices: Yesterday, Today, and Tomorrow. In: Mazzara, M., Meyer, B. (eds) Present and Ulterior Software Engineering. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-67425-4_12
2. Villamizar M., Garcés O., Ochoa L., Castro H., Salamanca L., Verano M. M., Casallas R., Gil S., Valencia C., Zambrano A., Lang M. (2016). Infrastructure Cost Comparison of Running Web Applications in the Cloud Using AWS Lambda and Monolithic and Microservice Architectures. DOI: 10.1109/CCGrid.2016.37.
3. Simple microservices architecture on AWS - Implementing Microservices on AWS (amazon.com) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/microservices-on-aws/simple-microservices-architecture-on-aws.html>

4. What is SOA (Service-Oriented Architecture)? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://aws.amazon.com/what-is/service-oriented-architecture/>
5. Lewis G., Smith D., Chapin N., Kontogiannis K. (2010). Proceedings of the Fourth International Workshop on a Research Agenda for Maintenance and Evolution of Service-Oriented Systems (MESOA 2010). 107.

Comparison of the capabilities of service-oriented architecture and microservice architecture in the creation of information systems

Molodets Bohdan, Bulana Tetiana

Abstract: *The paper analyzes the capabilities of such architectures as service-oriented architecture and microservice architecture. The paper describes the advantages and disadvantages of these architectures, provides possible implementation schemes and differences. Amazon Web Service was chosen as a cloud service provider. As a result of the analysis, recommendations have been made on when it is appropriate to use one or the other approach. Microservices allow for flexible scaling of the system by adding or removing individual services depending on the needs. Service-oriented architecture promotes high modularity and convenient interaction between system components. In view of the rapidly growing technologies and requirements for information systems, the usage of microservice and service-oriented architectures will allow to create a dynamic and efficient system that can quickly adapt to changing conditions and user requirements.*

Keywords: *information system, air quality monitoring, software architecture, SOA, MSA*

МОДЕЛЮВАННЯ ВАКУУМУВАННЯ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ В КОВШІ З УРАХУВАННЯМ НАБЛИЖЕННЯ РЕАКЦІЙ ДЕГАЗАЦІЇ ДО РІВНОВАГИ

Величко О.Г.¹, Камкін В.Ю.¹, Рудько К.В.²

¹Український державний університет науки і технологій, м.Дніпро, Україна

²ДП «Дніпростандартметрологія», Дніпро, Україна

Анотація. Об'єкт дослідження - процес вакуумування сталі в ковші. Мета дослідження – визначити ступінь наближення реакцій дегазациї до рівноваги та показники видалення за статтями. Методи дослідження - теоретичні дослідження базуються на основних положеннях фізичної хімії і теорії металургійних процесів, термодинамічні розрахунки нерівноваги реакцій дегазациї. Наукова новизна - при вакуумних процесах дегазациї істотну роль грає наближення відповідних реакцій до рівноваги, в промислових вакуумних установках рівновага між вуглецем і киснем, розчиненими в сталі, не досягається із-за виключно малих концентрацій взаємодіючих речовин швидкість хімічної реакції зменшується настільки, що не дозволяє за час обробки навіть наблизитися до стану термодинамічної рівноваги. Практична значимість - для забезпечення високого ступеня реалізації розкислювальної здатності вуглецю в умовах вакууму необхідно: застосовувати основну футеровку сталерозливних ковшів; підтримувати високу основність шлаку і мінімальний вміст оксидів заліза в ньому; перемішувати розплав в ковші інертним газом для полегшення умов зародження продуктів реакції окислення вуглецю.

Ключові слова: дегазация, вакуумування, ківш, водень, азот, кисень, нерівноважність реакцій.

Вступ. В цей час велика кількість металевих деталей при виробництві побутової техніки та кузовів легкових автомобілів отримують із тонкого холоднокатаного сталевого листа методами штамповки та глибокої витяжки. Основні вимоги до листових сталей для глибокої витяжки – підвищена реформованість, висока міцність та якість поверхні виробів. Даним вимогам задовольняють IF – сталі, досягнення властивостей у яких визначається вимогами за хімічним складом – надверхнизьким вмістом вуглецю, азоту, низьким вмістом домішок кольорових металів ($Cr < 0,03\%$, $Cu < 0,03\%$), кремнія ($Si < 0,2\%$), сірки ($S < 0,01\%$), так і вимогами до механічних властивостей та якості поверхні листа. Закордонні виробники отримують в IF – сталях

наднизькі концентрації вуглецю менше 0,002% і азота менше 0,002%, що забезпечує підвищені пластичні властивості та добру штампованість.

Аналіз наукової інформації. Тонкі сталеві листи, що застосовуються в автомобілебудуванні, можна розділити на три групи: традиційні сталі для холодного штампування ($\sigma_t < 210$ МПа, $\sigma_b < 340$ МПа); високоміцні сталі ($\sigma_t > 210$ МПа, $\sigma_b > 340$ МПа); особливіміцні сталі ($\sigma_t > 550$ МПа, $\sigma_b > 750$ МПа). Стандартною технологією виплавки ІФ – сталей в киснево-конверторному цеху ОАО «ММК» є виплавка напівпродукту в кисневому конвертері. При випусканні металу із конвертора для розкислення, легування та наведення шлаку в ківш віддають алюміній, металевий марганець чи фє-ромарганець, а також вапно. Далі метал рафінують на циркуляційному ваку-уматорі і проводять мікролегування ніобієм і титаном на агрегаті ківш-піч

Виробництво м'яких ІФ-сталей успішно освоєно на металургійних підприємствах Європи, Америки. Ця сталь по своїй суті є добре дегазованим технічним чистим залізом, що має високу пластичність.

Досягнення низьких концентрацій азоту в розплаві ускладнене тим, що він розчиняється в металі при високих температурах, особливо в зонах реакцій, що йдуть з виділенням значної кількості тепла. Інтенсивна деазотація може відбуватися тільки в ході інтенсивного зневуглецювання в ванні конвертера, де створюються умови для вимивання азоту з розплаву бульбашками спливаючих оксидів вуглецю. При цьому продування її необхідно виконати киснем, що містить не більше 0,1 % азоту.

Застосування мікролегування означає, що в рідку сталь ввели елемент, вміст якого зазвичай не перевищує 10-15 %. Крім очевидної відмінності в масовій частці, що дозволяє відрізнити легуючі і мікролегууючі елементи, різний і механізм їх впливу: легуючі елементи переважно впливають на матрицю сталі, в той час як вплив мікролегууючих елементів значною мірою визначається виділенням надлишкових фаз і утворенням нітридів і карбідів. Дисперсні виділення фаз, які формуються в структурі при розпаді пересичених твердих розчинів, перешкоджають руху дислокацій, викликаючи зміцнення матриці, впливають на розмір аустенітного і феритного зерна, на типи

структурних складових. Разом з утворенням карбідів і нітридів кількість вільних атомів вуглецю і азоту настільки зменшується, що виключається (або в значній мірі зменшується) проникнення їх в кристалічну решітку заліза в якості атомів впровадження.

Термодинамічні основи ковшової обробки металу.

Одним з поширених методів ковшової обробки є вакуумування в ковшах з одночасною продувкою металу інертним газом, зазвичай аргоном. Одна з основних цілей вакуумування - це зниження вмісту в металі розчинених газів - водню, кисню і, по можливості, азоту. Істотним показником ефективності процесу дегазації є повнота завершення реакцій, яка може бути оцінена за величиною наближення цих реакцій до рівноваги. За результатами моделювання на математичній моделі [1] зроблена оцінка наближення реакцій дегазації до рівноваги і з'ясовані фактори, що впливають на неї.

Розрахунки теплообміну показали, що прогрів бульбашки аргону відбувається при граничних умовах першого роду, і час його нагрівання до температури металу становить 0,2-0,4 секунди і не лімітують інші процеси. Згідно з розрахунками, масообмін газів в бульбашці з металом протікає при значеннях числа Біо дифузійного – Bi_D менше 0,2, що свідчить лише про зовнішнє лімітування, тобто стадією, що визначає швидкість процесу, є дифузія через прикордонний шар. Це відповідає відомим літературними даними [2, 3], згідно з якими лімітуючою ланкою процесів дегазації є перехід реагентів через прикордонний шар на міжфазному кордоні між металом і газовою фазою.

При відхиленні системи від рівноваги виникають потоки речовин з металу в газову фазу, які пропорційні відповідним коефіцієнтам масовіддачі – β (м/с) і різниці концентрацій речовин в металі і рівноважної з газовою фазою. При

малих концентраціях речовин їх активності можуть бути замінені концентраціями (кг/м³). При цьому потік i -го компонента з металу в газову фазу буде визначатися рівнянням

$$j_i = \beta_i ([G]_i - [G]_{\text{рівн.},i}), \text{кг/ (м}^2 \times \text{с)} \quad (1)$$

Концентрації водню, азоту і кисню, рівноважні з газовою фазою будуть знаходитися з виразів:

$$[H]_{\text{рівн.}} = K_H \times \sqrt{P_{H_2}} \quad (2)$$

$$[H]_{\text{рівн.}} = K_N \times \sqrt{P_{H_2}} \quad (3)$$

$$[O]_{\text{рівн.}} = \frac{P_{CO}}{[C] \times K_C} \quad (4)$$

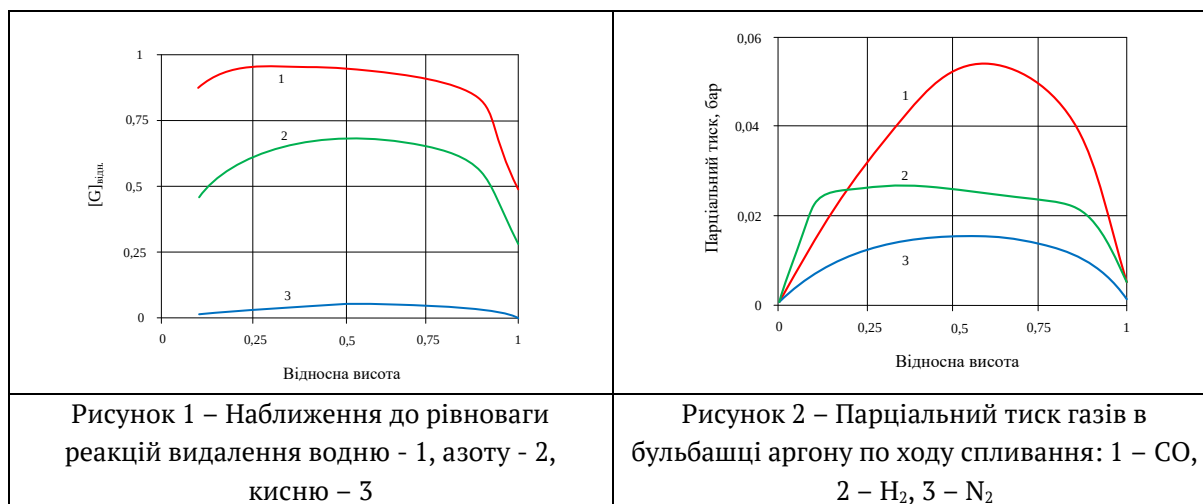
де K_H , K_N та K_C - константи рівноваги реакцій розчинення водню, азоту і окислення вуглецю.

Як видно з виразу (1) інтенсивність потоків речовин пропорційна різниці фактичної і рівноважної концентрацій. Отже, управляти процесом дегазації можна, вибираючи оптимальні умови наближення системи до рівноваги. Як показник наближення системи до рівноваги прийнято відношення вмісту газу в металі, рівноважне з парціальним тиском цього газу у відповідній газовій фазі, до фактичного його вмісту в металі

$$[G]_{\text{відн.}} = [G]_{\text{рівн.,i}} / [G]_i \quad (5)$$

У початковій стадії видалення газів, коли в бульбашці або над поверхнею металу даний газ відсутній, його парціальний тиск дорівнює нулю і рівноважний з ним вміст газу також дорівнює нулю, отже, і це відношення також дорівнює нулю. При досягненні в металі концентрації, рівноважної з вмістом даного газу в газовій фазі, це відношення дорівнює одиниці. З метою пошуку можливих оптимальних режимів дегазації металу було проведено математичне моделювання впливу різних технологічних факторів на наближення системи до рівноваги.

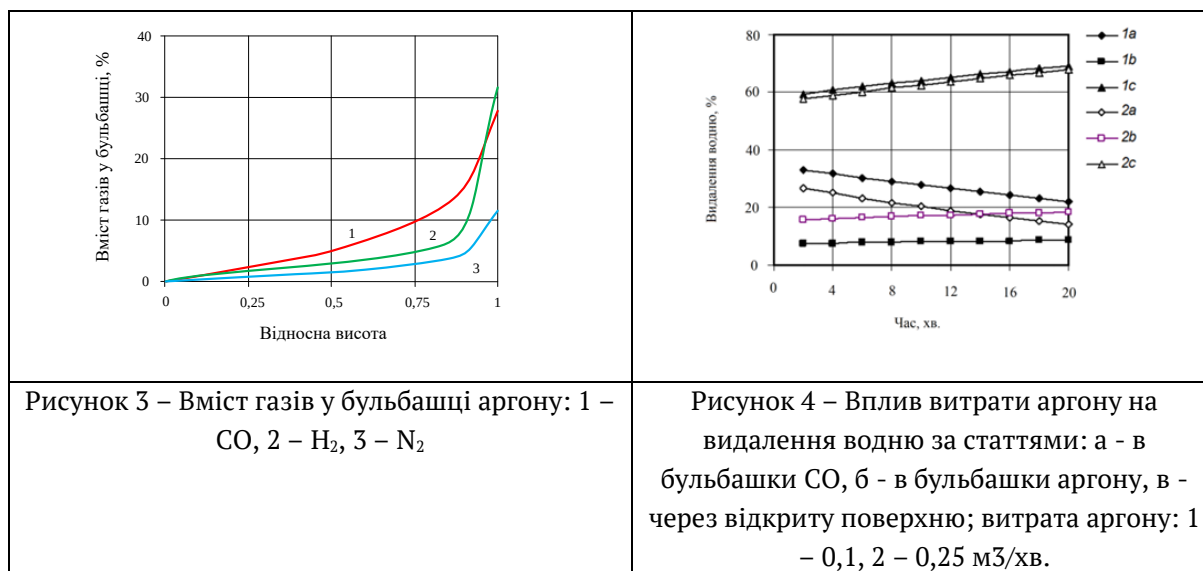
Оцінка наближення до рівноваги реакцій видалення кисню, азоту та водню на десятій хвилині процесу вакуумування (рис. 1) показала, що найближче до рівноваги знаходиться реакція видалення водню, надалі - реакція видалення кисню, реакція видалення азоту займає проміжне місце.



Зміна парціального тиску газів в бульбашці аргону при спливанні в вакуумі показало, що в цьому випадку парціальний тиск водню також швидко досягає свого граничного значення і при подальшому підйомі практично не змінюється (рис. 2). Парціальний тиск СО проходить через максимум. У другій половині спливання парціальний тиск падає, так як загальний тиск знижується, а дифузія не встигає компенсувати це зниження.

В процесі спливання вміст газів в бульбашці аргону змінюється (рис. 3). Вміст СО в міхурі весь час помітно зростає, в той час як вміст водню істотно зростає тільки в верхніх горизонтах металу при низьких загальних тисках в бульбашці. Все це дозволяє пояснити суттєве наближення реакції видалення водню до рівноваги і досить слабе наближення для реакції зневуглицювання.

Величина наближення до рівноваги робить істотний вплив на долю видалення газів за статтями: в бульбашки СО, в бульбашки аргону і через відкриту поверхню металу. На рисунку 4 наведено дані видалення водню за статтями при вакуумуванні, з якого випливає, що збільшення витрат аргону з 0,1 до 0,25 м³/хв підвищує його видалення в бульбашки аргону, приблизно, вдвічі, але при цьому падає частка видалення в бульбашки СО. Основною статтею є видалення через поверхню металу (60 – 70 %).



Таким чином при вакуумних процесах дегазації істотну роль грає наближення відповідних реакцій до рівноваги. Однак, в промислових вакуумних установках рівновага між вуглецем і киснем, розчиненими в сталі, не досягається. Основні причини цього явища полягають в наступному: при

виключно малих концентраціях взаємодіючих речовин, швидкість хімічної реакції зменшується настільки, що не дозволяє за час обробки навіть наблизитися до стану термодинамічної рівноваги; практика промислового вакуумування показує, що навіть невелика кількість FeO в рафінувальному шлаку (до 1%) в значній мірі сприяє тому, що рівновага реакції не досягається. Крім того, численними дослідженнями встановлено прямий зв'язок вмісту (% FeO) перед вакуумуванням, а також концентрації кисню до і після вакуумування з величиною середнього бала оксидів і кінцевою концентрацією кисню в сталі.

У зв'язку з цим для забезпечення високого ступеня реалізації розкислювальної здатності вуглецю в умовах вакууму необхідно: застосовувати основну футеровку сталерозливних ковшів, до складу якої входять важко відновлювані оксиди; підтримувати високу основність шлаку і мінімальний вміст оксидів заліза в ньому; перемішувати розплав в ковші інертним газом для полегшення умов зародження продуктів реакції окислення вуглецю.

Як показує практика, при вмісті вуглецю в сталі близько 0,50% за рахунок вакуумно-вуглецевого розкислення концентрацію кисню в металі вдається знижувати до 0,002–0,003%, що нижче рівноважної з вмістом кремнію, але вище рівноважної з розчиненим у металі алюмінієм. Тому при введенні кремнію в метал після вакуумно-вуглецевого розкислення первинні ендогенні включення не утворюються. За рахунок зниження вмісту розчиненого в металі кисню шляхом розкислення вуглецем під вакуумом подальше облягати розкислення протікає з мінімальним вигаром розкислювачів. Такий спосіб обробки рекомендується для виробництва вільної від великих оксидних включень і їх локальних скупчень особливо чистої сталі.

Для запобігання надмірно бурхливого розвитку під вакуумом реакції окислення вуглецю проводять часткове розкислення сталі шляхом підвищення в ній вмісту кремнію і (або) алюмінію. Завдяки перемішуванню металу і застосуванню порівняно невеликої кількості розкислювачів, можливе досягнення такого ж високого ступеня чистоти сталі по оксидним включенням, як і при вакуумуванні сталі в нерозкисленому виді. Як показали результати

моделювання, реакція видалення водню близька до рівноваги, а кисню далека від рівноваги. Для видалення водню в бульбашки аргону необхідно збільшувати витрату аргону, а кисню – площу поверхні бульбашок аргону.

ЛІТЕРАТУРА

1. Яковлев Ю.М., Величко А. Г., Камкіна Л.В. Математична модель окислення вуглецю під час вакуумної обробки сталі в ковшах. // Вісник приазовського державного технічного університету. - Вип. № 10 - 2000. Маріуполь. - ПДТУ, 2000. - С. 45 - 52.
2. Явойський В. І., Явойський А. В. Наукові основи сучасних процесів виробництва сталі. М.: Металургія, 1987, 184 с.
3. Кньюппель Г. Розкислення і вакуумна обробка сталі, М.: Металургія, 1973, 312 с.

Modeling of vacuuming of low-carbon steel in a ladle taking into account the approach of degasation reactions to equilibrium

Velichko O, Kamkin V., Rudko K.

Abstract. The object of research is the process of vacuuming steel in a ladle. The purpose of the study is to determine the degree of approach of degassing reactions to equilibrium and removal rates by articles. Research methods - theoretical studies are based on the basic provisions of physical chemistry and the theory of metallurgical processes, thermodynamic calculations of the non-equilibrium reactions of degassing. Scientific novelty - in vacuum degassing processes, the approximation of the corresponding reactions to equilibrium plays a significant role, in industrial vacuum installations, the equilibrium between carbon and oxygen dissolved in steel is not achieved due to extremely small concentrations of interacting substances, the speed of the chemical reaction decreases so much that it does not allow for processing time to even approach the state of thermodynamic equilibrium. Practical significance - to ensure a high degree of implementation of the deoxidizing ability of carbon in vacuum conditions, it is necessary to: apply the main lining of steel pouring ladles; maintain a high basicity of slag and a minimum content of iron oxides in it; mix the melt in the ladle with an inert gas to facilitate the conditions for the nucleation of carbon oxidation reaction products.

Keywords: degassing, vacuuming, ladle, hydrogen, nitrogen, oxygen, nonequilibrium reactions.

REFERENS

1. Yakovlev Yu.N., Velychko A. H., Kamkina L.V. Matematycheskaia model okysleniya uhleroda pry vakuumnoi obrabotke staly v kovshakh. // Vestnyk pryazovskoho hosudarstvennoho tekhnicheskoho unyversyteta. - Вып. № 10 - 2000. Maryupol. - PHTU, 2000. - S. 45 - 52.
2. Yavoiskiy V. Y., Yavoiskiy A. V. Nauchnye osnovy sovremennykh protsessov proyzvodstva staly. M.: Metallurhiya, 1987, 184 s.
3. Kniuppel H. Raskyslenye y vakuumnaia obrabotka staly, M.: Metallurhiya, 1973, 312 s.

DESIGN OF A CONTROL SYSTEM WITH A PREDICTIVE MODEL FOR A TWO-DRIVE MANIPULATOR WITH A PARALLEL STRUCTURE

Antonina Rudakova¹., Yurii Lebedenko²., Hanna Rudakova³., Daria Nilova³

¹University of Waterloo, Canada

²Kyiv National University of Technology and Design, Ukraine

³Kherson National Technical University, Ukraine

Abstract: *This work intends to contribute to the corpus of knowledge on parallel manipulators and their control by making the most use of Model Predictive Control. We aim to investigate parallel manipulator kinematics, dynamics, and control strategies in detail in order to open up opportunities for enhanced performance, flexibility, and precision in these robotic systems.*

Keywords: *frame installation, manipulator, model predictive control, parallel structure, control system.*

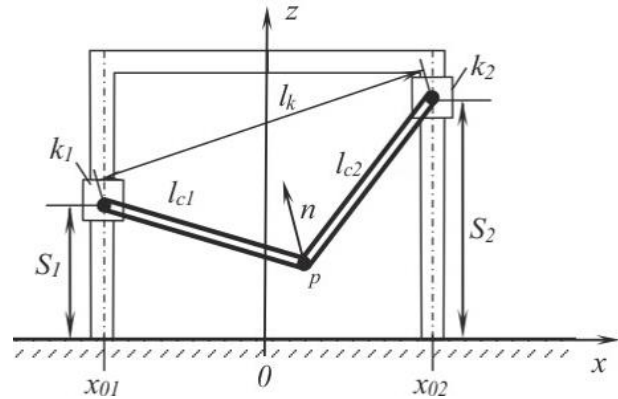
Recently, parallel manipulators have garnered significant attention in robotics and automation due to their distinct advantages over serial manipulators, including increased rigidity, payload capacity, and precision [1]. However, effectively controlling parallel manipulators poses challenges due to their complex kinematics and dynamics. Model Predictive Control (MPC) has emerged as a promising approach due to its ability to handle nonlinearities and uncertainties. This paper explores the application of MPC to parallel manipulators, focusing on design, dynamics, and control strategies to enhance performance and versatility. By integrating MPC, challenges related to trajectory tracking, obstacle avoidance, and energy efficiency can be addressed. The paper reviews foundational concepts of parallel manipulator kinematics and dynamics, and discusses MPC principles.

An example of such a frame installation of a parallel structure (fig. 1a) is a research stand with two guide rods which consist of a metal frame, which is equipped with two stepper motors, drives, hinges and a working body, which can be used as any technological tool such that paint head for varnishing, paints, cutting tools etc [2]. The kinematic diagram illustrates the manipulator's structure and components, while the mechanical motion of the drivers involves the translation of electrical signals into motion. The kinematic scheme (fig. 1b) of a frame installation

with parallel structure focuses on its mechanical motion and drivers [3]. The installation comprises guide rods with stepper motors, drives, hinges, and a working body adaptable for various technological tools. To move the working tool, carriages along the guide rods are driven by the operation of drivers.



a) Layout of the installation



b) Kinematic scheme

Figure 1 – Two-drive manipulator with a parallel structure

The mechanical motion of the drivers particularly focuses on hybrid stepper motors. The closed-loop control system of a hybrid stepper motor is presented in Fig. 2, depicting both inner and outer loop control mechanisms [4].

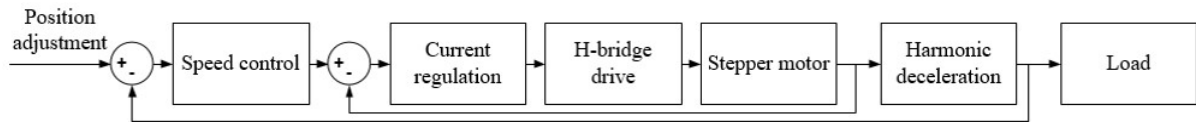


Figure 2 – Block diagram of the closed-loop control system of a hybrid stepper motor

The transfer function of the stepper motor system is detailed in Fig. 3, outlining the relationship between input signals and mechanical output [5].

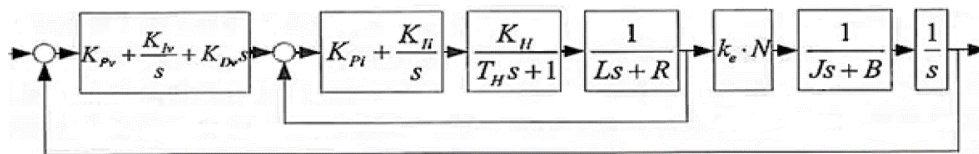


Figure 3 – Block diagram of the transfer function of a stepper motor system

The mechanical motion of the drivers refers to the physical movement and behavior of the mechanical components within the control system that are responsible for translating electrical signals into motion. These drivers play a critical role in controlling the movement of the load and managing the applied load torque.

The mechanics of the motion involve the interaction between the stepper motor, load, and the mechanisms that facilitate controlled motion. The mechanical motion of the drivers can be described as follows:

$$I \frac{d\omega}{dt} + B_{\omega} = T_e - T_L, \quad (1)$$

$$T_L = f(x_1 y) \rightarrow \text{var}, \quad (2)$$

$$T_e = K_e i_q \text{ or } T_e = K_e N_2 i_q, \quad (3)$$

$$L \frac{di_q}{dt} + R i_q = u, \quad (4)$$

$$T_H \frac{du}{dt} + u = K_H i_H, \quad (5)$$

$$K_{e_I} \int \Delta i \, dt + K_{P_I} \Delta i = i_H, \quad (6)$$

$$K_{D_{\theta}} \frac{d\Delta\theta}{dt} + K_{P_{\theta}} \Delta\theta = i_c. \quad (7)$$

Equations (1)-(7) provide a comprehensive mathematical model of the mechanical motion of the drivers, encompassing dynamics related to torque, electrical characteristics, H-bridge drive, and control mechanisms. These equations elucidate the interplay between electrical signals and mechanical motion, highlighting the complexities involved in achieving precise control over the parallel manipulator system.

The stepper motor orchestrates the coordinated motion of parallel actuators in the mechanical world, converting rotating power into linear motion via mechanical linkages. Parallel manipulators use complex equations, transformations, and optimization approaches to synchronize the movements of interconnected links and joints in the world of mathematics. The necessity to achieve harmonious motion in parallel configurations unites both domains while having different mechanisms and mathematical expressions, demonstrating the interplay between mechanical design and mathematical analysis. Therefore, a mathematical model of the system must be used to build a control system.

This paper aims to explore the application of Model Predictive Control to parallel manipulator, focusing on its design, dynamics, and control strategies. By investigating the interplay between parallel manipulator mechanisms and advanced control techniques, we seek to enhance the performance, accuracy, and versatility of these robotic systems. The integration of MPC into parallel manipulator control

offers the potential to address challenges related to trajectory tracking, obstacle avoidance, and efficient energy utilization.

The mathematical model presents a systematic framework for understanding and controlling the motion of a parallel manipulator. It defines the mathematical relationships governing the movement of carriages based on input coordinates, providing equations that relate the coordinates (x, y) to the positions of the carriages S_1 and S_2 . These equations establish the connection between input coordinates and carriage positions, laying the foundation for controlling the manipulator's motion [3].

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2}(S_2 - S_1) \times \sqrt{\frac{-(S_2 - S_1)^2 - 4l^2 - d^2}{(S_2 - S_1)^2 + d^2}}, \\ y &= \frac{1}{2}(S_2 + S_1) - d \times \sqrt{\frac{-(S_2 - S_1)^2 + 4l^2 - d^2}{(S_2 - S_1)^2 + d^2}} \end{aligned} \quad (8)$$

The transformation of angles into stepper motor motion outlines the process of converting abstract angular concepts into specific motor actions. This transformation is essential for translating desired angular adjustments into tangible motor movements, facilitating precise control over the manipulator's motion.

The loading torque of the stepper motors is a critical parameter influencing motor performance and behavior. Understanding loading torque is essential for ensuring the stepper motor operates effectively and reliably in different applications.

$$S_1: T_{L_1} = g_1(\theta_1, \theta_2), \quad S_2: T_{L_2} = g_2(\theta_1, \theta_2). \quad (9)$$

Transforming the coordinates of a working point into the position of a stepper motor is a fundamental process in control systems and robotics. It involves converting abstract spatial coordinates into specific motor movements that drive the system to desired locations. This transformation bridges the gap between conceptual positions and actionable instructions for the stepper motor, enabling precise control over the manipulator's motion.

The control vector u is a multidimensional array of variables guiding the system's trajectory. Each element of the control vector corresponds to a distinct aspect of motion control, contributing to the overall control strategy for the system.

The state vector q comprises variables defining the current state of the system. These variables include angles, driver currents, and their derivatives, providing insight into the system's dynamics and behavior. A mathematical model in the form of a state space was obtained. It allows encapsulation of system dynamics and control inputs.

The Model Predictive Control (MPC) strategy outlined provides a robust framework for steering dynamic systems along precise trajectories by optimizing control inputs to minimize a quadratic cost function over a defined time horizon.

The objective is to minimize a quadratic cost over the time horizon, consisting of a state cost and a control input cost. The state cost represents deviations from a reference trajectory, while the control input cost penalizes deviations from reference inputs.

$$\begin{aligned} \min_{u_1 \dots u_6} \int & \left(\overline{\Delta q^T} Q \Delta \vec{q} + \overline{\Delta u^T} R \Delta \vec{u} \right) dt, \\ \text{subj. to } & \dot{\vec{q}} = A\vec{q} + f(\vec{q}) + B\vec{u}, \\ & \vec{y} = C\vec{q}, \\ & 0 \leq u_1, u_4 \leq H, \\ & |u_2, u_5| < V_{\max}, \\ & |u_3, u_6| < a_{\max}, \\ & 0 \leq q_1, q_5 \leq H, q_2, q_6 \leq i_{\text{driver max}}. \end{aligned} \quad (10)$$

The system dynamics are governed by a differential equations in state space.

$$\dot{\vec{q}} = A\vec{q} + f(\vec{q}) + B\vec{u}, \quad (11)$$

$$\vec{y} = C\vec{q}, \quad (12)$$

Constraints ensure the practicality of control inputs and state variables. Control inputs u_1 and u_4 are confined within the range $[0, H]$, while the rates of change in control inputs are bounded by $V_{\max}$ and $a_{\max}$. State variables q_1 and q_5 are constrained within $[0, H]$, and q_2 and q_6 are limited by $i_{\text{driver max}}$.

The optimization problem is solved over a finite time horizon, predicting state and control input trajectories for a future period. Overall, MPC enables optimal decision-making and responsive control by leveraging predictive models and optimization techniques, making it applicable across a wide range of industries and

applications. The mathematical model provides a rigorous framework for understanding and controlling the motion of parallel manipulators, laying the groundwork for further analysis and optimization.

In conclusion, the integration of Model Predictive Control (MPC) into parallel manipulator systems offers a promising avenue for advancing their control capabilities and performance across various applications. Through a comprehensive exploration of the fundamental principles underlying parallel manipulators and the predictive power of MPC, this paper has highlighted the potential benefits of merging these technologies.

REFERENCES:

1. Parallel Manipulators Applications. Modern Mechanical Engineering. 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/235456946_Parallel_Manipulators_Applications-A_Survey.
2. Nilova D. Analysis of the Kinematics Problems of a Two-Drive Mechanism with a Parallel Structure / D. Nilova, A. Rudakova, H. Rudakova. // Proceedings of the X All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists on Automatic Control Dedicated to the Day of Astronautics. – 2023. – pp. 49–52.
3. Xu W. Derivation of Transmission Function Model of Two-phase Hybrid Stepping Motor / W.Xu, J.Yan. // SPACE ELECTRONIC TECHNOLOGY. – 2011. – №3. – pp.50–53.
4. Neural Network Model for Laboratory Stand Control System Controller with Parallel Mechanisms / [V. Shymkovych, A. Rudakova, Y. Lebedenko et al.]. // Advances in Computer Science for Engineering and Education VI. ICCSEEA 2023. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Springer. – 2023. – № 181. – pp. 47–58.

ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ З ПРОГНОЗУЮЧОЮ МОДЕЛЮ ДЛЯ ДВОПРИВОДНОГО МАНІПУЛЯТОРА ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Антоніна Рудакова¹, Юрій Лебеденко², Ганна Рудакова³, Дар'я Нілова³

¹Університет Ватерлоо, Канада

²Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

³Херсонський національний технічний університет, Україна

Анотація. Ця робота має на меті поповнити сукупність знань про паралельні маніпулятори та керування ними, використовуючи методи керування з прогнозуючою моделлю. Ми прагнемо детально дослідити кінематику, динаміку та стратегії керування паралельними маніпуляторами, щоб відкрити можливості для підвищення продуктивності, гнучкості та точності цих робототехнічних систем..

Ключові слова: *каркасна установка, маніпулятор, прогнозуюча модель, паралельна структура, система керування.*

ЛІТЕРАТУРА

1. Parallel Manipulators Applications. Modern Mechanical Engineering. 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/235456946_Parallel_Manipulators_Applications-A_Survey.
2. Нілова Д.А. Аналіз задач кінематики двохприводного механізму з паралельною структурою. / Д.А. Нілова, А.А. Рудакова, Г.В. Рудакова // Матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню ракетно-космічної галузі України: Збірник наукових праць. – Херсон-Хмельницький: Вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2023. - С. 49-52.
3. Xu W. Derivation of Transmission Function Model of Two-phase Hybrid Stepping Motor / W.Xu, J.Yan. // SPACE ELECTRONIC TECHNOLOGY. – 2011. – №3. – pp.50–53.
4. Neural Network Model for Laboratory Stand Control System Controller with Parallel Mechanisms / [V. Shymkovych, A. Rudakova, Y. Lebedenko et al.]. // Advances in Computer Science for Engineering and Education VI. ICCSEEA 2023. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Springer. – 2023. – № 181. – pp. 47-58.

СПРОЩЕНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ НАВАНТАЖЕННЯ В ЗАМКНЕНІЙ МЕРЕЖІ КОМУТАЦІЇ ПАКЕТІВ

Лабуткіна Т.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Анотація. Розроблено підхід до спрощеного імітаційного моделювання навантаження мережі пакетної комутації. В основу імітаційного представлення мережевих процесів покладено спрощену математичну модель мережі комутації пакетів, яка базується на дискретизованому описі станів завантаження вузлів мережі та відповідає представленню поточного стану мережі в задачах управління її навантаженням. Зміна стану заповнення вузла моделюється як процес розмноження та відмирання, а в моделі повного навантаження враховуються два фактори зміни: обмін вузла навантаженням з користувачами мережі та транзитний потік навантаження, що проходить через нього. Для дослідження штучно виділеної "частини процесу функціонування мережі" - запропоновано підхід до моделювання транзитного навантаження в мережі з блокуванням навантаження. Підхід дозволяє здійснити значні спрощення та забезпечує нівелювання негативного впливу спрощень на "замикання навантаження" (забезпечує виконання правила постійної величини навантаження в замкненій мережі). Розроблена імітаційна модель, по-перше, створює основу для вдосконалення повної моделі, а по-друге, є зручною для відпрацювання алгоритмів маршрутизації при аналізі їх з точки зору показників здатності "впливати" на навантаження в мережі. Отримані результати є узагальненими, але увага зосереджена на прикладі супутникових мереж пакетної комутації.

Ключові слова: навантаження мережі пакетної комутації, вузол мережі зв'язку, потоки навантаження, потік подій, імітаційне моделювання

Translated with DeepL.com (free version)Сучасний світ покривають мережі зв'язку з технікою комутації пакетів. Одна з задач забезпечення ефективного функціонування мереж комутації пакетів – керування її навантаженням. Частина цієї задачі пов'язана з керуванням проходженням навантаження через вузол. Друга частина цієї задачі пов'язана з керуванням даними, що передаються у мережі). В цій роботі зосередимо увагу на задачі маршрутизації даних. Задача маршрутизації даних у мережі вирішується вже багато десятиків років, спирається на класичні методи і алгоритми маршрутизації, розвивається з врахуванням рівнів пріоритетності навантаження, забезпечує доповнення

«простих» алгоритмів (можна говорити – класичних) застосуванням алгоритмів штучного інтелекту. Але розвиток підходів, методів, алгоритмів, які лежать в основі «простого протокольного» управління мережними процесами залишається актуальним.

Керування процесами маршрутизації даних здебільшого засновано на застосуванні маршрутних таблиць і алгоритмів вибору шляху найменшої вартості, на основі яких ці таблиці побудовані. Таким чином, в реалізації задачі маршрутизації можна побачити дві складові. Перша складова – це застосування алгоритмів вибору шляху найменшої вартості, які реалізуються при визначеному за прийнятими правилами стану мережі (зокрема, при визначених вартостях елементарних ліній зв'язку, які поєднують суміжні вузли мережі). Друга складова керування маршрутизацією даних у мережі полягає у реалізації правил представлення спрощеного дискретизованого визначення стану мережі у числових значеннях, які виражають опосередковану оцінку тих факторів, які потребують зміни впливом керування (зокрема – правил призначення вартостей елементарним лініям зв'язку [1]).

На сьогоднішній день моделі, які описують навантаження мережі комутації пакетів можна розділити на два великих класи [2]. В моделях першого класу (моделях «високої точності») моделювання здійснюється «з точністю до блоку даних» (пакету): моделюється входження кожного пакету у мережу, його розмір, адресація і поточний шлях. Моделі другого класу в базовій основі мають запропоноване Л. Клейнроком спрощення про зміну розміру пакету в кожному вузлі на його шляху (за правилами, визначеними відповідною статистичною моделлю). При такому спрощенні можливий перехід до моделювання потоків навантаження (перехід до потокових моделей). Потокових моделей багато, їх також можна класифікувати, вони активно розвиваються.

В багатьох випадках можна говорити, що в потоковій моделі реалізується «наскрізне представлення» потоків через мережу та враховуються їх суперпозиції. Але можливий підхід максимального рівня спрощення, коли у кожному j -у вузлі в простіший спосіб моделюються дві складових

навантаження: потоки обміну навантаженням з користувачами та потоки обміну транзитним навантаженням. В роботі [3] була представлена спрощена імітаційна модель мережі, яка заснована на дискретизованому опису станів навантаження вузлів мережі і відповідає представленню поточного стану мережі в задачах управління її навантаженням. Згідно запропонованому підходу до моделювання в мережі з N вузлів обсяг накопичувача кожного j -го вузла розділений на N_u рівні. Номер рівню q_j , що заповнюється в накопичувачі j -го вузла, назвемо станом вузла. Таким чином, кількісне значення q (q_j для j -го вузла) може бути в діапазоні від 0 (повністю пустий вузол), до $(N_u + 1)$ (вузол у стані блокування), таким чином $q = \overline{0, (N_u + 1)}$. Прийнято, що моделюється зміна стану вузла, яка відбувається як процес розмноження і загибелі (перехід зі стану q можливий тільки до сусідніх станів $(q - 1)$ і $(q + 1)$ в межах діапазону значень $q = \overline{0, (N_u + 1)}$; інтервал часу між переходами між сусідніми станами має експоненціальний закон розподілу з параметром λ). Таким чином, моделюється пуассоновський потік зміни стану завантаження вузла λ . Цей пуассоновський потік можна розкласти на чотири складові (чотири пуассоновських потоки подій): перші дві – це потоки змін завантаження вузла у більший і менший бік, що викликані взаємодією з користувачами (параметри цих потоків λ_{cbj} і λ_{csj} відповідно); другі два – це потоки змін завантаження вузла у більший і менший бік, спричинені рухом через вузол транзитного навантаження (параметри цих потоків λ_{tbj} і λ_{tsj} відповідно). Суттєвий момент, що згідно моделі, представленої у роботі [3], параметри потоків подій λ_{cbj} і λ_{csj} та λ_{tbj} і λ_{tsj} змін станів заповнення накопичувача у більший або менший бік (еквівалентно – параметри потоків вхідного і вихідного навантаження) виражені у кількості змін заповнення накопичувача на одиницю часу. Саме це буде застосовано для вдосконалення описаної моделі, її розвитку. При цьому будемо розглядати тільки частину моделі, зокрема – навантаження в замкненій за навантаженням мережі (навантаження є в мережі, розподілене між вузлами, рухається в мережі за прийнятими правилами, але вхід і вихід навантаження – відсутні).

В моделі [3] вважалося, що навантаження виходить з накопичувача з незмінною максимальною інтенсивністю λ_{tbj} ($\lambda_{tbj} = \lambda_b$). Це давало модельні втрати навантаження. Для уточнення моделі приймемо, що при значеннях стану завантаження вузла $q = \overline{q_m, (N_u + 1)}$ транзитне навантаження виходить з j -го вузла з незмінною максимальною інтенсивністю (параметр потоку навантаження, яке виходить з вузла, $\lambda_{tsj} = \lambda_b$, $\lambda_b = \text{const}$). Якщо стан вузла $q < q_m$ (підхід до визначення q_m буде сформульований далі), то значення параметра вихідного навантаження λ_{tsj} буде у межах $0 \leq \lambda_{tsj} < \lambda_b$. Для забезпечення збереження цілісності навантаження в мережі застосуємо найбільш простий, відомий, досить грубий прийом. Знайдемо надлишковий модельний вихід навантаження з мережі і розділимо його між всіма недовантаженими вузлами (слабко навантаженими вузлами). На момент часу t (який вважається моментом відбуття події зміну стану заповнення накопичувача вузла) знаходиться сума параметрів потоків S_{tb} , значення яких відповідали входженню навантаження у вузли мережі до моменту t (можна для визначеності записати – в момент $(t - \Delta t)$)

$$S_{tb} = \sum_{j=1}^N \lambda_{tbj} \quad (1)$$

Знаходиться сума параметрів потоків максимального виходу з заповненого вузла $S_{t \max s}$

$$S_{t \max s} = N \lambda_b \quad (2)$$

Визначається надлишковий вихід R як різниця значень S_{tb} і $S_{t \max s}$

$$R = S_{tb} - S_{t \max s} \quad (3)$$

Ця різниця має бути розділена на кількість N_e вузлів ($N_e \leq N$), з яких виходить потік навантаження з параметром, меншим за λ_b . Вузли, які належать до названої групи з N_e вузлів, легко знайти, коли параметр потоку виражений у кількості змін рівнів заповнення накопичувача. З j -го вузла буде виходити потік навантаження, менший за максимальний, якщо кількість q_j заповнених рівнів його накопичувача менша, ніж виходить з вузла у одиницю часу, тобто менша за значення λ_b ($q_j < \lambda_b$). Вираз параметрів потоків вхідного і

вихідного навантаження у кількості заповнених рівнів накопичувача дає зробити таке порівняння. Задля корегування надлишкового навантаження приймемо (досить грубе) припущення, що корегування надлишкового виходу навантаження буде однаковим для всіх недовантажених вузлів. Для корегування будемо вважати, що з i -го недовантаженого вузла виходить навантаження з параметром λ_{tsi}

$$\lambda_{tsi} = \lambda_b - R / N_e \quad (4)$$

Узагальнено розрахунок параметрів вихідного навантаження можна представити так

$$\lambda_{tsj} = \begin{cases} \lambda_b, & \text{якщо } q_j > \lambda_b \\ \lambda_b - R / N_e, & \text{якщо } q_j \leq \lambda_b \end{cases} \quad (5)$$

Такий підхід забезпечує моделювання з невисокою адекватністю (моделювання тим грубіше, чим більша кількість вузлів N_e), але замкненість навантаження (коректність моделі) буде забезпечена.

ЛІТЕРАТУРА

1. Албул А.С. Обоснование модели маршрутизации для многоспутниковых LEO систем высокоскоростной передачи данных. / А.С. Албул, М.Ф. Бабаков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2016, № 6 (80). – С. 181-187.
2. Лабуткина Т.В. Имитационные модели спутниковой сети коммутации пакетов на основе комбинирования моделей разной точности. / Т.В. Лабуткина, А.А. Тихонова, А.В. Борщёва, Р.С. Косий, А.И. Лукашевич // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. Збірник наукових праць. Том XIX 2015 С. 98-113.
3. Лабуткина Т.В. Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов с разновысотными орбитальными сегментами / Т.В. Лабуткина, В.А. Ларин, В.В. Беликов, А.В. Борщева, А.А. Тихонова, Д.И. Деревяшкин. // Научно-технический журнал «Радіоелектронні і комп'ютерні системи». № 1 (75), 2016. С. 66-83.

SIMPLIFIED SIMULATION MODEL OF LOAD IN A CLOSED PACKET SWITCHING NETWORK

Labutkina T.

Abstract. *An approach to simplified simulation modeling of packet switching network load has been developed. The simulated representation of network processes is based on a simplified mathematical model of the packet switching network, which is based on a discretized description of the load states of the network nodes and corresponds to the representation of the current state of the network in the tasks of managing its load. Changes in the node's filling state are modeled as a process of reproduction and death,*

and in the full load model, two factors of change are taken into account: the node's exchange of load with network users and transit load flow passing through it. To study an artificially selected "part of the network functioning process" - an approach to transit load modeling in a load-locked network is proposed. The approach allows for significant simplifications and ensures the leveling of the negative impact of simplifications on "load closure" (ensures the rule of constant amount of load in a closed network). The developed simulation model, firstly, creates the basis for the improvement of the complete model, and secondly, it is convenient for working out routing algorithms when analyzing them from the point of view of indicators of the ability to "influence" the load in the network. The obtained results are generalized, but attention is focused on the example of satellite packet switching networks.

Keywords: *packet switching network load, communication network node, load flows, event flow, simulation modeling*

REFERENCES

1. Albul A.S. Obosnovanie modeli marshrutizatsii dlya mnogosputnikovyih LEO sistem vyisokoskorostnoy peredachi dannyih. / A.C. Albul, M.F. Babakov // Radioelektronni i kompiuterni systemy. – 2016, № 6 (80). – S. 181-187.
2. Labutkina T.V. Imitatsionnaya model sputnikovoy seti kommutatsii paketov s raznovyisotnyimi orbitalnyimi segmentami / T.V. Labutkina, V.A. Larin, V.V. Belikov, A.V. Borscheva, A.A. Tihonova, D.I. Derevyashkin. //// Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Radioelektronni i kompiuterni systemy». № 1 (75), 2016. S. 66-83.
3. Labutkina T.V. Imitatsionnyie modeli sputnikovoy seti kommutatsii paketov na osnove kombinirovaniya modeley raznoy tochnosti. / T.V. Labutkina, A.A. Tihonova, A.V. BorschYova, R.S. Kosiy, A.I. Lukashevich // /Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniki. Zbirnyk naukovykh prats. Tom XIX 2015 S. 98-113.

ВИЯВЛЕННЯ ШУМІВ У ФРАКТАЛЬНИХ ЧАСОВИХ РЯДАХ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Кіріченко Л.О., Авсітідійський М. М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

Анотація. Дослідження спрямоване на розробку методу для оцінки рівня шуму у реалізаціях фрактального броунівського руху за допомогою методів машинного навчання. Було запропоновано метод класифікації траєкторій фрактального броунівського руху з різними рівнями адитивного шуму із застосуванням згорткової нейронної мережі. Згенеровані фрактальні часові ряди з шумом були використані як вхідний набір даних. Шумові компоненти мали різні значення дисперсії, що дозволило дослідити вплив рівня шуму на систему. Результати свідчать о ефективності використання методів машинного навчання для оцінки шуму у фрактальних системах.

Ключові слова: фрактальний броунівський рух, рівень шуму, згорткова нейронна мережа

Фрактальний броунівський рух (ФБР) представляє собою випадковий процес, що виявляє самоподібність на різних масштабах. Він є важливим інструментом для моделювання різних складних процесів, таких як фінансові ринки, технічні, інформаційні та природні явища [1]. Проте, коли система, що може бути описана ФБР, діє в реальних умовах, вона піддається адитивному шуму. Наприклад, до ціни активів на фінансових ринках яка має фрактальну структуру через складний хаос та випадковість цінових змін, можуть бути додані адитивні шуми внаслідок впливу економічних подій або торговельних операцій. Часові ряди у виробництві можуть мати фрактальну структуру через складні взаємодії між різними факторами, і шум може виникати внаслідок випадкових помилок чи нестабільності обладнання. Загальноно відомо, що часові ряди в медичній діагностиці, такі як електрокардіограми або електроенцефалограми, мають фрактальну структуру через складний характер біологічних процесів. До цього може бути доданий адитивний шум через випадкові артефакти або електричні перешкоди. У кожному з цих випадків адитивний шум ускладнює аналіз даних та виявлення корисних сигналів, що може вимагати використання спеціалізованих методів обробки сигналів.

Задача виявлення шумів у фрактальних часових рядах є важливою і складною, оскільки шуми можуть мати різну структуру, і їх вплив на фрактальну природу даних може бути важко розрізнити. Аналізуючи та виявляючи рівень шуму в таких рядах, ми можемо суттєво поліпшувати якість даних і подальшу роботу з ними [2]. Це особливо важливо в контексті застосування фрактальних часових рядів у різних галузях, таких як наука, медицина, фінанси та інші [3]. Автоматичне виявлення та виділення важливих ознак, таких як рівень зашумленості, у зображеннях з фрактальною структурою може значно поліпшити роботу у цих галузях.

Одним з потенційних інструментів для виявлення шумів у фрактальних часових рядах є методи машинного навчання, зокрема згорткові нейронні мережі [4]. Згорткові нейронні мережі є потужним інструментом у сфері обробки зображень та аналізу візуальних даних. Їх особливість полягає у використанні шарів згортки і пулінгу, що дозволяють автоматично впізнавати ключові ознаки на зображеннях, такі як форми, текстури та риси. Це робить їх ефективними для різноманітних завдань, таких як розпізнавання об'єктів, виявлення шаблонів та класифікація зображень. Вони можуть розпізнавати абстрактні особливості на різних рівнях абстракції, розбиваючи складний набір даних на менші та більш легкі для розуміння компоненти. Це робить їх ефективним інструментом для розпізнавання складних шаблонів та виявлення відмінностей у багатьох задачах, пов'язаних з фрактальними часовими рядами.

У даній роботі проведено розпізнавання рівня зашумленості коротких фрактальних рядів на основі їх графічного зображення. Запропоновано метод класифікації траєкторій фрактального броунівського руху з різним рівнем адитивного шуму за допомогою згорткової нейронної мережі. В якості вхідного датасету було використано змодельовані часові фрактальні ряди з адитивним шумом. Шумова складова була згенерована з різними значеннями дисперсії, що дозволило досліджувати вплив рівня шуму на систему та її середовище.

Для тренування нейронної мережі було подано візуальні зображення траєкторій фрактального броунівського руху з різним значенням показника самоподібності і різними рівнями доданого шуму. Кожне зображення з

тренувальної вибірки було промарковано як один із чотирьох класів в залежності від значень його дисперсії, тобто різними рівнями шуму.

На рис. 1 показано реалізації фрактального броунівського руху з різним ступенем зашумленості, що відпоівдають двом різним класам: з мінімальним та максимальним рівнем шуму.

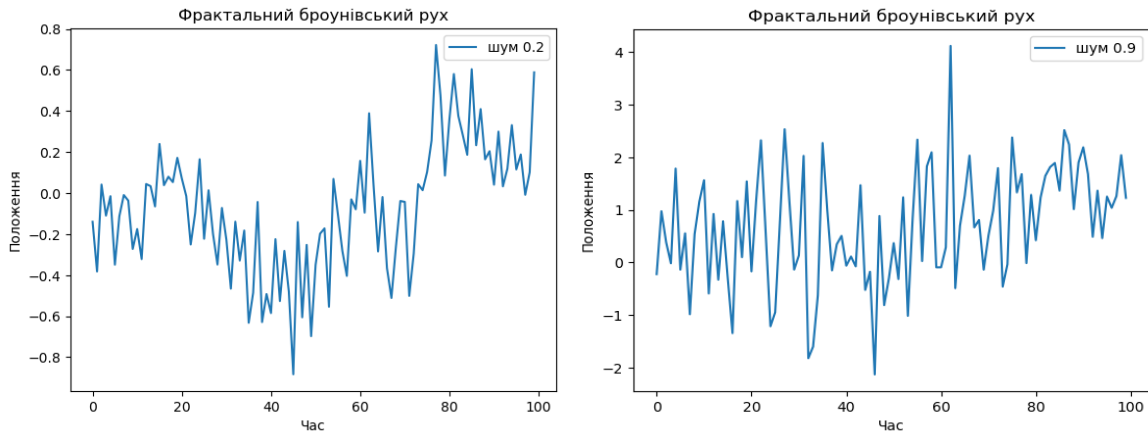


Рисунок 1 – Траєкторії фрактального броунівського руху з мінімальним (ліворуч) та максимальним рівнем шуму (праворуч),

Після тренування моделі на навчальному наборі часових рядів було проведено оцінку її ефективності за допомогою тестового набору даних. Результати показали, що модель добре справляється з класифікацією зображень за рівнем шумової компоненти, що свідчить про її потенційну застосовність у різних областях аналізу фрактальних структур та виявлення шумів у коротких часових рядах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lyudmyla Kirichenko, Tamara Radivilova, and Vitalii Bulakh. Machine Learning in Classification Time Series with Fractal Properties. Data, Vol.4, issue 1, 5, pp.1-13, 2019.
2. José R. León, Alain Latour, Corinne Berzin (2014). Inference on the Hurst parameter and the variance of diffusions driven by fractional Brownian motion (lecture notes in statistics, 216). Springer.
3. Robert H. Shumway. David S. Stoffer: (2011) Time Series Analysis and Its Applications With R Examples. Springer
4. Eli Stevens. Luca Antiga. Thomas Viehmann (2020). Deep Learning with PyTorch. Manning.

DETECTING NOISE IN FRACTAL TIME SERIES USING MACHINE LEARNING

Lyudmyla Kirichenko, Mykyta Avsitidiiskyi

Abstract. *This study concentrates on devising a method to evaluate the level of noise in fractal Brownian motion through machine learning methods. A method for classifying trajectories of fractal Brownian motion with varying levels of additive noise using a convolutional neural network has been proposed. Modeled fractal time series with additive noise were utilized as the input dataset. The noise component was generated with different dispersion values, allowing the investigation of the noise level's influence on the system and its environment. The results provide insights into the effectiveness and trustworthiness of employing these machine learning techniques for assessing noise within fractal systems.*

Keywords: *fractal Brownian motion, level of noise, convolutional neural network*

REFERENCE

1. Lyudmyla Kirichenko, Tamara Radivilova, and Vitalii Bulakh. Machine Learning in Classification Time Series with Fractal Properties. Data, Vol.4, issue 1, 5, pp.1-13, 2019.
2. José R. León, Alain Latour, Corinne Berzin (2014). Inference on the Hurst parameter and the variance of diffusions driven by fractional Brownian motion (lecture notes in statistics, 216). Springer.
3. Robert H. Shumway. David S. Stoffer: (2011) Time Series Analysis and Its Applications With R Examples. Springer
4. Eli Stevens. Luca Antiga. Thomas Viehmann (2020). Deep Learning with PyTorch. Manning.

МЕТОДОЛОГІЯ ПОЕТАПНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ПОРТФЕЛЯ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ

Басько А.В., Єршова Н.М.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Україна

Анотація. *Управління портфелем проєктів є важливим етапом життєвого циклу проєкту. Етап вибору портфелю проєкту є найважливішим у життєвому циклі портфелю. Дотепер оптимальне вирішення проблеми цієї фази не знайдено. Запропоновано методiku поетапного проєктування портфеля інвестиційних проєктів. Перший – це формування портфелю проєктів на основі методів математичного програмування та моделювання. Другий – оцінка ефективності відібраних проєктів методом аналізу ієрархій. Третє – розподіл коштів інвесторів між проєктами портфеля проєктів на основі гри з природою. Оцінка ефективності трьох проєктів здійснювалася методом аналізу ієрархій, а критеріями є такі показники ефективності: показник науково-технічної ефективності, економічний показник, соціальний показник та показник інформаційного забезпечення. безпеки. Кожен критерій має чотири підкритерії. За результатами розрахунку визначається ефективність проєктів, що дозволяє розподіляти ресурси між проєктами.*

Ключові слова: *методологія проєктування, портфель проєктів, життєвий цикл, фаза циклу, метод ієрархічного аналізу*

Вступ. Управління портфелем проєктів є важливим етапом у життєвому циклі проєкту, тому життєвий цикл портфеля проєктів можна розбити на наступні фази:

Фаза створення полягає у формуванні пулу проєктів, які потім можуть бути ініційовані та прийняті до реалізації. На цій фазі здійснюється збір проєктних (інвестиційних) ініціатив та заявок без урахування фінансових та інших обмежень організації.

Мета фази вибору портфеля проєктів - відбір проєктів у портфель з урахуванням фінансових та інших обмежень портфеля. На цій фазі з отриманого пулу потенційних проєктів обирається той портфель, який буде прийнято до реалізації.

У фазі планування портфеля проєктів здійснюється:

- запуск проєктів (призначення менеджерів проєктів, формування організаційних структур, випуск статутів проєктів);
- допланування (деталізація всіх видів планів бізнес-плану до ступеня, необхідного для успішної реалізації проєкту);
- виділення ресурсів (людей, виробничих потужностей тощо).

Фаза керування реалізацією портфеля проєктів призначена для вирішення наступних задач:

- моніторинг виконання проєктів у портфелі, аналіз відхилень при реалізації проєктів та їх впливу на залежні проєкти та портфель загалом;

- координація ресурсів - під час реалізації деякі проєкти можуть призупинятися, а їх ресурси перекидатися на інші, більш пріоритетні проєкти.

Отже найважливішою є фаза вибору портфеля проєктів. До сьогодні проблеми цієї фази не знайшли оптимального вирішення. Тому авторами було запропоновано методологію поетапного проєктування портфеля інвестиційних проєктів і вирішення задачі оцінки ефективності проєктів методом аналізу ієрархій [1].

Основний матеріал. Білозеров А. у роботі «Управління портфелем проєктів. Нові методологічні підходи та інструменти» розглядає методологічні підходи до управління портфелем проєктів на усіх фазах його життєвого циклу. Фаза вибору портфеля проєктів є найбільш складна, тобто відбір проєктів у портфель з урахуванням фінансових та інших обмежень портфеля. На цій фазі серед отриманого переліку потенційних проєктів обирається той портфель, який буде прийнято до реалізації. Тут вирішуються задачі: формування оптимального портфеля проєктів, оцінка ефективності відібраних проєктів та розподіл коштів інвесторів між проєктами портфеля проєктів.

Нами пропонується методологія поетапного проєктування портфеля інвестиційних проєктів, що виглядають наступним чином:

Формування портфеля проєктів на основі методів математичного програмування та моделювання.

Оцінка ефективності відібраних проєктів методом аналізу ієрархій.

Розподіл коштів інвесторів між проєктами портфеля проєктів на основі гри з природою.

Нині метод аналізу ієрархій завдяки своїй універсальності застосовується у багатьох сферах діяльності серед яких економічна, соціальна, політична технічна та технологічна сфера. В роботах [2-4] наведено постановки задач різного роду і вирішення простіших з них практично вручну методом аналізу ієрархій.

Отже, з'являються висновки, що метод дуже складний і його не можна використовувати для вирішення складних проблем. Автор роботи [5] створив матричний метод аналізу ієрархій в середовищі Excel з допомогою матричних функцій. В цій роботі наведено вирішення багатьох прикладів з раніше приведених робіт.

Вирішення задачі оцінки ефективності проєктів методом аналізу ієрархій розглянемо на прикладі [6]. Існує три альтернативні проєкти A1, A2, A3 з портфеля

проектів, ефективність яких потрібно оцінити. Критеріями є показники ефективності: загальний показник (ЗП), показник науково-технічної ефективності (НТ), економічний показник (Е), соціальний показник (С) та показник забезпечення інформаційної безпеки (ІБ).

Критерій НТ залежить від:

- науково-технічного рівня (НТР);
- наявності нових проривних технологій (ПТ);
- технологічних засобів (СРТ);
- підвищенням рівня кваліфікації персоналу (РКП);

Економічний показник (Е) залежить від:

- нормою прибутковості (НД);
- перспективності (П);
- чистим дисконтованим доходом (ЧДД);
- коефіцієнтом фінансової автономності проекту (КФ);

Соціальний показник (С) залежить від:

- рівнем впливу на діяльність громадських та молодіжних організацій (ДО);
- сприянням розвитку малого та середнього бізнесу (МСБ);
- ступеня міжнародної кооперації (МК);
- збереження та збільшення робочих місць у галузі та державі (РМ);

Показник забезпечення інформаційної безпеки (ІБ) залежить від:

- сприяння розвитку технологій та та сприяння вирішенню проблем глобальної та регіональної безпеки (РПБ);
- ступінь важливості для вирішення завдань ІБ (СВ);
- потенційного масштабу практичного використання (МПІ);
- ймовірності досягнення позитивних результатів (ДР);

Було створено ієрархічну модель, що зображена на рис. 1.

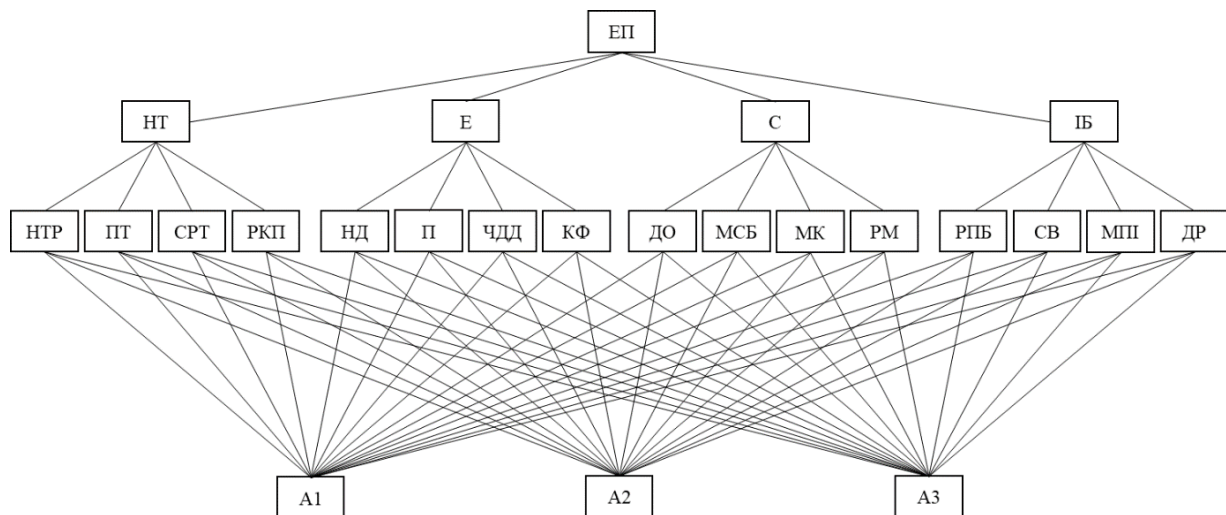


Рисунок 1 – Ієрархічна модель проблеми оцінки ефективності проєктів

У цій задачі проєкти є альтернативами і утворюють четвертий рівень ієрархії. Критеріями є: показник науково-технічної ефективності, економічний показник, соціальний показник та показник забезпечення інформаційної безпеки. Критерії утворюють другий рівень ієрархії. У свою чергу критерії залежать від підкритеріїв, які утворюють третій рівень ієрархії. Вершиною ієрархії є мета – ефективність проєктів (ЕП). Для ієрархії складається 21 матриця: 1 – для другого рівня; 4 – для третього рівня та 16 – для четвертого рівня. Дослідження виконуються в Microsoft Excel.

На фінальному кроці оцінюється вплив альтернатив на загальну мету, що виконується в три етапи:

- оцінка впливу альтернатив на підкритерії;
- оцінка впливу альтернатив на критерії;
- оцінка впливу альтернатив на загальну мету.

У результаті отримуємо узагальнений (глобальний) вектор пріоритетів проєктів стосовно кінцевої мети – ефективності проєкту. Що дозволяє кількісно розподіляти ресурси між проєктами.

Висновок. Отже аналіз життєвого циклу портфеля проєктів показує, що найважливішою фазою є вибір портфелю проєктів. Тому було запропоновано методологію поетапного проектування портфеля інвестиційних проєктів, що включає в себе: формування портфеля проєктів на основі методів математичного програмування та моделювання, оцінка ефективності відібраних проєктів методом аналізу ієрархій та розподіл коштів інвесторів між проєктами портфеля на основі гри з природою.

Відповідно до запропонованої методології було приведено приклад практичної оцінки ефективності трьох проектів. Починаючи від постановки задачі, побудовою ієрархічної моделі і закінчуючи оцінкою впливу альтернатив на ефективність проектів.

У результаті для кожного проекту була отримана ефективність, що дозволяє визначити в яких пропорціях необхідно розподілити ресурси між проектами.

Особливістю методики є використання кількісних і якісних критеріїв з багатокритеріальний розглядом альтернатив, що дозволяє отримати кількісну характеристику розподілу ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сааті Т. Прийняття рішень. Метод аналізу ієрархій. Москва: Радіо і зв'язок, 1993. 314 с.
2. Бадюл М. Г., Крамаренко В. А. Застосування методу аналізу ієрархій у проектуванні та будівництві. Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. 2013. № 70. С. 27-35.
3. Сериков А. В., Білоцерківський А. В. Метод аналізу ієрархій у прийнятті рішень: навчальний посібник. Харків: БУРУН КНИГА, 2006. 144 с.
4. Синюк В. Г., Шевирев А. В. Використання інформаційно-аналітичних технологій при прийнятті управлінських рішень: навчальний посібник. Москва: Экзамен, 2003. 160 с.
5. Ершова Н. М. Моделі та методи теорії прийняття рішень: навчальний посібник. Дніпро. 2016. 246 с.
6. Михальов А. І., Алпатов А. П., Баклан І. В. Структурний синтез систем управління проектами: навчальний посібник, за ред. О. І. Михальова. Дніпропетровськ: ІК "Системні технології", 2013. 144 с.

METHODOLOGY OF STEP-BY-STEP DESIGN OF INVESTMENT PROJECT PORTFOLIO

Basko Artem, Ershova Nina

Abstract. *Project portfolio management is an important stage in the project life cycle. The project portfolio selection phase is the most important in the portfolio life cycle. Until now, the optimal solution to the problem of this phase has not been found. A methodology for step-by-step design of a portfolio of investment projects is proposed. The first is the formation of a portfolio of projects based on mathematical programming and modeling methods. The second is the evaluation of the effectiveness of the selected projects by the method of analysis of hierarchies. The third is the distribution of*

investors' funds between the projects of the project portfolio on the basis of playing with nature. The evaluation of the effectiveness of the three projects was carried out by the method of analysis of hierarchies, and the criteria are the following performance indicators: the indicator of scientific and technical efficiency, the economic indicator, the social indicator and the indicator of ensuring information security. Each criterion has four subcriteria. The results of the calculation determine the effectiveness of projects, which allows resources to be allocated between projects.

Keywords: *design methodology, project portfolio, life cycle, cycle phase, hierarchy analysis method*

REFERENCES

1. Saati T. Decision Making. Method of analyzing hierarchies. Moscow: Radio and Communication, 1993. 314 c.
2. Badiul M. G., Kramarenko V. A. Application of the method of hierarchy analysis in design and construction. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie*. 2013. № 70. C. 27-35.
3. Serikov A. V. V., Belotserkovsky A. V. Method of hierarchy analysis in decision making: textbook. Kharkov: BURUN KNIGA, 2006. 144 c.
4. Sinyuk V. G., Shevyrev A. V. The use of information-analytical technologies in making managerial decisions: textbook. Moscow: Ekzamen, 2003. 160 c.
5. Ershova N. M. Models and methods of the theory of decision-making: textbook. Dnepr. 2016. 246 c.
6. Mikhalev A. I., Alpatov A. P., Baklan I. V. Structural synthesis of project management systems: textbook, ed. by A. I. Mikhalev. Dnepropetrovsk: IC "System Technologies", 2013. 144 c.

КОНЦЕПЦІЯ «КОГНІТИВНОЇ ОБЧИСЛЮВАНOSTІ»

Прокопчук Ю.О.

Інститут технічної механіки НАН України, Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. У статті розглядається начерк концепції "когнітивної обчислюваності". Як приклад розглядаються задачі розрізнення. Концепція заснована на парадигмі граничних узагальнень. Важливу роль відіграють глибоке несвідоме, суб'єктивна інфляція, континуум задач розрізнення і простір евристик. Глибинна диверсифікація дає змогу знайти етичні обчислювальні алгоритми. Результати дослідження можуть бути використані при створенні когнітивних агентів і роботів, а також когнітивного Інтернету.

Ключові слова: Когнітивна обчислюваність, людиноподібний інтелект, когнітивні обчислення, задачі розрізнення, парадигма граничних узагальнень, креативна агентність, асимптотична раціональність, суб'єктивний простір-час-дії, простори можливостей, логіка розмаїття

Вступ. Штучний інтелект (ШІ) — це створення комп'ютерів, які можуть робити те саме, що й розум, і в міру просування до цієї мети ми схильні дедалі частіше делегувати людські завдання машинам. Тому дуже важливо поставити питання, які особливості розуму ми відтворили, а які відсутні, і чи має це значення. Зокрема, засновник української кібернетики Віктор Глушков до головних архітектурних принципів підвищення продуктивності ЕОМ відносив мозкоподібні структури (brainlike structures: питання теорії систем, що самоорганізуються та самовдосконалюються, які мають відношення до проблеми моделювання різних функцій мозку і автоматизації розумової діяльності людини). Головною метафорою мозку і донині залишається комп'ютерна метафора з відповідними трактуваннями обчислюваності (the idea that thought is a kind of computation) [1].

У 1957 р. Дж. фон Нейман висунув гіпотезу про існування Первинної мови людського мозку (The Primary Language) [2]. Він припустив, що зовнішня мова (включаючи безліч природних і штучних мов), яку ми використовуємо у спілкуванні один з одним, може сильно відрізнятися від внутрішньої мови, яка використовується для обчислень людським мозком. Він стверджував, що ми досі не знаємо про природу Первинної мови мисленних обчислень ("What is the structure of thought?" is as central a question as any in cognitive

science) [3]. У роботі [4] стверджується, що те, як можна поєднати властивості когнітивних представлень та формальні / математичні структури значень природної мови, залишається однією із загадок когнітивної науки ("Language of Thinking").

Обчислювальна система — це будь-яка система, яка може видавати значення функції $f(x)$, дотримуючись алгоритму перетворення x в $f(x)$. Когнітивний агент реалізує багато функцій [1, 5]. Які з цих функцій можна обчислити? Існують фізичні алгоритми, які виходять далеко за межі стандартної тьюрингової моделі ("перехід від X до $F(X)$ " - Фізичний Алгоритм-Процес). Їх загальною рисою є не лише оперування фізичними предметами, а й звернення до зовнішніх фізичних процесів (середовища радикалів або агентів; концепція «інтелектуальної павутини агента» [5], [6]).

Базовими функціями розумового процесу є розрізнення (термін «розрізнення» – «difference» запровадив французький філософ Жак Дерріда). Акт (функція) розрізнення - це системоквант "миследії" когнітивної системи, базова функція спостерігача. Антрополог і філософ Грегорі Бейтсон зазначав: 'In fact what we mean by information – the elementary unit of information – is a difference which makes a difference' В роботі [5] на засадах «парадигми граничних узагальнень» (ПГУ) запропоновано деякі шляхи формалізації представлення знань, а також механізмів (алгоритмів) вирішення задач розрізнення. В доповіді пропонуються уточнення «Первинної мови мисленних обчислень», зокрема формальних моделей розрізнення.

Основний матеріал. Будь який образ представлений мережею начерків (Self-Modeling Network Models; Explanatory power by vagueness). Мережа мереж начерків формує ментальну сферу (холархія), базовими характеристиками якої є цілісність або узагальнена заплутаність та духовність (Spirit Ontologies; Fast Mapping of Words / Sketches to Meaning). Подібна здатність не тільки зумовлює творчість, а й створює ілюзію глибини, нескінченності, безперервності суб'єктивної реальності.

Під Z-задачею розрізнення будемо розуміти встановлення результату $z \in Z = \{1; 2; 3; \dots; N\}$, де $N \geq 2$. Z-задачами розрізнення можуть бути завдання

діагностики, розпізнавання, прогнозування, вибору управління, прийняття рішень (Z-task). Нехай $\{\tau\}$ – повний набір тестів («атомних почуттів») у межах банку тестів $\{G(\tau)\}$. Ідеальною евристикою V (індуктором/inductor, bisociation, contextual combinatorial pattern, causal relation, causal judgment, causal prediction, 'direct knowing') в рамках контексту K називається системопатерн, що дозволяє встановити однозначний висновок Z-задачі розрізнення:

Кодування популяції, втілене судження | ІДМ - інтуїтивне прийняття рішень, аудит | Конструювання / символ / мозок, готовий до мови: Нейролінгвістичні принципи, що пов'язують інтерпретацію з мовою та пізнанням, причинно-наслідкові зв'язки в дискурсі та пізнанні | Універсальна структура мови: як мультисенсорні сигнали поєднуються для формування (мета)когнітивних суджень | Схеми аргументації; візуальна теорія мови | Розуміння мови як "форми/процесу": широка концепція мови розкриває "спосіб мислення" | Мовне відчуття, відчуття форми, "формально-логічне відчуття", відчуття причинно-наслідкових зв'язків | Логіка мислення, основна мова думки: "ментальні вирази" | Епістемічні почуття та епістемічні емоції | Синтетичне та асоціативне мислення | Ментальні образи - моторні образи, відношення "намір - дія":

$$V = (f/\mu: \{\underline{a}/A\} \rightarrow_e \underline{z}/Z), \quad \exists \alpha(\{\underline{t}/T\}_\alpha, \underline{z}/Z) \in \Omega(Z): \{\underline{a}/A\} \subseteq \{\underline{t}/T\}_\alpha, \quad (1)$$

$\mu \in \{\mu\}_V$; if $e(V)=1$ then Incubation($\{A\text{-Task}\}$) & Incubation($Z\text{-Task}\}$) & IDM($\{A\text{-Task}\}$) & IDM($Z\text{-Task}\}$) & JuryOfIntuition,

$$V = (f/\mu: \{\underline{a}\} \rightarrow_e \underline{z}), \quad V = (f/\mu: \{Cog(\underline{a}, P_a)\} \rightarrow_e Cog(\underline{z}, P_z)) \quad (2)$$

WaveGeneration(V), CausalPower(V),

$$\text{Context: } \{Narr\}_{Z\text{-Task}} \{LAoT\}_{Z\text{-Task}}; \text{ if } e(V)=1 \text{ then } e([\text{Context}])=1.$$

Компактний запис: $V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z)$ або $V(\{\underline{a}/A\}, e/E, \{\mu\}_V, \underline{z}/Z)$, де e/E – потрібні ресурси, $\{\mu\}_V$ – механізми реалізації, зокрема, алгоритми; $\alpha(\{\underline{t}/T\}_\alpha, \underline{z}/Z)$ прецеденти в базі прецедентів $\Omega(Z)$. Тести $\{\underline{a}/A\}$ відіграють роль асоціативної основи; $\underline{z}/Z$ – центр індукції. Спрацювання евристики V (індуктора) не тільки активізує результат $\underline{z}/Z$, але одночасно запускає «дозрівання/інкубацію» та імпліцитне рішення Z-задачі розрізнення, а також $\{A\text{-Task}\}$, реалізуючи внутрішній аудит потоків інформації («м'який вимір» або "Журі інтуїції",

концепція "континууму задач", System 0 – «глибоке несвідоме»). Z-задачі розрізнення формує будь якій домен тесту.

Інкубація вимагає залучення енергії, величина якої може залежати від показника продуктивності «успіх завдання» ("task success"). Процес інкубації частково описується "стрілою пізнання" (the dynamics of information as a basis for logic). Повна модель Z-Task описана у [5]. Активізація будь-якої евристики викликає нелокальні ефекти, наприклад, як генерації хвиль активності специфічних візерунків в мережі мереж начерків. Для цього використовується оператор WaveGeneration($\bullet$). Нотація $Cog(\underline{a}, P_{\underline{a}})$ означає активізацію всього кога. $\{LAoT\}_{Z-Task}$ – всі локальні «стріли часу», пов'язані з рішенням Z-Task у минулому (емпіричний досвід: під час вирішення завдання могла перевірятися евристика $V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z)$); $\{Narr\}_{Z-Task}$ – всі наративи простору наративів. Subjective Space-Time-Action (SSTA) дозволяє реалізувати «екологічну раціональність», відбираючи лише ті евристики, які є максимально комплементарними навколишньому середовищу. Актуалізація Контексту є одним з проявів духовності.

Експертні знання відрізняються тим, що багато евристик якимось чином підтверджено (багатий досвід): $V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z, f/\mu) = V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z, \{LAoT\}_V \vee \{Narr\}_V \vee \{Radical\}_V \vee Pos-Space_V \& Psi-Practice_V)$, де $Pos-Space_V$ – Простір можливостей; $Psi-Practice_V$ – Пси-практика, яка включає в себе когнітивні інструменти подолання застрявання, глухого кута (experiencing and resolving impasse). У цьому запорука феноменальної адаптивності людини, яка недосяжна нині для штучних систем.

Евристики є важливою частиною узагальненої заплутаності разом з наративами та «стрілами часу». Імпліцитні евристики з урахуванням мереж начерків і патернів можуть бути основою «мови мислення», формуючи логічну схему думок, «фраз», аргументів. У процесі еволюції (абстрагування, символізації) такі схеми-знаки стали основою прото-мови, що запустило маховик культурної еволюції, що саморозкручується. Евристики $V(\{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z)$, нарративні схеми $\langle \{\underline{a}/A\}, \underline{z}/Z, f/\mu, \varepsilon \rangle$ як емоційні

«mentalese expressions» (Purposefulness of Thought) дозволяють ствердно відповісти на запитання «Can rational thought exist without language?».

Евристики породжують необмежену різноманітність ідей-патернів досягнення мети, що є важливим проявом світоподібності (open-ended repertoires of skills). Справді, евристику $V(\{a/A\}, z/Z)$ можна інтерпретувати наступним чином (language-as-action view; Dynamic Syntax Sketch: Becoming syntactic; Truthmaker semantics for natural language):

Якщо будуть досягнуті підцілі $\{a/A\}$, то за достатньої енергії (ситуативних ресурсів-механізмів) буде досягнуто мети z/Z .

В основі мови думки, окрім евристик, лежать також фрагменти послідовностей із SSTA, Простору наративів, Простору трансформацій (існування неграматичних, але прийнятних виразів; Problems and Mysteries of the Many Languages of Thought; Morphological / Morphogenetic Embodied Computation). З такої точки зору розуміння речення може пояснюватися нашою здатністю перекладати речення на мову думки. ПГУ дає обґрунтування об'єднуючої теорії/формалізму мовного значення із загальної біологічно-інтегративної точки зору. У будь-якому випадку, ПГУ дозволяє сформулювати відкриті дослідницькі питання для когнітивної науки стосовно різновидів правил і уявлень, що лежать в основі різних систем на основі LoT.

Множина механізмів виконання патернів відкрита і дуже динамічна, тобто ситуативно змінюється. Когнітивна система намагається всіма можливими засобами ситуативно максимізувати цю множину для кожного патерна/дії на кожному масштабному рівні (Exploring Meaning in Algorithmic Systems; "Double Helix of Action-Thoughts"; Possibility Spaces: Dexterity develops through nonlinear interaction across these scales, constraining or releasing degrees of freedom). В рамках ПГУ це може бути наступна множина $\{\mu\}_f$ (f- патерн): $\{\mu\}_{\{Ag\}}$ означає, що деякі механізми можуть бути реалізовані соціумом або агентним середовищем $\{Ag\}$; $\{\mu\}_{Self-Play}$ - за допомогою механізму Self-Play; $\{\mu\}_{ML}$ - за допомогою машинного навчання; $\{\mu\}_{Radical}$ означає, що деякі механізми можуть бути радикалами (є «чорною скринькою»); $\{\mu\}_{Replicator}$ означає, що деякі механізми можуть бути мутуючими реплікаторами; $\{\mu\}_{SSTA}$ означає, що деякі

механізми або схеми дій будь-якого масштабу можуть бути вилучені з досвіду (SSTA - Subjective Space-Time-Action); $\{\mu\}_{\text{SoN}}$ означає, що деякі механізми або схеми дій будь-якого масштабу можуть бути вилучені з локального або глобального простору наративів (Space of Narratives - SoN). За допомогою мереж начерків аналізуються фазові простори когнітивної динаміки, що розширюються (Expanding Phase Space).

Один із ключових інструментів-алгоритмів інтуїтивного (швидкого, миттєвого) розв'язання задач розрізнення – це «Creative Stirring / Mixing Layer» в межах «континууму задач» (Dynamic Competition Mechanism of Instant Decision). Стверджується, що концепти «Creative Stirring / Mixing Layer», «Mixed Layer Depth» відіграють важливу роль при вирішенні задач розрізнення та моделюванні реакції на події-спостереження в рамках Subjective Space-Time-Action [5]. В доповіді розглядається практичний механізм «Creative Stirring / Mixing Layer» при рішенні будь якої задачі розрізнення. Запропонована схема реалізує динамічний конкурентний механізм миттєвого прийняття рішень, завдання якого забезпечити «виживання» та досягнення цілей когнітивної системи в агресивному та невизначеному середовищі. Таким чином, модель демонструє як використання стохастичності може стати основою креативного агентства (creative agency).

Висновки. Для розуміння механізмів розуму, творчості, інтуїтивного мислення принципово важливо, що на основі обмеженої первинної інформації спонтанно виникає вирішення великої кількості задач, які усвідомлено не ставились. Цей феномен названо "континуумом задач". Не всі імпліцитно вирішені задачі отримують фокус уваги («мозок» знає набагато більше, ніж ми усвідомлюємо). Така ситуація має місце у «Artificial Cognitive Systems» з функцією «континуум задач»: перманентно «дозріває» інструментарій вирішення безлічі задач; на основі даних нової ситуації вирішується велика кількість задач, які користувач міг і не ставити; користувач може скористатися деякими результатами, переглядаючи список вже вирішених завдань.

Суб'єктивна інфляція мереж начерків дозволяє імпліцитно знаходити більш досконалі (робастні, інваріантні), економні та стабільні моделі знань та

поведінки, забезпечуючи глобальну анти-крихкість (критичні начерки; досконалість).

ПГУ-концепти «Body-Connectome-Cognitome-Interactome», «Continuum of Tasks», «Creative stirring / mixing layer», «Jury of Intuition» та «неконтрольоване навчання» дозволяють реалізувати когнітивні обчислення та Sensemaking platform для когнітивної робототехніки, багатоагентних технологій та когнітивного Інтернету (The Nature of the Psyche: The Architecture Of The Mind; The Cognitive Architecture of Uncertainty; World-Like Systems; Spirit Ontologies, The Ethics of Algorithms; The Deep Unconscious System).

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Colombo, M., Piccinini, G. (2023). The Computational Theory of Mind. Cambridge University Press. 10.1017/9781009183734.
2. Von Neumann J. (1958) The Computer and the Brain, Yale Univ. Press
3. Stilman, B. (2017). The Primary Language of the Human Brain. Procedia Computer Science. 111. 448-462. 10.1016/j.procs.2017.06.047.
4. Mondal, P. (2023). Towards a Unifying Theory of Linguistic Meaning. Communicative & Integrative Biology. 16. 1-10. 10.1080/19420889.2023.2200666.
5. Prokopchuk Y. (2022). Intuition: The Experience of Formal Research. Dnepr, Ukraine : PSACEA Press. 724 p. (in RU)
6. Prokopchuk Y., Nosov P. (2023). Trusted autonomous systems: organization of the "thinking swarm". Proceedings of the International Scientific Conference "Information Technologies and Computer Modelling" (July, 6th to 8th Ivano-Frankivsk). Ukraine, Ivano-Frankivsk: Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, pp. 104 - 107

THE CONCEPT OF “COGNITIVE COMPUTABILITY”

Prokopchuk Yurii

Abstract. *The paper discusses an outline of the concept of "cognitive computability". Distinction tasks are considered as an example. The concept is based on the paradigm of limiting generalizations. The deep unconscious, subjective inflation, the continuum of distinguishing tasks, and the space of heuristics play an important role. Deep diversification allows us to find ethical computing algorithms. The results of the study can be used to create cognitive agents and robots, as well as the cognitive Internet.*

Keywords: *Cognitive Computability, Human-Like Intelligence, Cognitive Computing, Distinction Tasks, Paradigm of Limiting Generalizations, Creative Agency, Asymptotic Rationality, Subjective Space-Time-Action, Possibility Spaces, Diversity's Logic*

ОПТИМІЗАЦІЯ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Косолап А.І

Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, Україна

Анотація. Розглядаються задачі проектування надійних складних систем. Розроблено програмне забезпечення для розрахунку надійності складної системи, якщо структура системи і надійність її елементів визначені. Надійність систем можна підвищити за рахунок кращого вибору її компонентів, шляхом резервування елементів та оптимізацією структури складної системи. В роботі побудовані оптимізаційні моделі таких задач. Функція надійності є багатовимірним поліномом, а змінні задачі є булевими або цілими. Такі оптимізаційні задачі є досить складними для чисельного розв'язування, так як містять безліч локальних екстремумів. Для розв'язування задач невеликого розміру можна скористатися надбудовою OpenSolver для Excel. Для систем з сотнями і тисячами елементів ми пропонуємо використовувати метод точної квадратичної регуляризації. Ефективність отриманих результатів підтверджена обчислювальними експериментами.

Ключові слова: надійність систем, складна система, оптимізація, обчислювальний експеримент.

Вступ. Проблема надійності складних систем є актуальною уже більше 50 років. Сучасні системи є досить складними і їх складність постійно збільшується. Зокрема суттєво збільшується внутрішня структура систем, яка визначається характером з'єднань між її елементами та алгоритмами їх взаємодії в процесі функціонування і підтримки працездатності систем. Все це сприяло побудови теорії надійності складних систем, яка в значній мірі базується на теорії ймовірності.

З початком ХХІ століття в надійності складних систем все більше використовуються оптимізаційні моделі [1-2]. Проблема оптимізації надійності передбачає мінімізацію вартості системи, що залежить від вимог до надійності, або максимізацію надійності системи за обмежених ресурсів (таких як вартість, вага чи об'єм системи), що, як було доведено, є NP-складною задачею. Розрахунок надійності складної системи є досить трудомісткою задачею і виражається, як правило, багатовимірним поліномом відносно ймовірності елементів системи.

Підвищення надійності проектуємих систем забезпечується підвищенням надійності елементів, їх резервуванням та структурною схемою системи, яка дозволяє будувати складні надійні системи, які складаються з не досить надійних елементів.

Основний матеріал. В даній роботі розглядаються нові оптимізаційні моделі складних систем в яких максимізується ймовірність безвідмовної роботи системи при обмеженнях на її вартість та вагу. Причому елементи оптимальним чином обираються з дискретної множини різних по надійності елементів. Таким чином, маємо наступну оптимізаційну модель надійності системи

$$\max\{R(x) | \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m c_{ij} u_{ij} x_{ij} \leq C, \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m w_{ij} u_{ij} z_{ij} \leq W, \prod_{j=1}^m z_{ij} = 1, z_{ij} = 0 \vee 1, \quad ij\} \quad (1)$$

де $R(x)$ – ймовірність безвідмовної роботи системи;

u_{ij} – ймовірність i -го елементу з m можливих варіантів;

c_{ij} – їх вартість;

w_{ij} – їх вага;

C – обмеження по вартості системи;

W – обмеження по вазі системи.

В задачі (1) необхідно знайти оптимальні значення булевих змінних, які однозначно визначають вибір елементів системи. Наряду з задачею (1) розглядалась задача (2)

$$\min\{\prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m c_{ij} u_{ij} x_{ij} | R(x) \geq R_0, \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m w_{ij} u_{ij} z_{ij} \leq W, \prod_{j=1}^m z_{ij} = 1, z_{ij} = 0 \vee 1, \quad ij\} \quad (2)$$

де R_0 – мінімальна можлива надійність системи.

Для розрахунку функції $R(x)$ була написана програма на мові VBA для Excel. Вхідні дані також заносились на лист Excel та вводились відповідні формули задач (1) та (2). Задачі розв'язувались надбудовою OpenSolver для Excel.

Розглянемо конкретний приклад системи, приведеної на рис.1. Знайдемо ймовірність її безвідмовної роботи

$$R(r) = 1 - (1 - r_1 r_2 r_3 r_4)(1 - r_1 r_2 r_3 r_7)(1 - r_1 r_2 r_6 r_4)(1 - r_1 r_2 r_6 r_7)(1 - r_1 r_2 r_8 r_4)(1 - r_1 r_2 r_8 r_7) \cdot (1 - r_1 r_5 r_3 r_4)(1 - r_1 r_5 r_3 r_7)(1 - r_1 r_5 r_6 r_7)(1 - r_1 r_5 r_6 r_4)(1 - r_1 r_5 r_8 r_4)(1 - r_1 r_5 r_8 r_7)(1 - r_9 r_{10} r_4)(1 - r_9 r_{10} r_7) \quad (3)$$

де r_i – ймовірність безвідмовної роботи i -го елементу, яка дорівнює

$$r_i = \sum_{j=1}^m u_{ij} x_{ij}, i = 1, \dots, n \quad (4)$$

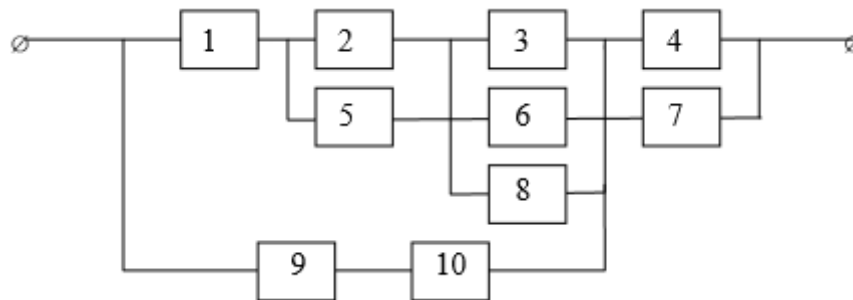


Рис.1 Структурна схема системи

Будемо допускати, що кожний елемент обирається з трьох можливих з ймовірностями 0,5; 0,7; 0,8, які коштують відповідно 10, 15, 20 гривен. Обмеження на вартість схеми 150 гривен. Тоді без врахування ваги схеми отримаємо наступний розв'язок задачі (1) $r = (0,8; 0,7; 0,7; 0,8; 0,7; 0,7; 0,7; 0,7; 0,5; 0,5)$, що забезпечує надійність схеми $R = 0,989926249$. Відмітимо, що ймовірність схеми значно вище ймовірності елементів. При цьому вартість схеми дорівнює 150 грн. Розв'язок оберненої задачі (2) дав наступний результат $r = (0,8; 0,7; 0,7; 0,7; 0,7; 0,7; 0,7; 0,7; 0,5; 0,5)$ при вартості схеми 145 грн. і $R_0 = 0,98$.

Розглянуті моделі (1)-(2) легко узагальнюються на структурну оптимізацію складних систем. Для цього достатньо для множини елементів додати елементи з нульовою ймовірністю. Тоді вибір елементу з нульовою ймовірністю означитиме, що даний елемент потрібно видалити зі схеми. Розглянемо структурну оптимізацію розглянутого прикладу. Розв'язування задачі (1) дає наступний результат $r = (0,8; 0,8; 0,7; 0,8; 0,8; 0,7; 0,8; 0,8; 0; 0)$ при вартості схеми 150 грн. і ймовірності схеми $R = 0,996511006$. Таким чином, без 9 та 10 елементу ми отримали схему з кращою ймовірністю.

Для розв'язування задач (1)-(2) з сотнями і тисячами елементів ми рекомендуємо використовувати метод точної квадратичної регуляризації [3].

Висновки. Розглянуті нові оптимізаційні моделі надійності складних систем з булевими змінними. Для розрахунку функції надійності складної системи розроблене програмне забезпечення. З даними моделями проведені

обчислювальні експерименти, які показують, що дана методика проектування надійних складних систем є ефективною.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Kuo W., Zuo M. J. Optimal Reliability Modeling. Principles and Applications. JOHN WILEY & SONS, INC., 2003. – 561 p.
2. Kuo W., Prasad V., Rajendra T., Frank A. et al. Optimal Reliability Design: Fundamentals and Applications. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. – 412 p.
3. Kosolap A. Practical Global optimization. Dnipro: Publisher Bila K.O., 2020. – 192 p.

OPTIMIZATION OF THE RELIABILITY OF COMPLEX SYSTEMS

Anatolii Kosolap

Abstract. *We consider the problems of designing reliable complex systems. Software has been developed for calculating the reliability of a complex system if the structure of the system and the reliability of its elements are determined. The reliability of systems can be increased due to a better selection of its components, by redundancy of elements, and by optimization of the structure of a complex system. Optimization models of such problems are built for these problems. The reliability function is a multivariate polynomial and the problem variables are Boolean or integer. Such optimization problems are quite difficult for numerical solutions, as they contain many local extrema. To solve small problems, you can use the OpenSolver for Excel. For systems with hundreds and thousands of elements, we suggest using the exact quadratic regularization method. The effectiveness of the obtained results is confirmed by computational experiments.*

Keywords: *reliability of systems, complex system, optimization, computational experiment.*

ПАКЕТ GAP ДЛЯ РОЗЩЕПЛЕННЯ ЛІНІЙНИХ СИСТЕМ

Базилевич Ю.М.¹, Станіна О.Д.²

¹ д.ф.-м.н, доцент, Придніпровська державна академія

будівництва та архітектури, Україна,

² к.т.н., доцент, НТУ “Дніпровська політехніка”, Україна

Анотація. Існує ряд задач, розв'язання яких вимагає розбивки вихідної системи рівнянь методами алгебраїчної декомпозиції. Це означає приведення матриці коефіцієнтів до блочно-діагонального (або блочно-трикутного) вигляду за допомогою заміни змінних. Основними обчислювальними задачами при використанні таких методів є знаходження централізатора кількох матриць або складання алгебри, породженої цими матрицями.

Для обчислень зручно використовувати систему комп'ютерної алгебри GAP, оскільки сама система призначена для обчислень дискретної алгебри. Проблема в тому, що програма GAP не підтримує обчислення з реальними числами. Для практичних задач можна спробувати замінити їх (з певною точністю) раціональними числами. При цьому рішення може виявитися надмірно громіздким. З іншого боку, перевагою GAP є повна відсутність помилок округлення.

Ключові слова: GAP, розщеплення, лінійні системи, математичні моделі, технічні системи.

Вступ. Система комп'ютерної алгебри GAP (Groups, Algorithms and Programming) існує з 1986 року. Від самого початку систему GAP було задумано як інструмент комбінаторної теорії груп. У теперішній час GAP є унікальним всесвітнім спільним науковим проектом. GAP є вільно розповсюджуваною, відкритою й розширюваною системою. В даній роботі мова йде про спрощення математичних моделей технічних систем за допомогою системи GAP.

Основний матеріал. Виконується розбивка початкової системи рівнянь за допомогою алгебраїчних методів декомпозиції [1]. Це означає зведення матриць коефіцієнтів до блочно-діагонального (або блочно-трикутного) вигляду за допомогою заміни змінних.

Основними обчислювальними задачами при використанні таких методів (а саме, методу комутуючої матриці та методу інваріантного підпростору) є знаходження централізатора декількох матриць або складання алгебри, породженої

даними матрицями. Для розрахунків треба використовувати або якусь з мов програмування або систему комп'ютерної алгебри GAP [2].

Останню використовувати зручно, через те, що сама система призначена для розрахунків дискретної алгебри в тому числі для розрахункової теорії груп. GAP часто використовують фахівці в області алгебри, теорії чисел, математичної логіки, інформаційних наук, тощо (див., наприклад [3]). Крім того, GAP є вільно розповсюджуваною, відкритою й розширюваною системою.

У випадку використання GAP, основні операції можна виконати за допомогою кількох рядків [4]. Так, наприклад, команда для складання алгебри з одиницею, породженої матрицями M1 і M2, має вигляд:

«A:= Algebrawithone(Rationals, [M1, M2]);».

Проблемою є те, що програма GAP не підтримує обчислення з дійсними числами. Тому при розробці матричних математичних моделей треба безпосередньо в програмі мовою GAP задати раціональними числами початкові змінні. Задати дані з точністю до трьох (наприклад) значущих цифр і трактувати їх як дробові числа, а потім у цій самій програмі виконати формування матриць, відповідних досліджуваній системі. Зрозуміло, що така заміна буде виконуватися з деякою точністю. При цьому рішення може вийти надмірно громіздким.

Перевагою системи GAP є — повна відсутність помилок округлення. Тобто результат виходить абсолютно точним.

Висновки. Систему GAP можна використовувати не тільки для розщеплення зображень груп (та інших алгебраїчних систем), а і для спрощення математичних моделей технічних систем. Для практичних завдань має сенс замінити (з деякою точністю) дійсні числа раціональними числами. Але при цьому рішення може вийти надмірно громіздким. З іншого боку перевагою GAP є повна відсутність помилок округлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yu.N. Bazilevich. The Best Reduction of Matrices to Block-Triangular Form for Hierarchical Decomposition Problems. *Cybern. Syst. Anal.* 2017. 53, 456, URL: <https://doi.org/10.1007/s10559-017-9947-1>.
2. GAP — Groups, Algorithms, Programming — a System for Computational Discrete Algebra. URL: <http://www.gap-system.org/>
3. K. Hymabaccus, D. Pasechnik, Decomposing Linear Representations of Finite Groups. — 2019. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.02459>
4. Yu. Bazylevych, I. Kostiusenko; General approach to the problems of decoupling of linear controlled systems. *AIP Conf. Proc.* 26 September 2022. No. 2522 (1). URL: <https://doi.org/10.1063/5.0101039>

A GAP PACKAGE FOR DECOUPLING LINEAR SYSTEMS

Yurii Bazylevych, Olha Stanina

Abstract. *There are a number of problems, the solution of which requires the breakdown of the initial system of equations using algebraic decoupling methods. This means reducing the matrix of coefficients to block-diagonal (or block-triangular) form by means of substitution of variables. The main computational tasks when using such methods are finding the centralizer of several matrices or compiling the algebra generated by these matrices.*

For calculations, it is convenient to use the GAP computer algebra system because the system itself is designed for discrete algebra calculations. The problem is that the GAP program does not support calculations with real numbers. For practical problems you can try to replace them (with some accuracy) by rational numbers. At the same time, the decision may turn out to be excessively cumbersome. On the other hand, the advantage of GAP is the complete absence of rounding errors.

Keywords: *GAP, decoupling, linear systems, mathematical models, technical systems.*

REFERENCE

1. Yu.N. Bazilevich. The Best Reduction of Matrices to Block-Triangular Form for Hierarchical Decomposition Problems. *Cybern. Syst. Anal.* 2017. 53, 456, URL: <https://doi.org/10.1007/s10559-017-9947-1>.
2. GAP — Groups, Algorithms, Programming — a System for Computational Discrete Algebra. URL: <http://www.gap-system.org/>
3. K. Hymabaccus, D. Pasechnik, Decomposing Linear Representations of Finite Groups. — 2019. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.02459>
4. Yu. Bazylevych, I. Kostiusenko; General approach to the problems of decoupling of linear controlled systems. *AIP Conf. Proc.* 26 September 2022. No. 2522 (1). URL: <https://doi.org/10.1063/5.0101039>

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАЗАМИ ДАНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Ветлужських М.В., Шинкаренко В. І.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. Представлена робота надає всебічний огляд можливостей баз даних часових рядів, з акцентом на InfluxDB – провідну базу даних часових рядів, відому своєю ефективністю та підтримкою складних аналізів за допомогою мови запитів Flux, включно з агрегацією даних, фільтрацією, виявленням трендів та прогнозуванням. Практичне застосування InfluxDB демонструється через різні приклади, показуючи її універсальність у виконанні складних операцій з даними, таких як фільтрація даних, виявлення значних змін у даних та виконання стохастичного аналізу. Ці функціональності висвітлюють потенціал InfluxDB у широкому спектрі застосувань, від телеметрії IoT до фінансового аналізу, підкреслюючи критичну роль баз даних часових рядів у сучасних стратегіях управління та аналізу даних.

Ключові слова: часовий ряд, бази даних, аналіз часових рядів

Вступ. Наряду з відомими та широко розповсюдженими системами керування реляційними базами даних (реляційними СКБД), мають застосування і інші підходи збереження даних які вирізняються способом їх збереження і обробки та спеціалізацією.

Реляційні бази даних та бази даних часових рядів (Time series database) відрізняються по кільком основним аспектам. Реляційні бази даних орієнтовані на зберігання інтерреляційних даних у таблицях з рядками та стовпцями. Вони підтримують складні SQL-запити для обробки даних і ідеально підходять для додатків, які потребують складних транзакцій, таких як банківські системи або системи управління ресурсами підприємства. З іншого боку, бази даних часових рядів спеціалізуються на зберіганні і аналізі даних, які змінюються з часом, з використанням часових міток для ефективного виконання запитів за часовими інтервалами. Вони оптимальні для моніторингу, відстеження та аналізу даних в реальному часі, наприклад, для фінансових котирувань, телеметрії IoT або метеорологічних даних.

Основна частина. Розглянемо функціональні можливості СКБД часових рядів InfluxDB, яку було обрано за рейтингом [1], де ця СКБД займає перше

місце. З'ясуємо як застосувати мову запитів Flux для аналізу, включно з агрегацією, фільтрацією, виявленням трендів і прогнозуванням. Можливості InfluxDB продемонструємо на прикладах для кращого розуміння її потенціалу.

Запити в InfluxDB можна робити за допомогою мов Flux або InfluxQL. InfluxQL являє собою мову схожу на SQL, а Flux – це альтернативна мова запитів, що використовує функціональну парадигму. Будемо розглядати лише приклади на мові запитів Flux. Детальніше щодо різниці функціональності запитів представлено у [2].

Для проведення дослідження потрібні дані. InfluxDB надає можливість загрузки історичних даних за допомогою Line Protocol або CSV, також є можливість наповнення даними у реальному часі за допомогою бібліотек для багатьох мов програмування та спеціального агенту Telegraf [3], який має багато готових плагінів для розповсюджених задач.

InfluxDB має багато засобів попередньої обробки даних. До них входять агрегація, фільтрація та інші.

Агрегація даних важлива для зменшення кількості даних, що аналізуються, та отримання суттєвих метрик з великих наборів даних. У InfluxDB присутня підтримка агрегації даних на ділянках за допомогою функції `aggregateWindow` та багатьох спеціальних функцій таких як `min`, `max`, `mean`, `stddev` та інших. Також є можливість використання індивідуально розроблених функцій. Приклад використання функції `aggregateWindow` :

```
from(bucket: "OverviewBucket")
|> range(start: v.timeRangeStart, stop: v.timeRangeStop)
|> filter(fn: (r) => r["_measurement"] == "electric_production")
|> filter(fn: (r) => r["_field"] == "production")
|> aggregateWindow(every: 1y, fn: sum, createEmpty: false)
|> yield()
```

Цей запит Flux до InfluxDB вибирає дані про виробництво електроенергії з кошика "OverviewBucket" за заданий часовий діапазон, фільтрує їх за конкретними вимірами та полями, що стосуються виробництва електроенергії, агрегує сумарні значення продукції по роках без створення пустих агрегатів, і повертає ці агреговані результати.

Фільтрація даних є ключовою операцією для вибірки специфічних даних з бази даних часових рядів. Це дозволяє точно вказати, які дані потрібно аналізувати, зменшуючи обсяг даних, які потребують обробки, та підвищуючи ефективність запитів. Фільтрація може бути застосована до вимірювань, тегів, полів, значень, а також до часових діапазонів. У прикладі нижче можна побачити фільтрацію даних по вівторкам:

```
import "date"
from(bucket: "OverviewBucket")
|> range(start: v.timeRangeStart, stop: v.timeRangeStop)
|> filter(fn: (r) => r["_measurement"] == "electric_production")
|> filter(fn: (r) => r["_field"] == "production")
|> filter(fn: (r) => date.weekDay(t: r._time) == 2)
```

Цей запит імпортує бібліотеку "date" для роботи з датами, він вибирає дані про виробництво електроенергії з кошика "OverviewBucket" за заданий часовий діапазон, використовуючи фільтрацію для обмеження вибірки лише записами, що стосуються виробництва електроенергії. Останній фільтр додатково обмежує дані до тих записів, що були зроблені у вівторок (0 – неділя, 6 – субота).

Для візуального аналізу даних InfluxDB призначений вбудований веб-інтерфейс, який дозволяє користувачам створювати налаштовані панелі керування з різними типами віджетів для візуалізації даних, включаючи графіки, гістограми, карти тепла та багато іншого.

Одним із найпоширеніших методів аналізу часових рядів є пошук сплесків. Для того, щоб реалізувати його засобами InfluxDB, потрібно використати функцію difference, яка знаходить різницю до попереднього запису.

Приклад пошуку сплесків:

```
import "math"
from(bucket: "OverviewBucket")
|> range(start: v.timeRangeStart, stop: v.timeRangeStop)
|> filter(fn: (r) => r["_measurement"] == "electric_production")
|> filter(fn: (r) => r["_field"] == "production")
// Використання віконного агрегування для поділу даних на 1-годинні
інтервали
|> aggregateWindow(every: 1h, fn: mean)
// Додавання нового поля, що показує зміну середнього значення між поточним
і попереднім значеннями
```



```
|> difference(nonNegative: false, columns: ["_value"])  
// Фільтрація результатів для виявлення значних змін  
|> filter(fn: (r) => math.abs(x: r["_value"]) > 11)
```

Цей запит Flux, починаючи з імпорту бібліотеки "math", вибирає дані про виробництво електроенергії з кошика "OverviewBucket" за вказаний часовий діапазон. Фільтрує записи за вимірами та полями, що стосуються виробництва електроенергії, і використовує віконне агрегування для поділу даних на 1-годинні інтервали, розраховуючи середнє значення в кожному з них. Після цього застосовується функція difference для створення нового поля, що показує зміну середнього значення між поточним і попереднім значеннями. Завершується запит фільтрацією результатів, щоб виявити значні зміни, тобто ті, що перевищують абсолютне значення 11, використовуючи функцію math.abs.

Ступінь стохастичності в контексті аналізу даних часто пов'язаний з оцінкою рівня випадковості або непередбачуваності в часових рядах. Реалізацію стохастичного аналізу [4] за допомогою InfluxDB наведено далі:

```
import "math"  
// Вибір даних за вибраний період  
data = from(bucket: "OverviewBucket")  
|> range(start: v.timeRangeStart, stop: v.timeRangeStop)  
|> filter(fn: (r) => r["_measurement"] == "electric_production")  
|> filter(fn: (r) => r["_field"] == "production")  
// Обчислення мінімального та максимального значення за період  
minValue = (data |> min() |> findRecord(idx: 0, fn: (key) => true))._value  
maxValue = (data |> max() |> findRecord(idx: 0, fn: (key) => true))._value  
// Обчислення стохастичного осцилятора  
stochasticOscillator = data  
|> map(fn: (r) => ({  
    _time: r._time,  
    _value: ((r["_value"] - minValue) / (maxValue - minValue)) * 100.0  
}))  
// Виведення результатів  
stochasticOscillator |> yield()
```

В подальшому планується порівняння прогнозів часових рядів за розробленою конструктивно-продукційною моделлю [5] та за методами реалізованими у InfluxDB на наявних банках даних.

Висновок. Завдяки своїй високій продуктивності, гнучкості та підтримці мови запитів Flux, InfluxDB надве широкі можливості для агрегації даних, фільтрації, виявлення трендів і прогнозування. Через демонстрацію різноманітних прикладів використання показано, як InfluxDB може бути застосована до різних сценаріїв, від телеметрії IoT до фінансового аналізу, підкреслюючи її значення як інструменту для вирішення складних завдань аналізу даних.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Time Series Database Management Systems Ranking. URL: <https://db-engines.com/en/ranking/time+series+dbms> (Accessed: 21th March 2024).
2. InfluxQL and Flux Parity – InfluxData Documentation. URL: <https://docs.influxdata.com/influxdb/cloud/reference/syntax/flux/flux-vs-influxql/#influxql-and-flux-parity> (Accessed: 22nd March 2024).
3. Telegraf: Time Series Data Collection – InfluxData. URL: <https://www.influxdata.com/time-series-platform/telegraf/> (Accessed: 1st March 2024);
4. Stochastic Oscillator – Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/terms/s/stochasticoscillator.asp> (Accessed: 2nd March 2024).
5. Shynkarenko V., Zhadan A. Modeling of the Deterministic Fractal Time Series by One Rule Constructors, 2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Zbarazh, Ukraine, 2020, pp. 336-339, doi: 10.1109/CSIT49958.2020.9321923.

FUNCTIONAL CAPABILITIES OF TIME SERIES

DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS

Michael Vietluzhskykh, Viktor Shynkarenko

Abstract. *This work provides a comprehensive overview of the capabilities of time series databases, with a special emphasis on InfluxDB – a leading time series database known for its efficiency and support for complex analyses through the Flux query language, including data aggregation, filtering, trend detection, and forecasting. The practical application of InfluxDB is demonstrated through various examples, showcasing its versatility in performing complex data operations, such as data filtering, identifying significant changes in data, and conducting stochastic analysis. These functionalities highlight the potential of InfluxDB across a broad range of applications, from IoT telemetry to financial analysis, underscoring the critical role of time series databases in modern data management and analysis strategies.*

Keywords: *fractals, graph, constructive-synthesizing modeling, computer modeling, iterative algorithms, pattern formation*

**MATHEMATICAL MODEL OF THE INFLUENCE OF ELONGATED GRAINS
ROTATION ON THE HIGH-TEMPERATURE DEFORMATION PROCESS OF
SILICON NITRIDE BASED CERAMICS**

Hnylytsia I.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

Abstract. *The speed of direct high-temperature extrusion of ceramics based on silicon nitride was analyzed. The influence of rotation of elongated grains on mass transfer processes and deformation rate is established. The influence of the parameters of the high-temperature deformation process on the deformation rate is shown. An equation is proposed that describes the effect of rotation of elongated grains on the strain rate. The described equation of strain rate can be used to create technological processes of plastic deformation of ceramic materials.*

Keywords: *silicon nitride, deformation, deformation mechanism, rotation of elongated grains, model of deformation process.*

The obtained data on the deformation kinetics of samples of materials based on silicon nitride (the nature of the deformation rate curves, the range of the deformation rate) and the structure in the initial state and after deformation, as well as the analysis of literary sources devoted to this issue, allow us to draw some conclusions regarding the deformation mechanism of silicon nitride ceramics with additives of Al and Y oxides and other additives that form a liquid intergranular phase at the deformation temperature under extrusion conditions.

The ability to deform can be the result of the action of a single mechanism with a very high sensitivity to the rate of deformation, the result of the interaction of several mechanisms of deformation, or the result of the action of the main mechanism supported by secondary (compensatory, supporting) processes.

Based on the obtained experimental data, it can be stated that the irreversible deformation of silicon nitride materials according to the direct extrusion scheme at a specific pressure on the punch up to 30 MPa is caused by fine grain in the structure of the material before deformation and the presence of a stress state in the transition zone of the matrix.

During the process of high-temperature deformation according to the direct extrusion scheme, in the transition zone of the matrix, the elongated grains are in a non-uniform stress field. Under the action of the moment of forces that arises in this inhomogeneous field, elongated β -Si₃N₄ grains will occupy a position coaxial with the longitudinal axis of symmetry of the matrix.

Previously, the formula for the dependence of deformation ε on the rotation of elongated grains was proposed, based on the change in the angle of inclination of the grain axis to the direction of deformation from the initial θ_0 to the final θ [1]:

$$\varepsilon = \frac{2}{3} \ln \frac{\cot \theta}{\cot \theta_0} \quad (1)$$

However, the assumptions made in the derivation of this formula make it valid only for acicular grains without thickness. According to various data, the proportion of rotation of elongated grains, depending on the number of such grains in the structure of the material, can be from 10 to 30% of the total deformation [2-4].

Therefore, the magnitude and contribution to the overall deformation of grain rotation at the initial stage will be maximum. A gradual decrease in the amount of liquid intergranular phase will lead to a gradual deterioration of the conditions for the reorientation of elongated grains and a slowing down of their rotation speed. Upon reaching the region of stable deformation rate, the intensity of the decrease in the speed of rotation of the grains will decrease due to the facilitation of grain boundary sliding, which promotes rotation. After passing through the region of stable strain rate, the grain rotation will further slow down until it settles at a certain constant level at the stage of the final constant strain rate.

The rate of deformation due to the rotation of elongated grains and the rate of deformation when the elongated grains pass through the angle of maximum tangential stresses:

$$\dot{\varepsilon}_2 = \frac{PK_2K_3}{TUK_1t} \quad (2)$$

$$\dot{\varepsilon}_{2\max} = \frac{PK_2}{TU} \times e^{-K_2(t-t_0)^2} \quad (3)$$

where P – the pressure on the punch;

K_1 – amount of intergranular phase in the process of deformation;

K_2 – the number of elongated grains in the structure of the material;

K_3 – average length of elongated grains;

T – temperature during deformation;

U – degree of compression;

t – deformation time;

t_0 is the time of the maximum passage of the elongated grains to the position of the greatest tangential stresses.

Equations (2), (3) reflect the directly proportional dependence of the rate of deformation during rotation of elongated grains on the applied pressure and the number of elongated grains in the structure, and the inversely proportional dependence of this value on temperature and the degree of crimping.

Equation (2) represents the main contribution of rotation of elongated grains to the total strain rate. The greater the length of the elongated grains (K_3 coefficient), the greater their contribution to the overall deformation. The presence of the amount of intergranular phase (coefficient K_1) in the denominator of this equation reflects a slower decrease in the velocity component due to the rotation of elongated grains with a greater amount of intergranular phase.

Equation (3) represents a normal distribution function and will contribute to the total deformation rate only around time t_0 during the passage of the grains at an angle of 45° to the matrix axis. The combination of the velocity components expressed by equations (2) and (3) at some point in time will lead to the appearance of a horizontal section on the strain rate curve. The duration of the manifestation of the component expressed by equation (3) is determined by the K_2 coefficient, i.e., the number of elongated grains in the structure. The more such grains, the longer they will travel through the 45° angle and the longer the horizontal section on the strain rate curve will be.

ЖИТЕПАТҮПА / REFERENCE

1. M. Tokuda and R. Hu. Finite Element Method Simulation of Grain Boundary: Its Purposes, Models and Applications in Fine-Grain Superplasticity // Material Science Forum Vols.- 1999.- 304-306.- P. 657-662.
2. Eiichi Sato, Naoki Kondo and Fumihiro Wakai. Superplasticity in Si₃N₄ Associated with Rod-like Grain Alignment // Material Science Forum Vols.- 1997.- 243-245.- P. 115-124.

3. K. Kitazono, E. Sato and K. Kuribayshi. Mechanism of Internal Stress Superplasticity Based on Thermally-Activated Kinetics // Material Science Forum Vols.- 1999.- 304-306.- P. 651-656.
4. S. S. Bhattacharya and K. A. Padmanabhan. On the Numerical Verification of a Machanistic Model for Optimal Superplastic Flow // Material Science Forum Vols.- 1997.- 243-245.- P. 59-64.

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ПОВОРОТУ ВИДОВЖЕНИХ ЗЕРЕН НА
ПРОЦЕС ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ
КЕРАМІКИ НА ОСНОВІ НІТРИДУ КРЕМНІЮ**

Гнилиця І.Д.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Івано-Франківськ, Україна*

Анотація. Проаналізовано швидкість високотемпературного деформування кераміки на основі нітриду кремнію при схемі прямої екструзії. Встановлено вплив повороту видовжених зерен на процеси масопереносу та швидкість деформації. Показано вплив параметрів процесу високотемпературного деформування на швидкість деформування. Запропоновано рівняння, яке описує вплив повороту видовжених зерен на швидкість деформації. Описане рівняння швидкості деформації може бути використано для створення технологічних процесів пластичного деформування керамічних матеріалів.

Ключові слова: нітрид кремнію, деформація, механізм деформації, поворот видовжених зерен, модель процесу деформації.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ОПОРНИХ ВЕКТОРІВ НА ПРИКЛАДІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ

Дмитренко А. М., Дмитрієва І. С.

*Інститут промислових і бізнес технологій, Український державний університету
науки і технологій, Україна*

Анотація. Проникність є ключовим параметром для характеристики будь-якого вуглеводневого покладу, що робить її незамінною для точного вирішення численних завдань нафтогазової інженерії. Традиційні методи визначення проникності, такі як аналіз керна та випробування свердловин, є досить дорогими і трудомісткими. Тому зусилля були спрямовані на використання штучних нейронних мереж для встановлення кореляції між даними каротажу свердловин і проникністю керна. Нещодавні досягнення в методах штучного інтелекту представили надійну методологію машинного навчання, відому як машина опорних векторів (SVM). Метою цього дослідження є застосування SVM для прогнозування проникності трьох газових свердловин на родовищі Південний Парс. Результати, отримані за допомогою SVM, продемонстрували коефіцієнт кореляції 0,97 між керном і прогнозованою проникністю для тестового набору даних.

Ключові слова: нафта, газ, машинне навчання, машина опорних векторів, властивості пласта, управління пластом.

Розповсюдження технологій штучного інтелекту (ШІ) вплинуло на багато областей економіки та галузей. Видобуток нафти та газу, а саме прогнозування покладів вуглеводнів та їх властивостей безпосередньо, не є виключенням.

В цій сфері алгоритми ШІ допомагають в таких задачах, як розвідка, розробка, видобуток, проектування родовищ і планування управління з метою покращення прийняття рішень, зниження витрат і прискорення видобутку. Наприклад, для вирішення задачі проектування родовищ вкрай важливо знати характеристики цього родовища, алгоритми ШІ нам допомагають і тут.

Потреба в використанні даних методів, а також в провадженні оптимізації, зумовлена тим, що стандартні алгоритми можуть бути доволі часу затратними, а також розділеними на багато поступових ручних методів.

В цій статті пропоную розглянути використання одного з найрозповсюджених алгоритмів ШІ для вирішення цих задач, а саме – алгоритм «Метод опорних векторів».

Розглянемо детальніше роботу алгоритму. Сам алгоритм – це метод для класифікації, регресійного аналізу, який знаходить гіперплощину у просторі високої розмірності та виконує відповідну класифікацію. Базується на моделях з керованим навчанням або більше відомі, як «навчання з вчителем». Використовується для багатьох задач таких, як категоризація текстів, класифікація зображень або розпізнавання рукописних символів.

Є щонайменше три причини успіху SVM: його здатність добре навчатися з дуже малою кількістю параметрів, його стійкість до помилок даних і його обчислювальна ефективність у порівнянні з деякими іншими інтелектуальними обчислювальними методами, такими як нейронна мережа, нечітка мережа тощо. Саме через здатність алгоритму навчатись на невеликій кількості даних його часто обирають для нафтовидобувної сфери, так як обмеженість даних один з найважливіших факторів, що впливають на роботу.

Далі ми розглянемо його на прикладі прогнозування характеристик резервуарів. Нас найбільше цікавить два параметри резервуарів: пористість та проникність. Набором даних для цього алгоритму і цієї задачі виступатимуть свердловинні каротажні діаграми (well logs), а ключовим параметром для роботи алгоритму, тобто вихідними даними, буде значення параметру k_h - значення горизонтальної проникності. Доступні оцифровані каротажні діаграми свердловин складаються з акустичного каротажу (DT), гамма-каротажу (GR), каротажу компенсованої нейтронної пористості (NPHI), каротажу густини (ROHB), каротажу фотоелектричного фактору (PEF), каротажу мікросферичного сфокусованого опору (MSFL) (див. рисунок 1).

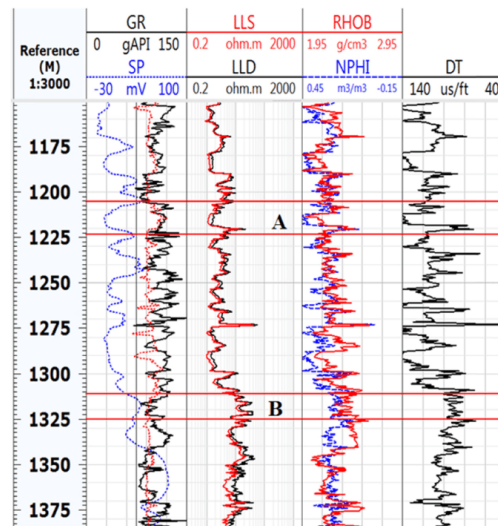


Рисунок 1 - оцифровані каротажні діаграми свердловин

Саме їх ми і будемо подавати, як вхідні параметри в нейронну мережу (див. рисунок 2).

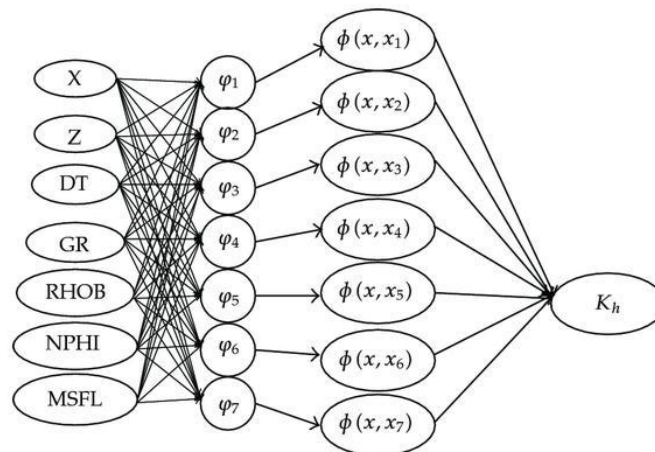


Рисунок 2 - Ваги

Після побудови оптимальної ШНМ на основі навчального набору даних, продуктивність побудованого ШНМ було оцінено в процесі тестування. Рисунок 3 демонструє здатність SVM прогнозувати проникність.

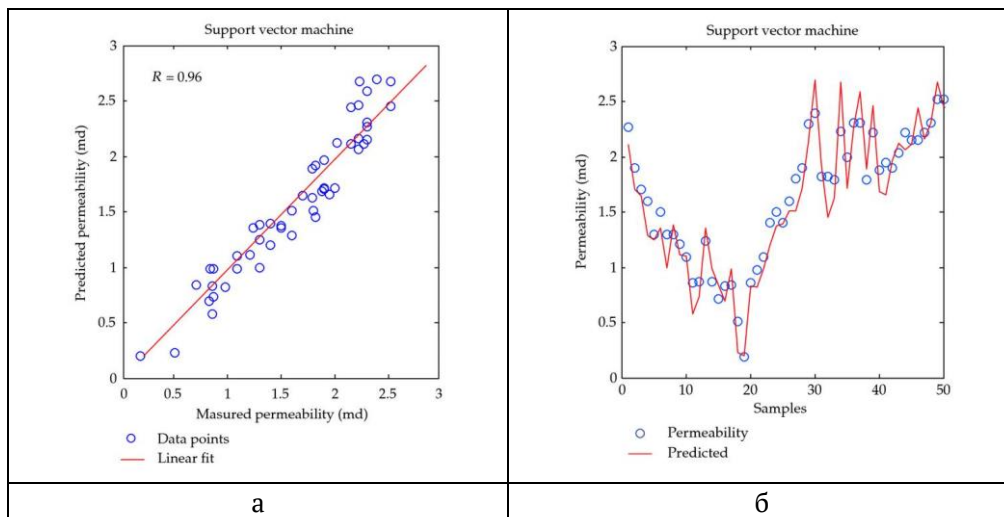


Рисунок 3 - Залежність між виміряною та прогнозованою проникністю, отриманою за допомогою SVM (а); оціночна здатність SVM (б).

Як показано на рисунку 3, існує прийнятна узгодженість (коефіцієнт кореляції 0,97) між прогнозованою та виміряною проникністю. Фактично, SVM є придатним методом для прогнозування проникності.

Метод опорних векторів - це нова методологія машинного навчання, заснована на теорії статистичного навчання яка має значні особливості, включаючи те, що вимоги до ядра і характеру задачі оптимізації призводять до єдиного глобального оптимуму, високої продуктивності узагальнення і запобігання збіжності до локального оптимального рішення.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Nello Cristianini, John Shawe-Taylor. An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods. — Cambridge University Press, 2000. — ISBN 978-1-139-64363-4.
2. L. Wang, Support Vector Machines: Theory and Applications, Springer, Berlin, Germany, 2005.
3. V. N. Vapnik, The Nature of Statistical Learning Theory, Springer, New York, NY, USA, 2nd edition, 2000.
4. R. Gholami, A. R. Shahraki, M. Jamali Paghaleh, "Prediction of Hydrocarbon Reservoirs Permeability Using Support Vector Machine", Mathematical Problems in Engineering, vol. 2012, Article ID 670723, 18 pages, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/670723>
5. A. Bhatt, Reservoir properties from well logs using neural networks, Ph.D. thesis, Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics, Norwegian University of Science and Technology, A dissertation for the partial fulfillment of requirements, 2002.

6. S. Mohaghegh, S. Ameri, and K. Aminian, “A methodological approach for reservoir heterogeneity characterization using artificial neural networks,” Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 16, pp. 263–274, 1996.

USING THE METHOD OF SUPPORT VECTORS ON THE EXAMPLE OF PREDICTING THE PROPERTIES OF HYDROCARBON DEPOSITS

Dmytrenko Andrii, Dmytriieva Iryna

Abstract. *Permeability stands as a crucial parameter in characterizing any hydrocarbon reservoir, rendering it indispensable for accurate solutions to numerous petroleum engineering challenges. Conventional methods for determining permeability, such as core analysis and well test techniques, are notably costly and time-consuming. Hence, efforts have been directed towards leveraging artificial neural networks to establish correlations between well log data and core permeability. Recent advancements in artificial intelligence techniques have introduced a robust machine learning methodology known as support vector machine (SVM). This study aims to employ SVM in predicting the permeability of three gas wells within the Southern Pars field. The results obtained from SVM demonstrated a correlation coefficient of 0.97 between core and predicted permeability for the testing dataset.*

Keywords: *oil, gas, machine learning, support vector machine, reservoir properties, reservoir management.*

МУЛЬТИАГЕНТНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ВІДНОВЛЕННЯ ФРАКТАЛЬНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Жадан А.А., Шинкаренко В.І.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. Раніше авторами розроблена конструктивно-продукційна модель фрактальних часових рядів. На її основі – програмний додаток з моделювання детермінованих та стохастичних фрактальних часових рядів та однопотокова програма з їх відновлення. Виявлені недоліки, а саме досить низька часова ефективність та складність масштабування процесу відновлення призвели до необхідності докорінним чином змінити архітектуру системи. У цій роботі представлені основні зміни: запровадження агентно-орієнтованого підходу до архітектури та змінена фітнес функція хромосом генетичного алгоритму, яка враховує розбіжність декількох модельних і відновлених часових рядів. Останнє дозволило в деякій мірі нівелювати стохастичність часових рядів.

Ключові слова. фрактал, часовий ряд, конструктивно-продукційне моделювання, агенти, відновлення часового ряду

Вступ. Часові ряди є поширеним засобом моделювання складних процесів та системи. Така модель може бути використана для розв’язання задач аналізу та прогнозування поведінки системи [1]. При наявності самоподібності процес прогнозування будується на основі виявлених фрактальних властивостей часового ряду [2].

На основі методу конструктивно-продукційного моделювання [3] з використанням L-систем [4] були визначені процеси моделювання детермінованих та стохастичних часових рядів на основі конструктивної моделі [5]. При подальших дослідженнях також був визначений підхід для реалізації оберненого процесу – відновлення конструктивної моделі для заданого модельного детермінованого часового ряду на основі генетичного алгоритму [6].

Раніше був розроблений програмний додаток, на основі якого проведені дослідження з використанням рядів різної складності [7]. При аналізі отриманих результатів були визначені основні недоліки програмної реалізації – досить низька часова ефективність та складність масштабування процесу

відновлення. Сам алгоритм процесу відновлення також потребував подальших модифікацій для охоплення й стохастичних модельних часових рядів.

Основна частина. Вирішення проблем прикладного рівня полягало у глобальному перегляді архітектури програмного додатку та відмови від монолітної архітектури з однопотоковим виконанням програми. Для покращення показника часової ефективності процес відновлення був явним чином розподілений на кілька потоків. Для реалізації можливості легкого масштабування кожен з потоків був представлений окремою сутністю-агентом, котрий відповідає за свою популяцію. Таким чином нова реалізація програмного додатку представляє мультиагентне середовище, у якому процес відновлення інкапсульований у окремому робочому агенті, а процес масштабування виконується шляхом впровадження нових робочих агентів у середовище.

Для впровадження зв'язку між окремими робочими агентами та впровадження контролю була розроблена структура обчислювального кластеру. Загалом були визначені наступні типи агентів, окрім робочого: агент взаємодії з користувачем, кластерний агент та міграційний агент (табл. 1).

Для взаємодії агентів було обрано асинхронний підхід повідомлень. Інструментом для реалізації підходу обрано технологію Rabbit Message Queue (RabbitMQ) [8] (рис. 1).

Таблиця 1

Агенти системи

Тип агента	Сфера відповідальності	Сфера знань
Робочий агент	Виконує процес відновлення, щоб знайти конструктивну модель часового ряду	Конфігурація, специфікація завдання
Міграційний агент	Керує процесом міграції хромосом між генофондом, вибираючи необхідні набори на основі визначених правил	Буфер генофонду, поточний стан обчислень для кожного агента
Кластерний агент	Веде облік наявних агентів у системі, ініціює команди обчислювального процесу	Інформація про агентів, конфігурації робочих агентів, специфікація завдання
Агент взаємодії з користувачем	Прийом і перевірка команд користувача з подальшим делегуванням агенту кластера	Інформація про користувача, інформація про агента кластера.

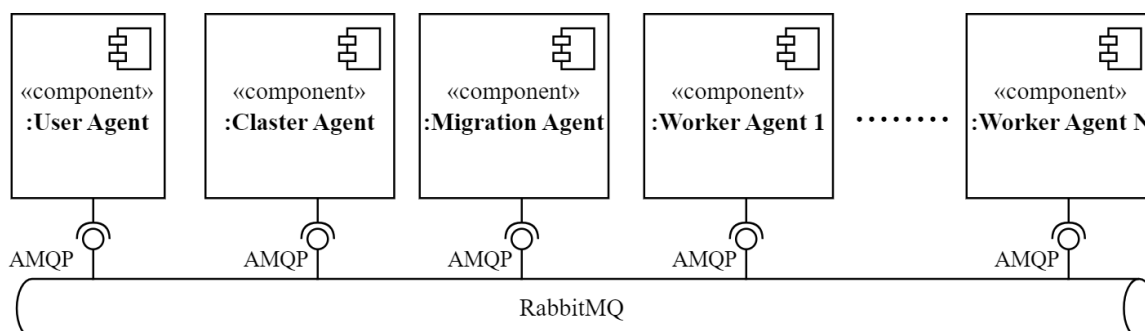


Рисунок 1 – Високорівнева архітектура програмного рішення

Для адаптації роботи процесу відновлення моделі стохастичних рядів були впроваджені наступні зміни. До структури хромосоми був доданий параметр дисперсії. Для покриття стохастичної природи часового ряду була змінена фітнес функція. Під час розрахунку на основі параметрів хромосоми генерується N часових рядів. Завдяки своїй стохастичній природі вхідний ряд може мати нескінченну кількість різних форм, які залежать від конструктивної моделі. На підставі цього твердження було вирішено включити у вхідні параметри M модельних рядів з однаковою довжиною та параметрами конструктивної моделі.

Під час обчислення фітнес функції кожний з N згенерованих рядів в межах тієї самої хромосоми буде зіставлений з кожним із M вхідних. Результатом обчислення фітнес функції $q(X_n)$ хромосоми X_n є:

$$q(X_n) = \bigwedge_{i=0}^N \min_{j=1..M} \bigwedge_{k=1}^K (TS_{j,k}^{IN} - TS_{i,k}^{GEN})^2 \quad (1)$$

де K – визначена довжина часового ряду,

$TS_{j,k}^{IN}, TS_{i,k}^{GEN}$ – значення k -ої точки у j -му вхідному та i -тому відновлюваному часових рядах відповідно.

Висновок. Такий підхід покриває стохастичну природу часових рядів і підвищує точність і керованість процесу реконструкції. Єдиним недоліком такого підходу є велика кількість операцій порівняння рядів, що дорівнює $N \times M$ і призводить до погіршення часової ефективності. Щоб пом'якшити вплив, було прийнято рішення зменшити кількість хромосом у популяції, щоб обмежити кількість розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Weigend A. S. Time series prediction: forecasting the future and understanding the past, Routledge. – 2018, 664 p.
2. Bulakh V., Kirichenko L. Radivilova, T. Time series classification based on fractal properties, IEEE Second International Conference on Data Stream Mining and Processing (DSMP), IEEE. – 2018, pp. 198-201. doi:10.1109/DSMP.2018.8478532
3. Shynkarenko V.I., Ilman V.M. Constructive-Synthesizing Structures and Their Grammatical Interpretations. ; Part I. Generalized Formal Constructive-Synthesizing Structure. Cybernetics and Systems Analysis, vol. 50(5), 2014, pp. 665 – 662. doi: 10.1007/s10559-014-9655-z; Part II. Refining Transformations. Cybernetics and Systems Analysis, 50(6), 2014, 829 – 841. 10.1007/s10559-014-9674-9
4. Prusinkiewicz P., Lindenmayer A., The algorithmic beauty of plants. Springer Science & Business Media. – 2004, 228 p.
5. Shynkarenko V., Lytvynenko K., Chyhir R., Nikitina I. Modeling of Lightning Flashes in Thunderstorm Front by Constructive Production of Fractal Time Series. In: Advances in Intelligent Systems and Computing IV, vol. 1080, Springer, 2020, pp. 173-185. doi: 10.1007/978-3-030-33695-0_13
6. Shynkarenko V., Zhadan A. Modeling of the Deterministic Fractal Time Series by One Rule Constructors, 2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Zbarazh, Ukraine, 2020, pp. 336-339, doi: 10.1109/CSIT49958.2020.9321923.
7. Shynkarenko V., Zhadan A. Constructive-synthesizing modeling of the deterministic fractal time series, 2023 International scientific and technical conference Information

Technologies in Metallurgy and Machine building (ITMM), Dnipro, Ukraine, pp. 222-226, doi: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.060.

8. RabbitMQ is the most widely deployed open source message broker. RabbitMQ official website. <https://rabbitmq.com/> (accessed March. 31, 2024).

A MULTI-AGENT ENVIRONMENT FOR FRACTAL TIME SERIES RECONSTRUCTION

Artem Zhadan, Viktor Shynkarenko

Abstract. *Earlier, a constructive--synthesizing model of a fractal time series was developed by authors. A software application for modeling deterministic and stochastic fractal time series and a single-threaded program for their recovery based on this model was developed. The identified shortcomings, namely rather low time efficiency and the difficulty of scaling the restoration process, led to the need to radically change the system architecture. This work presents the main changes: introduction of the agent-oriented architecture approach and changed fitness function of genetic algorithm chromosomes, which takes into account the discrepancy of several model and reconstructed time series. The last one made it possible to level the stochasticity of time series to some extent*

Keywords: *fractal, time series, constructive--synthesizing model, agents, reconstruction*

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНІ МУЛЬТИ-НЕЧТКІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ МОНІТОРИНГУ РОЗПОДІЛЕНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ПОТОКІВ

Скалозуб В.В., Завгородній А.Д.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. У доповіді приведені деякі результати досліджень щодо формування багатокритеріальних мульти-нечітких моделей інформаційних технологій, які відповідають завданням моніторингу параметрів складних комплексних і децентралізованих транспортних технологій. Прикладами таких інформаційних технологій являються системи моніторингу розподілених логістичних потоків процесів поїздоутворення та перевезень вантажів. Наведені особливості мульти-нечітких моделей систем (Multi-Fuzzy System Models). В якості прикладів уніфікованих процедур MFSM моделювання та діагностування недетермінованих процесів при багаторазовій невизначеності даних, а також багатокритеріальності, приведені процедури реалізації задач векторної оптимізації в умовах багаторазової невизначеності даних. Процедури узагальнюють метод нечіткого управління Такагі-Сугено.

Ключові слова: інформаційні технології, моніторинг, розподілені логістичні потоки, мульти-нечіткі моделі, багатокритеріальність, багаторазова невизначеність, модифікований метод Такагі-Сугено.

Натепер існує багато систем моніторингу (СМ), які допомагають відслідковувати функціонування та аналізувати і відображати ресурсні, технологічні та інші показники логістичних потоків щодо роботи складних систем, визначати умови критичних станів тощо. СМ виконують моніторинг розподілених логістичних потоків і програмних засобів, систем кіберзахисту ІТ, забезпечують виявлення помилок, вразливості та вирішення інших проблем.

У доповіді приведені деякі результати досліджень щодо формування багатокритеріальних мульти-нечітких моделей інформаційних технологій, які відповідають завданням моніторингу параметрів складних комплексних і децентралізованих транспортних технологій. Прикладами таких інформаційних технологій являються системи моніторингу розподілених логістичних потоків, що характеризують, зокрема, процеси поїздоутворення та перевезень вантажів. Зазначені процеси мають дуже багато компонентів

(вузлів) різних категорій і рівнів відповідальності, які взаємодіють між собою за певними правилами. СМ інформаційних технологій нової конкурентної моделі організації вантажних перевезень призначена для того, щоб забезпечити можливість участі багатьох учасників в процесах поїздоутворення та перевезень вантажів. При тому кожен учасник може мати свої певні ресурси (необхідні у певний час для певних послуг), а також вимоги і гарантії щодо реалізації перевезень. Висока складність такої технології, значна кількість окремих учасників із власними інтересами, різноманітні умови невизначеності потребують застосування методів багатокритеріального мульти-нечіткого моделювання процесів моніторингу приведеної інформаційної технології.

У доповіді приведені особливості мульти-нечітких моделей систем (Multi-Fuzzy System Models, MFSM). Відзначається що MFSM є розвитком нечітких систем, використовують, зокрема, кілька наборів нечітких правил для опису моделі, ураховують умови що можуть змінюватися залежно від контексту чи параметрів. Такі властивості MFSM забезпечують реалізацію різних сценаріїв роботи системи тощо. Основні відмінності MFSM такі: - багатокритерійність (критерії можуть бути конфліктуючими або взаємозалежними, конкурувати між собою); - багатовимірність, мульти-нечіткі моделі можуть мати множини входів і виходів; - невизначеність, використання різних видів нечіткості для компонентів системи (вхідні дані, параметри, невизначеність в правилах тощо); - множини систем правил, що дозволяє враховувати варіативність сценаріїв і контекстів, окремі множини правил є самостійними, або задають ієрархічну структуру об'єктів тощо; - множини функцій належності, які можуть бути задані для окремого входу, можуть використовуватися нечіткі величини різних типів; - підмоделі MFSM мають різні набори даних, або значення даних – тобто характеристики процесів в різних їх складових неоднакові. Наведені властивості MFSM дозволяють їх використовувати для завдань автоматизації моніторингу комплексних розподілених та масштабних технологій залізничного транспорту.

В якості прикладів уніфікованих процедур MFSM моделювання та діагностування недетермінованих процесів залізничного транспорту при багаторазовій невизначеності даних, а також багатокритеріальності, приведені процедури реалізації задачі векторної оптимізації в умовах багаторазової невизначеності даних, які узагальнюють метод нечіткого управління Такагі-Сугено.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Vashisth, Amit & Kumar, Ravinder & Sharma, Shashank. (2018). Major Principles of Sustainable Transport System: A Literature Review. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology. 6. 1597-1605.
2. Leszek Rutkowski Metody i techniki sztucznej inteligencji. Naukowe PWN, Warsaw, 2005. – 520 p.
4. Mike Julian, “Practical Monitoring: Effective Strategies for the Real World”, 2017 – 170 p.

MULTI-CRITERIA MULTI-FUZZY MODELS FOR MONITORING OF DISTRIBUTED LOGISTICS FLOWS PROCESSES

Skalozub Vladyslav, Zavhorodnii Andrii

Abstract. *The report presents some research results on the formation of multicriteria multi-fuzzy models of information technologies that correspond to the tasks of monitoring parameters of complex integrated and decentralized transport technologies. Examples of such information technologies are systems for monitoring distributed logistic flows of train formation and cargo transportation processes. The features of multi-fuzzy system models (Multi-Fuzzy System Models) are provided. As examples of unified MFSM modeling and diagnostics procedures for indeterminate processes with multiple data uncertainty, as well as multicriteria, procedures for implementing vector optimization tasks in conditions of multiple data uncertainty are described. The procedures generalize the Takagi-Sugeno fuzzy control method.*

Keywords: *information technology, monitoring, distributed logistic flows, multi-fuzzy models, multicriteria, multiple uncertainty, modified Takagi-Sugeno method.*

ВИКОРИСТАННЯ ПОКАЗНИКІВ JRQA ДАНИХ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЇ ЩОДО ЇХ ТИПІЗАЦІЇ

Зайцев В.Г., Хижа О.Л.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Анотація. У статті розраховано показники JRQA на основі реальних даних групи E з бази даних Боннського медичного університету під час епілептичного нападу. Представлено аналіз відповідних розрахункових значень параметрів JRQA для тих самих даних. Порівняння та співставлення цих параметрів дозволяє розглянути питання їх використання для прояснення проблеми нечіткої типізації представленої інформації.

Ключові слова: Нелінійний рекурентний аналіз, параметри JRQA, часові ряди, дані елек-троденцефалографії

У роботі [1] розглянуто використання методу нелінійного рекурентного аналізу до проблеми типізації інформації, що надана у вигляді часових рядів електроенцефалограм знятих з пацієнту. Описано методика визначення схованої інформації для цього ряду та її використання для побудови відповідної рекурентної діаграми (recurrence plots, RP) у точки знімання інформації. Показано, що використання RP має суттєві недоліки, які пов'язані з візуалізацією інформації на екрані монітору комп'ютера, тому запропоновано наступний крок дослідження - обрахування чисельних показників RP. Їх обрахування потрібно здійснити для кожної точки знімання інформації, в якості яких було запропоновано узяти точки (O1, O2, Pz) - це праве та ліве потиличне та тім'яне відведення. Для отримання чисельних значень показників RP пропонувалося використовувати середовище Матлаб та розроблений для цього пакет crptools [2]. Наведені обраховані чисельні показники JRQA аналізу дозволили здійснити типізацію отриманих даних та визначити тип якій отримав назву «HEALTHY-RP», що відрізняє епілептичні та неепілептичні типи ЕЕГ.

В якості вхідних даних у роботі[1] використана інформація яка була отримана з бази даних ЕЕГ кафедри неврології Дніпровського Медичного Університету для семі пацієнтів, що знята у різні роки їх обслідування.

Пацієнти мали різні діагнози (усього чотири діагнозу): епілепсія, ВСД, здоровий та судорожні.

У даної роботи в якості вхідних даних використовується база даних Боннського медичного університету[3]. В базі даних присутні п'ять частин: А, В, С, D, Е. У роботі виконується нелінійний рекурентний аналіз частини Е, що містить 100 файлів даних пацієнтів, які мають діагноз епілепсія. Причому наведені ЕЕГ дуже унікальні, тому що вони зняти у момент приступу хворого. Точних міст зняття даних не надано. Відома тільки дата створення файлу.

Для зняття інформації ЕЕГ (окрім даних Е) використовувався стандартний пристрій, у якого робоча частота становила 247 Гц. Були задіяні 20 електродів (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, T3, T4, T5, T6, Tz, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, та O2) по системі 10-20 [4]. Отримати інформації для даних у вигляді бази Е, у ДМУ не має можливості.

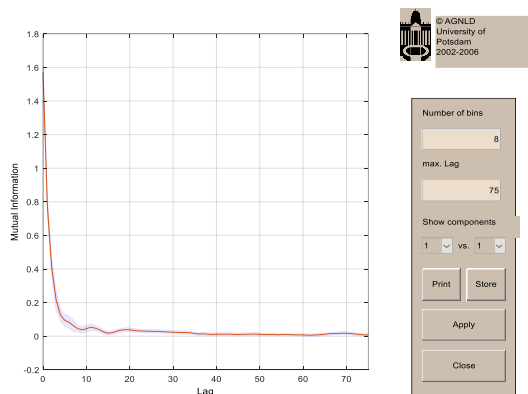


Рисунок 1 - Розрахунок τ

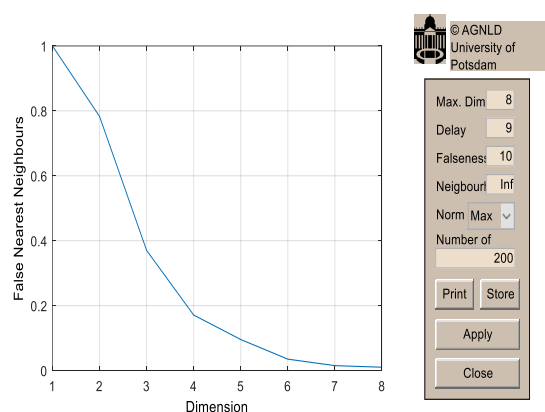


Рисунок 2 - Розрахунок m

В наступний час виконана ретельна обробка наданої інформації та зроблені розрахунки чисельних параметрів рекурентної діаграми (RP) кожного файлу бази Е. Обробка вказаної інформації надає можливість зробити уточнення щодо параметрів типізації даних ЕЕГ пацієнтів з епілепсією на час приступу.

Розраховано значення схованих параметрів – розмір простору вкладення (рис. 2) та значення параметру затримки (рис. 1). Побудовані рекурентні діаграми та визначені чисельні значення параметрів JRQA аналізу (рис.3).

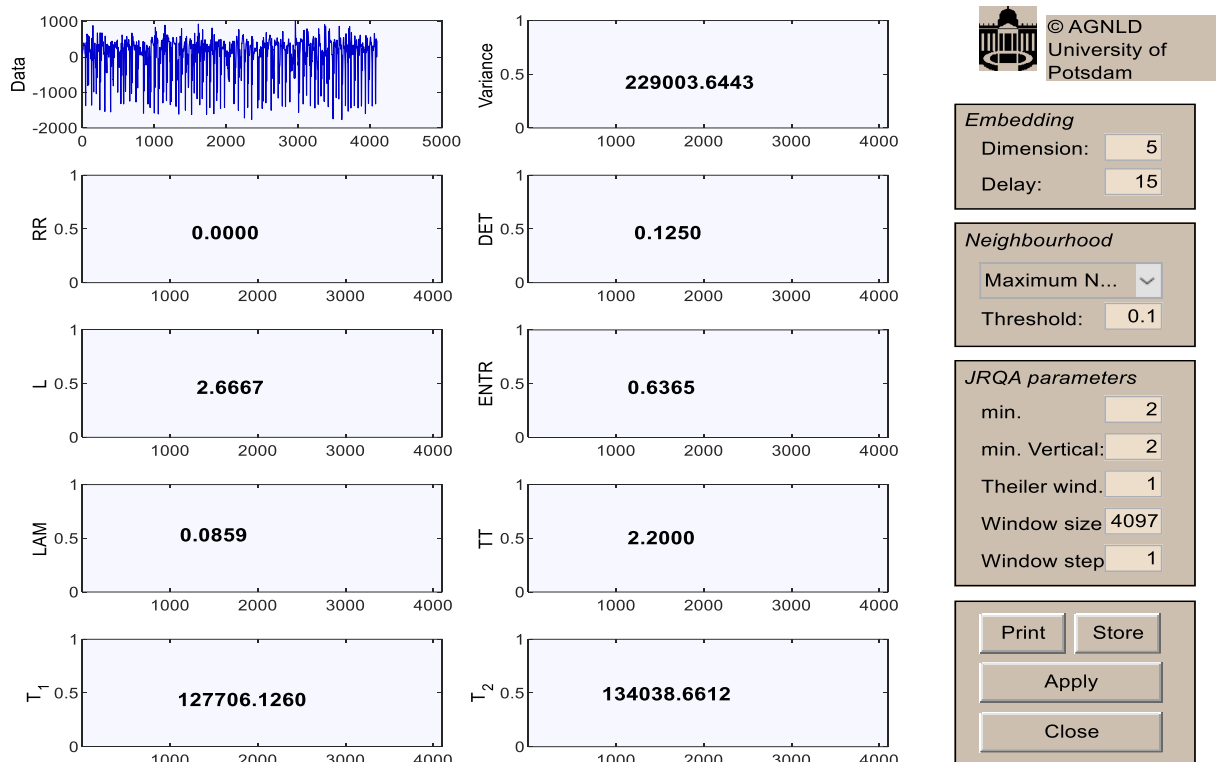


Рисунок 3 - Розрахунок значення параметрів JRQA для s001.txt $\tau=15$, $m=5$

Аналогічним чином визначалися значення й параметри для кожного пацієнту бази даних Е. Отримано цікаві чисельні результати. В наступний час отримані результати надані для обговорення неврологам. Зіставлення та порівняння зазначених параметрів дозволяє розглянути питання про їх використання для уточнення задачі нечіткої типізації представленої інформації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Білозьоров В.Є. Використання методу нелінійного рекурентного аналізу до типізації даних часових рядів електроенцефалографії. В.Є. Білозьоров, В.Г. Зайцев, О.В. Погорелов, О.Л. Хижа // Системні технології. Регіон. міжвуз. збір. наук. праць. - Д.: - вип. 2 (145), 2023. - с.82-104.
2. Recurrence Quantification Analysis. [Online] Available: <http://www.recurrenceplot.tk/rqa.php>.
3. EEG Time Series Data (Department of Epileptology University of Bonn, Germany). Available online: http://epileptologie-bonn.de/cms/front_content.php?idcat=193&lang=3&changelang=3 (accessed on 25 September 2021)

4. Systems with Emphasis on Multi-domain Feature Extraction and Classification using Machine Learning," BRAIN Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience 8.4. 2017., p. 109-129.

USE OF JRQA INDICATORS OF ELECTROENCEPHALOGRAPHY DATA FOR THEIR TYPIFICATION

Vadym Zaytsev, Oleksandr Khizha

Abstract. *The paper calculated JRQA indicators from real data from group E of the Bonn Medical University database during an epileptic attack. An analysis of the corresponding calculated JRQA parameter values for the same data is presented. Comparison and comparison of these parameters allows us to consider the issue of their use to clarify the problem of fuzzy typing the presented information.*

Keywords: *Nonlinear recurrent analysis, electroencephalography, JRQA parameters.*

REFERENCE

1. Bilozyorov V.E. Using the method of nonlinear recurrent analysis to typify time series data of electroencephalography. V.E. Bilozyorov, V.G. Zaitsev, O.V. Pogorelov, O.L. Khizha // System technologies. Region. interuniversity gathering. of science works - D.: - issue 2 (145), 2023. - pp. 82-104.
2. Recurrence Quantification Analysis. [Online] Available: <http://www.recurrenceplot.tk/rqa.php>.
3. EEG Time Series Data (Department of Epileptology University of Bonn, Germany). Available online: http://epileptologie-bonn.de/cms/front_content.php?idcat=193&lang=3&changelang=3 (accessed on 25 September 2021).
4. Systems with Emphasis on Multi-domain Feature Extraction and Classification using Machine Learning," BRAIN Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience 8.4. 2017., p. 109-129.

ДО ПИТАННЯ ПОБУДОВИ АЛГОРИТМІВ ПЕРЕДАЧІ ПОТОКОВОГО ВІДЕО ДЛЯ МЕРЕЖ З НЕСТАБІЛЬНОЮ ПРОПУСКНОЮ ЗДАТНІСТЮ

Зінченко А.В., Горна О.В.

Інститут транспортних систем і технологій НАН України, Україна

Анотація. Розглянуто деякі питання розробки перспективних алгоритмів стиснення відеопотоку, здатних надійно передавати дані за наявності значних коливань пропускної здатності та в умовах застосування засобів радіоелектронної боротьби. Запропоновано модифікацію технології стиснення відеопотоку MJPEG, що адаптована для мереж з мінливою та нестабільною пропускною здатністю. Розроблені в рамках даної роботи алгоритми дозволяють використовувати стандартний код як декодера MJPEG на клієнтській стороні, так і енкодера на серверній. Працездатність та надійність запропонованого алгоритму передавання відеопотоку MJPEG була випробовувана в польових умовах. За допомогою розробленого транскодера виявилось можливим передавати достатньо стабільне зображення з дрона через мережу WiFi в умовах наявності в ефірі імпульсних перешкод.

Ключові слова: відеоспостереження, системи відеомоніторингу, стиснення відео, алгоритми передачі відео, системи передачі відео в умовах радіоелектронної боротьби.

Вантажні перевезення, організація пасажирського транспорту, робота спеціальної, військової та сільськогосподарської техніки потребують чіткого контролю та нагляду, що може бути реалізовано впровадженням відеокамер спостереження. В умовах воєнного часу на перший план виходять проблеми якості та надійності передачі зображення. В свою чергу, забезпечення надійності передавання відео в реальних умовах залежить від параметрів самої мережі передачі.

Три найважливіші фактори визначають якість відеозв'язку та потокового відео – це пропускна здатність мережі, показники втрати пакетів та їх затримки. Наявність достатньої пропускної здатності мережі і відсутність втрат пакетів є критичними параметрами, що впливають на якість передачі. Низька пропускна здатність мережі, навіть короточасна, може спричинити появу артефактів або спотворення відео. У разі порівняно тривалої нестачі пропускної здатності передача відеопотоку може бути повністю перервана.

Характеристики смуг пропускання, доступних для потокового відео в мобільних та фіксованих мережах, зазвичай відрізняються. У той час як у стаціонарних мережах у деяких випадках можливо замовити канал з гарантованою пропускнуою здатністю, українські мобільні оператори взагалі не пропонують такої можливості. Середня швидкість мобільного інтернету в сучасній Україні сприймається як вища за середньоєвропейську для мереж такої ж якості, але відсутність покриття 3G і 4G за межами міст зумовлює низьку актуальну швидкість передачі даних. Проблема загострюється через наявність імпульсних перешкод або загальну нестабільність мереж телекомунікаційних операторів, особливо в районах, прилеглих до зони бойових дій.

Для клієнтів поза зоною покриття 4G або 3G передача відеопотоку навіть з низькою роздільною здатністю стає практично неможливою, особливо в напрямку від клієнта ("upload") [1]. Аналогічна проблема виникає в умовах змінної смуги пропускання, коли її середнє значення близьке до мінімально необхідного для конкретного кодеку стиснення. Отже, розробка та адаптація алгоритмів стиснення та стабільної передачі відеопотоку за наявності значних коливань пропускнуої здатності залишатися серйозною проблемою, актуальність якої особливо зросла під час війни.

Існуюча технологія стиснення відеопотоку формату MJPEG була адаптована для мереж з мінливою та нестабільною пропускнуою здатністю [2], що дозволило отримувати задовільну якість зображення під час ретрансляції відеопотоку з IP-камер через радіомережі в умовах нестабільної мережі за наявності імпульсних перешкод.

Модифікований алгоритм енкодера [2, 3] виконується на серверній частині, що дозволяє використовувати стандартні декодери на стороні клієнта, наприклад, вбудовані у браузер Firefox або Chrome. В той же час при необхідності використання іншої серверної частини буде потрібно заново імплементувати програмні модифікації.

В рамках даного дослідження запропоновано альтернативний функціонально аналогічний підхід типу "man-in-the-middle", що може бути

реалізований у вигляді додаткового коду javascript без необхідності внесення змін в серверну частину MJPG-streamer або іншого потокового сервера. Даний підхід ґрунтується на тому факті, що керування з'єднанням функціонально не пов'язано з кодуванням відеопотоку, таким чином алгоритм керування з'єднанням може бути вбудований у код вебсторінки, що асоційована з модулем output_http. Функціональна схема javascript-коду наведена на рис. 1.

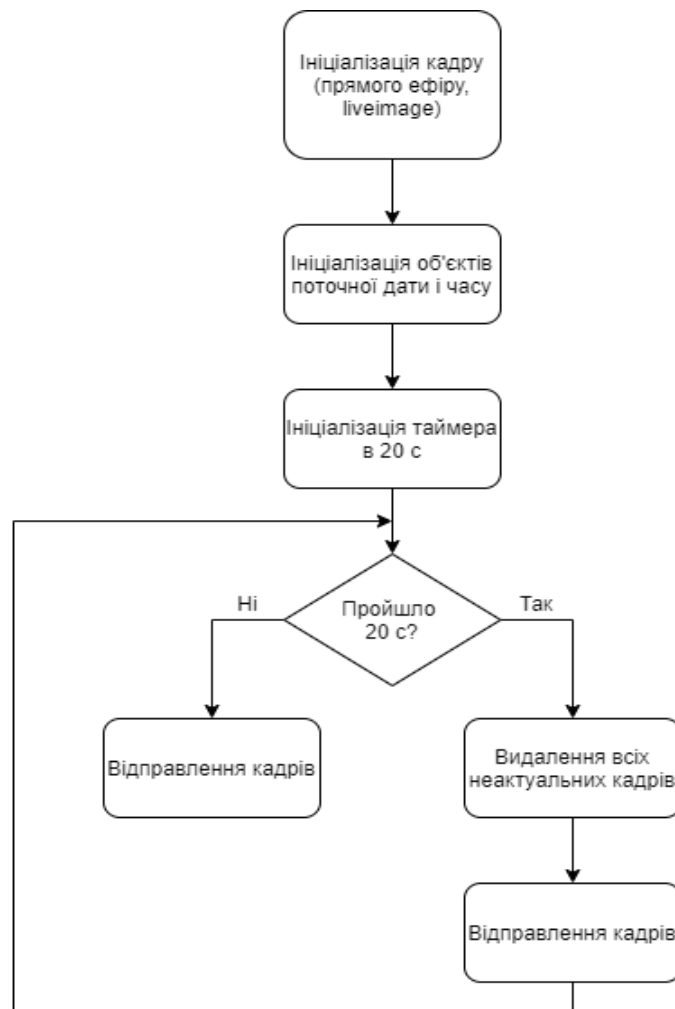


Рис. 1. Блок-схема javascript-коду керування з'єднанням

Алгоритм керування з'єднанням використовує таймер, при спрацюванні якого перевіряється наявність в буфері неактуальних кадрів, що можливо там зберігаються деякий час через несвоєчасну відправку даних при тимчасовому зниженні пропускнуєї здатності транспортної мережі. При наявності неактуальних кадрів вони видаляються, тим самим проводиться актуалізація даних у буфері. Одночасно з'єднання клієнта з сервером розривається, та

ініціюється повторно. Після чого процес повторюється, поки наявні дані для передачі. На практиці значення часу таймера достатньо задавати в проміжку 10-20 секунд.

Після розриву з'єднання та повторного підключення клієнта йому передаються актуальні JPG-фрейми.

Дана модифікація алгоритму значно простіше в реалізації. До її недоліків можна віднести регулярний розрив з'єднання за таймером, що в принципі не спричиняє візуального дискомфорту при перегляді, а також можливість перегляду тільки за допомогою Інтернет-браузера. При перегляді у плеєрах javascript-код виконуватися не буде.

Працездатність та надійність запропонованого алгоритму передавання видеопотоку MJPEG була випробовувана в польових умовах. За допомогою розробленого транскодера виявилось можливим передавати достатньо стабільну „картинку” з дрона через мережу WiFi в умовах наявності в ефірі імпульсних перешкод.

Технологія також може бути успішно застосована в мережах супутникового зв'язку Starlink, що в деяких умовах мають проблеми з доставкою контенту за протоколами RTSP.

ЛІТЕРАТУРА

1. Testing IP Video - Super Low Bandwidth [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://ipvm.com/reports/test-ip-video-over-super-low-bandwidth>
2. Зінченко А.В., Благій О. Ю. Адаптація технологій стиснення відео для мереж зі змінною та нестабільною пропускною здатністю. Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури: збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Київ, 14-16 грудня 2022р.). Київ: ДП ДержавтотрансНДІпроект. 2023. С. 168-172.
3. V. Khilenko, M. Galinski, A. Zinchenko and V. Danylov, "Improving the Quality of Automated Vehicle Control Systems Using Video Compression Technologies for Networks with Unstable Bandwidth," 2023 Communication and Information Technologies (KIT), Vysoke Tatry, Slovakia, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/KIT59097.2023.10297066

ON DEVELOPMENT OF A STREAMING VIDEO TRANSMISSION ALGORITHM FOR THE NETWORKS WITH UNSTABLE BANDWIDTH

Andrii Zinchenko, Olga Gorna

Abstract. *Some questions of development of advanced video transmission algorithms that could robustly operate in the electronic warfare conditions are considered. The technology of adaptation of MJPEG compressed video stream for the networks with variable and unstable bandwidth is proposed. The new approach where connection control is separated from encoder basing on man-in-the-middle scenario is developed. In this case it became possible to preserve not only standard decoders on the client side, but the encoder code on the server side as well. The performance and reliability of the proposed MJPEG transmission algorithm was demonstrated in the field tests. The MJPEG transcoder based on developed algorithm demonstrated sufficiently stable video stream from the drone via WiFi network in the presence of impulse signal jamming.*

Keywords: *Video Surveillance, CCTV, Video Compression, Real-Time Video Monitoring, Electronic Warfare Resistant Video Transmission.*

REFERENCES

1. Testing IP Video - Super Low Bandwidth: <https://ipvm.com/reports/test-ip-video-over-super-low-bandwidth>
2. Zinchenko A., Blagii O. Adaptation of video compression technologies for the networks with variable and unstable bandwidth. Prospects for the development of road transport and infrastructure: Book of Abstracts (Kyiv, 14-16 December 2022). Kyiv:DergavtotransNDIproect. 2023. P. 168-172.
3. V. Khilenko, M. Galinski, A. Zinchenko and V. Danylov, "Improving the Quality of Automated Vehicle Control Systems Using Video Compression Technologies for Networks with Unstable Bandwidth," 2023 Communication and Information Technologies (KIT), Vysoke Tatry, Slovakia, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/KIT59097.2023.10297066

КОМПЛЕКСНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ ШИХТИ В ДОМЕННУ ПІЧ

Іванча М.Г., Вишняков В.І., Муравйова І.Г., Щербачов В.Р.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ

Анотація. *Раціональний режим завантаження доменної печі – найважливіша умова її високоефективної роботи. Вибір раціональних значень управляючих параметрів режиму завантаження здійснюється на підставі інформації, що отримується за допомогою інструментальних засобів та математичних моделей. Математичні моделі процесу завантаження доменної печі є необхідними компонентами експертних (інтелектуальних) систем управління доменною плавкою. Представлена комплексна математична модель процесу завантаження багатокомпонентної шихти у доменну піч відрізняється від відомих розробок урахуванням перерозподілу компонентів в об'ємі завантажуваних порцій під час руху трактом «шихтоподача – доменна піч», що забезпечує можливість отримання розрахункових характеристик розподілу кожного компонента шихти та визначення складу утворюваних сумішей шихтових матеріалів у будь-якій заданій зоні колошника. Наявність такої моделі відкриває нові можливості в управлінні процесом доменної плавки, а також у проведенні аналітичних досліджень умов шлакоутворення та розподілу властивостей розплавів по перерізу доменної печі.*

Ключові слова: *доменна піч, система завантаження, експертна система, шихта, режими, розподіл, математична модель, компоненти, розплави.*

Вступ. Раціональний режим завантаження доменної печі, повною мірою відповідний шихтовим умовам, що склалися, і дутьовому режиму, є однією з основних умов економічної високоефективної роботи доменної печі. Спрямована розробка та обґрунтований вибір параметрів режиму завантаження можуть здійснюватися за наявності розрахункових інструментів, що забезпечують можливість попередньої оцінки впливу змін режиму завантаження на хід плавки. Такими інструментами є математичні моделі процесу завантаження доменної печі, які є необхідним компонентом інтелектуальних (експертних) систем управління доменною плавкою. Незважаючи на значну кількість розробок у цій галузі, яка значно зросла з оснащенням доменних печей безконусними завантажувальними пристроями (БЗП), можна відзначити, що більшість математичних моделей процесу

завантаження доменної печі забезпечують розрахункове визначення характеристик розподілу коксу та залізорудної частини шихти в цілому, тобто, розподілу рудних навантажень, без урахування розподілу окремих компонентів, що входять до складу обох частин шихти. Характерним для більшості відомих моделей є відсутність урахування процесів перерозподілу компонентів у об'ємі подачі (порції) на всіх стадіях її руху трактом «шихтоподача – поверхня засипу». В Інституті чорної металургії НАН України ім. З.І. Некрасова (ІЧМ НАНУ) протягом останніх років розроблена та безперервно вдосконалюється комплексна математична модель процесу завантаження багатокомпонентної шихти в доменну піч, яка являє собою результат синтезу низки математичних моделей, що максимально можливою мірою враховують особливості руху багатокомпонентних порцій шихтових матеріалів від шихтоподачі до поверхні засипу, і, насамперед, переміщення та перемішування масивів шихтових матеріалів у процесі формування порцій на головному конвеєрі і у скіпах, шлюзування їх у бункері БЗП та розподілу на поверхні засипу [1].

Основний матеріал. Загальна блок - схема алгоритму моделювання процесу завантаження багатокомпонентних порцій шихтових матеріалів в доменну піч показана на рис. 1.

Складовими комплексної математичної моделі процесу завантаження багатокомпонентної шихти у доменну піч є наступні.

Модель формування багатокомпонентних порцій шихти в системах завантаження з конвеєрною та зі скіповою доставкою шихти на колошник.

Структура порції в системах завантаження з конвеєрною доставкою шихти на колошник однозначно задається присвоєнням компонентам відповідних індексів, завданням мас доз компонентів, визначенням провідного компонента (що надходить першим до бункеру завантажувального пристрою), завданням значень зміщення початку дози інших (ведених) компонентів, виражених в одиницях маси щодо початку дози провідного компонента. При конвеєрному завантаженні у бункер БЗП кожна частина порції на конвеєрі, що відрізняється складом компонентів, утворює в бункері окремий шар, в якому

зберігаються вихідні маси компонентів та їх співвідношення. У системах із скіповою доставкою шихти на колошник порція шихтових матеріалів у закінченому вигляді формується у бункері завантажувального пристрою. У зв'язку з цим, разом з послідовністю завантаження скіпів подачі, має задаватися розташування шарів компонентів та їх сумішей для кожного скіпа подачі у вигляді індексу шару, що відповідає черговості надходження компонента або суміші компонентів у скіп, із зазначенням мас шихтових матеріалів у кожному шарі.

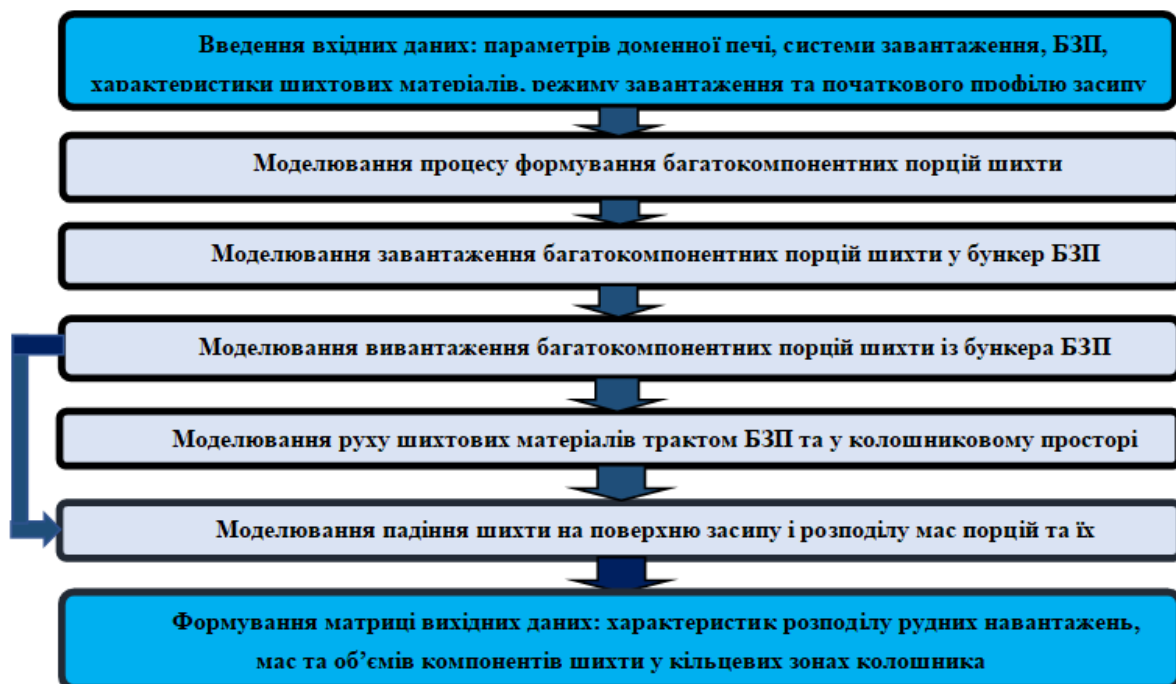


Рисунок 1 - Загальна блок - схема алгоритму моделювання процесу завантаження багатокомпонентних порцій шихтових матеріалів у доменну піч.

Вивантаження матеріалів зі скіпа у бункер БЗП здійснюється в процесі руху скіпа в розвантажувальних кривих, починаючи з моменту, коли кут нахилу вільної поверхні матеріалу у скіпі до горизонталі перевищить кут опору зсуву матеріалу. Під час вивантаження скіпа відбувається інтенсивне перемішування шарів шихти, що сформувалися під час його завантаження. Схема розташування завантажених та вивантажуваних шарів шихтових матеріалів у скіпі показана на рис. 2 а. Вихідними даними моделі є маса, об'єм та компонентний склад шарів шихти, що завантажуються в бункер БЗП.

Модель завантаження багатокомпонентних порцій шихти в бункер БЗП, що враховує, у тому числі, перерозподіл компонентів в об'ємі скіпа при повороті його в розвантажувальних кривих.

Визначення розподілу мас компонентів та їх сумішей в об'ємі порції, завантаженої у бункер БЗП, для варіантів скіпового та конвеєрного завантаження бункера здійснюється ідентично. Виходячи з відомого об'єму шару шихтових матеріалів завантажувється в бункер БЗП та його компонентного складу, визначаються координати точок перетину прямих, обмежуючих поверхню шихтових матеріалів, що утворюється після завантаження даного шару, з лініями внутрішнього контуру бункера БЗП. Таким чином, стає можливим представити структуру порції в бункері БЗП у вигляді послідовного ряду шарів різної форми з відомим об'ємом та складом компонентів кожного шару, що за наявності індексу кожного шару однозначно характеризує структуру багатокомпонентної порції в бункері (рис. 2 б).

Модель вивантаження багатокомпонентних порцій шихти із бункера БЗП, що забезпечує розрахункове визначення змісту кожного компонента у вихідному потоці.

Для опису процесу руху шихтових матеріалів у бункерах використаний один із підходів, на базі якого на даний момент створені математичні моделі для конкретних об'єктів та отримані результати, прийнятні для практичного використання [2].

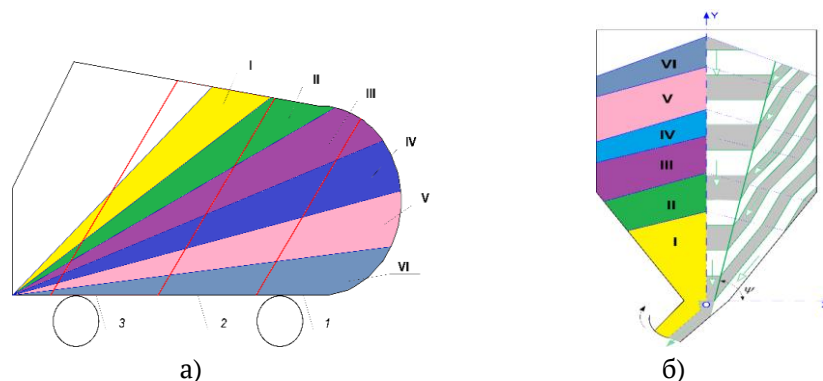


Рисунок 2 - Схема розташування завантажених та вивантажуваних шарів шихтових матеріалів у скіпі (а) та у бункері БЗП (б).

1 – 3 – шари шихтових матеріалів, що сформувалися під час завантаження скіпа;
I - VI – вивантажувані зі скіпа (завантажені в бункер БЗП) шари шихтових матеріалів

Цей підхід базується на описі закономірностей витоку шихтового матеріалу у вигляді залежностей, що визначають об'єм зони активного руху матеріалу («фігури випуску»), та об'єми масивів сипучого матеріалу, що послідовно надходять надалі у зону активного руху матеріалу і рухаються вертикально до випускного отвору бункера (рис. 2). У моделі задаються форма зони активного руху матеріалу та послідовність виходу елементарних об'ємів матеріалу із бункера, які багаторазово підтверджені експериментально. Вихідними даними моделі є маси компонентів у кожному заданому об'ємі матеріалу, що вивантажується.

Модель руху шихтових матеріалів по тракту БЗП (у клапанному вузлі, центральній трубі та по лотковому розподільнику) та у колошниковому просторі.

Модель містить математичний опис процесу руху шихтових матеріалів від площини випускного отвору бункера БЗП до їх сходу з лотка, що обертається. Для опису складного руху частинок шихти по поверхні лотка використовується система диференціальних рівнянь. Вихідними даними моделі є величина та напрямок швидкості руху частинок шихти в момент сходу з лотка.

Модель падіння багатокомпонентної шихти на поверхню засипу та розподілу на ній у вигляді формування шарів, що забезпечує розрахункове визначення компонентного складу шихти у заданій зоні колошника.

Модель містить рівняння руху шихти у колошниковому просторі доменної печі та залежності, які описують процес формування поверхні засипу на колошнику у вигляді поступового нарощування та розподілу об'єму шихтових матеріалів, що вивантажуються, до повного спорожнення бункера БЗП. У моделі враховані особливості формування поверхні засипу в пристінковій та осьовій зонах доменної печі, а також вплив процесів перерозподілу коксового шару при вивантаженні на нього залізорудної порції. Модель забезпечує розрахункове визначення характеристик розподілу мас та об'ємів шихтових матеріалів, що вивантажуються у різних кутових положеннях лотка, по кільцевим зонам колошника. Вміст компонентів шихти та її склад у кільцевих зонах колошника визначається на підставі даних про вміст компонентів у

потоці шихти у заданих кутових положеннях лотка, які є вихідними даними моделі вивантаження порцій шихти із бункера БЗП. Приклад фрагмента таблиці з вихідними даними комплексної математичної моделі процесу завантаження багатокomпонентної шихти у доменну піч за результатами моделювання циклу завантаження, що складається з 10 подач, наведено нижче (табл. 1).

Таблиця 1

Фрагмент таблиці з вихідними даними комплексної математичної моделі процесу завантаження багатокomпонентної шихти у доменну піч.

Параметр, характеристика	№ кільцевої зони колошника									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Значення (у відносних одиницях)									
Радіус межі зони	0.316	0.447	0.548	0.632	0.707	0.775	0.837	0.894	0.949	1.000
Радіус середини зони	0.158	0.382	0.498	0.590	0.670	0.741	0.806	0.866	0.922	0.974
Маса агломерата	0.059	0.088	0.116	0.111	0.100	0.089	0.091	0.103	0.115	0.128
Маса окатишів	0.021	0.041	0.077	0.110	0.136	0.160	0.145	0.119	0.104	0.088
Маса коксу	0.156	0.131	0.097	0.087	0.085	0.082	0.088	0.092	0.092	0.091
Маса скрапу	0.020	0.040	0.076	0.109	0.145	0.180	0.137	0.113	0.099	0.081
Маса антрациту	0.018	0.038	0.076	0.110	0.130	0.145	0.152	0.125	0.111	0.096
Маса «коксу – горіху»	0.026	0.047	0.083	0.116	0.130	0.141	0.146	0.119	0.104	0.089
Маса руди	0.050	0.079	0.117	0.129	0.111	0.087	0.099	0.103	0.108	0.117
Маса рудної частини	0.045	0.070	0.101	0.111	0.114	0.117	0.111	0.109	0.111	0.112
Маса коксової частини	0.149	0.125	0.097	0.090	0.089	0.087	0.093	0.093	0.090	0.088
Рудне навантаження	0.300	0.557	1.046	1.229	1.289	1.342	1.200	1.172	1.227	1.279
Об'єм рудної частини	0.046	0.071	0.103	0.111	0.113	0.115	0.109	0.108	0.111	0.113
Об'єм коксової частини	0.152	0.127	0.097	0.090	0.088	0.086	0.091	0.092	0.090	0.088

Висновки. Представлена модель протягом останніх 15 років успішно використовувалася ІЧМ для вирішення низки технологічних завдань, щодо вибору раціональних режимів завантаження діючих доменних печей, які

працюють на багатокомпонентній шихті, в тому числі, для вибору параметрів спеціальних режимів завантаження, що забезпечують створення необхідних умов гарнісажування або промивання в залежності від поточних вимог процесу плавки. Інформація про розподіл компонентів шихти по перерізу печі, яка може бути отримана при використанні розробленої комплексної моделі, необхідна також для проведення аналітичних досліджень фізико – механічних та фізико – хімічних процесів у доменній печі, зокрема, умов шлакоутворення та розподілу властивостей розплавів у різних зонах доменної печі.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Complex Mathematical Model of the Distribution of Multicomponent Charge in a Blast Furnace / N.G. Ivancha, I.G. Murav'eva, E.I. Shumel'chik, V.I. Vishnyakov, Yu.S. Semenov. Metallurgist. May 2018. Volume 62. Issue 1–2. P. 95–100.
2. Nakano K., Isei Y., Natsui T., Watanabe K., Kishino T. Technical Report Tracking Technique of Burden Materials for Blast Furnace with Bell-less Top by Using RFID. Nippon Steel technical report, March 2020, no. 123, pp. 83-89.

COMPLEX MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF LOADING A MULTICOMPONENT CHARGE INTO A BLAST FURNACE

Ivancha M.G., Vishnyakov V.I., Myrav'yova I.G., Shcherbachov V.R.

Abstract. *The rational mode of loading the blast furnace is the most important condition for its highly efficient operation. The selection of rational values of the control parameters of the load mode is carried out on the basis of information obtained with the help of instrumental tools and mathematical models. Mathematical models of the process of blast furnace loading are necessary components of expert (intelligent) control systems for blast furnace melting. The presented complex mathematical model of the process of loading a multicomponent charge into a blast furnace differs from known developments taking into account the redistribution of components into the volume of loaded portions during movement along the path "charge feed - blast furnace", which provides the possibility of obtaining calculated characteristics of the distribution of each component of the charge and determining the composition of the formed mixtures of charge materials in any given zone of the furnace. The existence of such a model opens up new opportunities in the management of the blast furnace smelting process, as well as in conducting analytical studies of the conditions of slag formation and the distribution of properties of melts across the section of the blast furnace.*

Keywords: *blast furnace, loading system, expert system, charge, modes, distribution, mathematical model, components, melts*

ПЕРСПЕКТИВИ РЕФАКТОРИНГУ ОНТОЛОГІЙ

Карповський Д.О., Шинкаренко В. І.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. *Існуючі онтології доповнюються, розширюються в обсязі, підвищується їх складність. З часом виникають проблеми інтеграції нових знань у якусь онтологію та підтримки вже існуючих онтологій. Проблема посилюється тим, що онтології зазвичай наповнені знаннями з баз даних і анотованих документів на природній мові, що значно збільшує обсяг і складність онтологій. Представлена робота присвячена обробці та аналізу існуючих онтологій і застосуванню до них певних методів рефакторингу з метою вдосконалення онтології та покращення читабельності представлених знань для розробників і користувачів. Виконується розробка відповідного програмного забезпечення та метрик, які будуть об'єктивно засвідчувати ефективність застосування методів рефакторингу. У процесі дослідження було виявлено певний перелік шаблонів, які можна використовувати для рефакторингу онтологій, і реалізовано один з них – шаблон «Property Raising» – перенесення властивості в суперклас. В результаті тестування було встановлено, що після застосування цього шаблону обсяг вихідного файлу з даними онтології зменшився на 3-5%, за умови, що класи-нащадки містили спільні властивості, які були передані суперкласу.*

Ключові слова. *онтологія, рефакторинг, SPARQL, Ruby, патерни*

Вступ. На сьогодні онтології у різних формах використовуються в різних галузях діяльності людини. Вони постійно доповнюються, розширюються в об'ємах, збільшується їх складність. З плином часу з'являються проблеми інтеграції в деяку онтологію нових знань і підтримки вже існуючих онтологій.

Проблема поглиблюється тим, що онтології зазвичай наповнюються знаннями із баз даних та анотованих документів природною мовою, що ще значно збільшує обсяги та складність онтологій.

Представлена робота присвячена обробці та аналізу існуючих онтологій і застосуванню до них певних методів рефакторингу задля покращення онтології та поліпшення читабельності представлених знань для розробників та користувачів. Крім того розглядається питання розробки відповідного програмного забезпечення та розробки метрик, які будуть об'єктивно засвідчувати ефективність застосування методів рефакторингу.

Основна частина. У процесі дослідження було розглянуті певні патерни, які можуть бути використані задля рефакторингу онтологій, та реалізовано один із них – патерн «Підняття властивості», тобто перенесення властивості до суперкласу.

Оскільки основними елементами онтологій є концепти, екземпляри, поняття, атрибути і відношення, то всі маніпуляції задля покращення онтологій будуть застосовуватись до них.

Передбачаються дослідження ефективності використання патернів для первинного рефакторингу онтологій [1]:

«Доповнення класу», «Доповнення класу нащадка», «Доповнення суперкласу» - додавання властивостей до вибраного класу;

«Скорочення ієрархії» – за необхідності виконати об'єднання суперкласу та класу нащадка задля зменшення кількості зв'язків;

«Доповнення ієрархії» – за необхідності створити суперклас та його нащадків задля сепарації атрибутів, зв'язків;

«Видалення класу» – за необхідності видалити певний клас, а всі його атрибути перенести до класу, який посилається на даний клас;

«Трансфер властивості» – перенесення властивості із одного класу до іншого;

«Підняття властивості» – перенесення властивості до суперкласу;

«Опускання властивості» - перенесення властивості до класу нащадка;

«Накладання обмежень» - зміна напрямку та властивостей зв'язків між класами.

Наразі розробляється програмний додаток рефакторингу логічних моделей, у якому відбувається завантаження оригінальної онтології, аналіз даної моделі на консистентність, зв'язків між об'єктами на предмет пошуку спільних властивостей та виділення цих властивостей в клас-нащадок, або базовий клас.

Додаток реалізується за допомогою мови програмування Ruby та фреймворку Ruby on Rails. У ході аналізу даних онтології та виконання запитів використовується бібліотека (gem) “ruby-rdf/sparkle”. SPARQL – це мова запитів

RDF [2], тобто мова семантичних запитів до баз даних, здатна отримувати та маніпулювати даними, що зберігаються в Resource Description Framework (RDF)) форматі[3, 4].

Також виконується пошук спільних властивостей в класах-нащадках. За допомогою sparkle запитів та можливостей мови програмування Ruby проводиться аналіз атрибутів класів-нащадків певного суперкласу, і якщо кожен із них має однакові атрибути, то даний атрибут переноситься до суперкласу.

Після проведення тестування на наборі онтологій, структура яких мала спільні атрибути в класах нащадках, було виявлено, що об'єм оригінального файлу онтології було скорочено на 3-5% в залежності від об'єму файлу та обов'язкової наявності спільних атрибутів в класах-нащадках.

Також у процесі розробки знаходиться функціональність, яка дозволяє людині, яка працює із онтологією, краще зрозуміти її структуру. Ця функціональність розробляється за допомогою бібліотеки “railroady”, створеній для фреймворку Ruby on Rails [5, 6]. Після завантаження онтології до системи, користувач матиме можливість отримати зображення із UML-діаграмою структури онтології та зв'язками між її об'єктами.

Висновки. Наступним етапом даної роботи є програмна реалізація згаданих патернів рефакторингу та аналіз опрацьованих онтологій, розробка метрик, які будуть об'єктивно показувати ступінь покращення внаслідок використання патернів. В процесі аналізу можуть бути оцінені такі параметри як швидкість опрацювання запитів, доступність додавання нових елементів до онтології, можливість онтології до адаптації до певної бізнес моделі та т.і. [7].

Дана розробка допоможе підтримувати і доповнювати існуючі онтології, а також розробляти нові, застосовуючи методи рефакторінгу, щоб онтології можливо було підтримувати і доповнювати в майбутньому врівноважуючи обсяги і складність.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Gruber, T. R. (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Knowledge Acquisition, 5(2), 199-220.

2. Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., & Juristo, N. (1997). METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. Proceedings of the AAAI97 Spring Symposium Series on Ontological Engineering.
3. Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05.
4. Uschold, M., & Gruninger, M. (1996). Ontologies: Principles, Methods and Applications. The Knowledge Engineering Review, 11(2), 93-155.
5. Bechhofer, S., van Harmelen, F., Hendler, J., Horrocks, I., McGuinness, D. L., Patel-Schneider, P. F., & Stein, L. A. (2004). OWL Web Ontology Language Reference. W3C Recommendation.
6. Horridge, M., & Bechhofer, S. (2011). The OWL API: A Java API for OWL Ontologies. Semantic Web, 2(1), 11-21.
7. Staab, S., & Studer, R. (Eds.). (2004). Handbook on Ontologies. Springer

PERSPECTIVES OF ONTOLOGY REFACTORING

Dmytro Karpovskyi, Viktor Shynkarenko

Abstract. *Existing ontologies are supplemented and expanded in scope, increasing their complexity. Over time, integration issues arise with adding new knowledge to an ontology and maintaining existing ones. The problem is exacerbated by the fact that ontologies typically incorporate knowledge from databases and annotated documents in natural language, significantly increasing the volume and complexity of ontologies. This paper focuses on processing and analyzing existing ontologies and applying specific refactoring methods to enhance ontology and improve the readability of presented knowledge for developers and users. The development of corresponding software and metrics is carried out to objectively demonstrate the effectiveness of refactoring methods. During the research process, a certain list of patterns was identified that can be used for ontology refactoring, and one of them was implemented – the "Property Raising" pattern – transferring a property to a superclass. As a result of testing, it was found that after applying this pattern, the volume of the original ontology data file decreased by 3-5%, provided that the subclass contained common properties that were passed to the superclass.*

Keywords: *ontology, refactoring, SPARQL, Ruby, patterns.*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОТА З ЕЛАСТИЧНИМИ СИТАМИ

Кононов Д.О., Грицьков О.А.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

Анотація. *В металургійній галузі промисловості актуальною є проблеми розділення по заданій крупності - грохоченні вихідної металургійної сировини, зокрема коксу.*

Це забезпечує якісну роботу технологічного обладнання доменних печей і подання в них доменного коксу регламентованої крупності.

У зв'язку з цим, постійно ведуться дослідження і триває розробка нових способів грохочення і модернізація пристроїв для покращення роботи вібраційних грохотів.

Мета наукової роботи: експериментальне дослідження технологічних показників роботи вібраційного грохота з еластичними ситами.

В роботі приведено опис лабораторного вібраційного грохота з еластичним ситом, який використовується при дослідженні.

Проведено експериментальне дослідження технологічних показників роботи процесу грохочення вібраційного грохоту та побудовані залежності технологічних показників від параметрів роботи вібраційного грохота.

Показано, що найбільша ефективність грохочення спостерігається при частотах коливань в межах 22-27 Гц. При цих частотах, показники ефективності процесу грохочення змінюються в межах 78-90 %.

Зміна величини питомого навантаження від 10 т/(год×м²) до 16 т/(год×м²) викликає поступове зниження ефективності грохочення E_p від 90% до 65%.

Ключові слова: *вібраційний грохот, кокс, ефективність грохочення, частота коливань*

Мета: експериментальне дослідження технологічних показників роботи вібраційного грохота з еластичними ситами.

Об'єкт дослідження: вібраційний грохот з віброактивною еластичною поверхнею.

В металургійній галузі промисловості досить актуальними є проблеми розділення по заданій крупності - грохоченні вихідної металургійної сировини, зокрема коксу доменного, що є невідємним складовим компонентом доменої шихти. Зокрема, операції дрібного і середнього грохочення є одними з найголовніших, що забезпечують якісну роботу

технологічного обладнання доменних печей і подання в них доменного коксу регламентованої крупності [1,2]. У зв'язку з цим, постійно ведуться дослідження і триває розробка нових способів грохочення і модернізація пристроїв для покращення роботи припічних вібраційних грохотів [1, 2].

Вібраційний грохот з інерційним приводом (рис. 1) складається з наступних основних структурних вузлів і елементів: коробка 1, який представляє собою зварну конструкцію, що складається з двох бортовин, з'єднаних між собою зв'язок-балками, віброзбудника 2, закріпленого на двох верхніх зв'язок-балках коробка, самоочисної колосниково-карткової просіваючої поверхні 3, системи пружних зв'язків - гумових віброізоляторів циліндричної форми 4, на які спирається короб грохота, опорної рами 5 коробка.

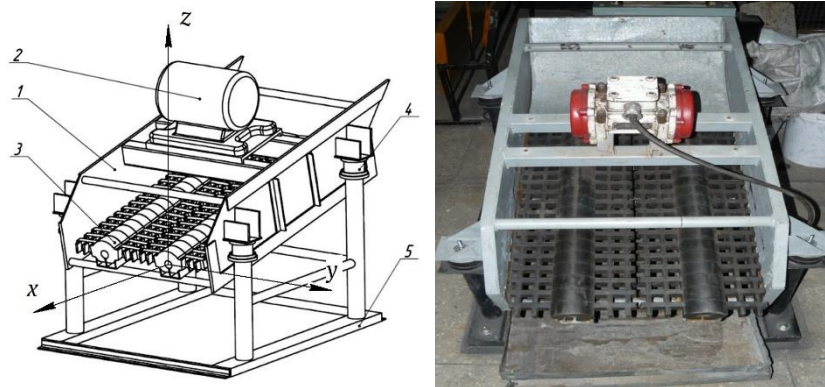


Рисунок 1 - Загальний вид лабораторної установки

Вібраційний грохот приводиться в рух регульованим віброприводом - одновальним інерційним віброзбуджувачем, на якому встановлено дебаланси зі змінною масою.

Головним критерієм оцінки результатів експериментальних досліджень є розрахункова ефективність процесу грохочення, яка визначалася як:

$$E_p = [(\beta - \alpha)(\alpha - \gamma)] / [\alpha(100 - \alpha)(\beta - \gamma)] \times 10^4 \%, \quad (1)$$

де α , β , і γ – відсотковий (процентний) вміст класу –25 мм у вихідному, надрешітному і підрешітному продуктах грохочення.

Дослідження проводилися з використанням кам'яновугільного коксу марки КД–2 крупністю (0–80) мм, з усередненим гранулометричним складом, приведеним в табл. 1.

Таблиця 1.

Усереднений гранулометричний склад коксу марки КД-2

Клас, мм	80 - 60	60 - 40	40 - 25	25 - 10	10 - 0
Вихід, %	17,9	19,64	21,51	23,9	17,05

Вміст крупного класу в підрешітному продукті – «закрупнення» $\varepsilon_{(+)}$:

$$\varepsilon_{(+)} = [100(\alpha - \gamma)(100 - \beta)] / [(\beta - \gamma)(100 - \alpha)] \% \quad (2)$$

Вміст дрібного класу в надрешітному продукті – «задрібнення» ν :

$$\nu = [100 \beta (\alpha - \gamma)] / [\alpha (\beta - \gamma)] \% \quad (3)$$

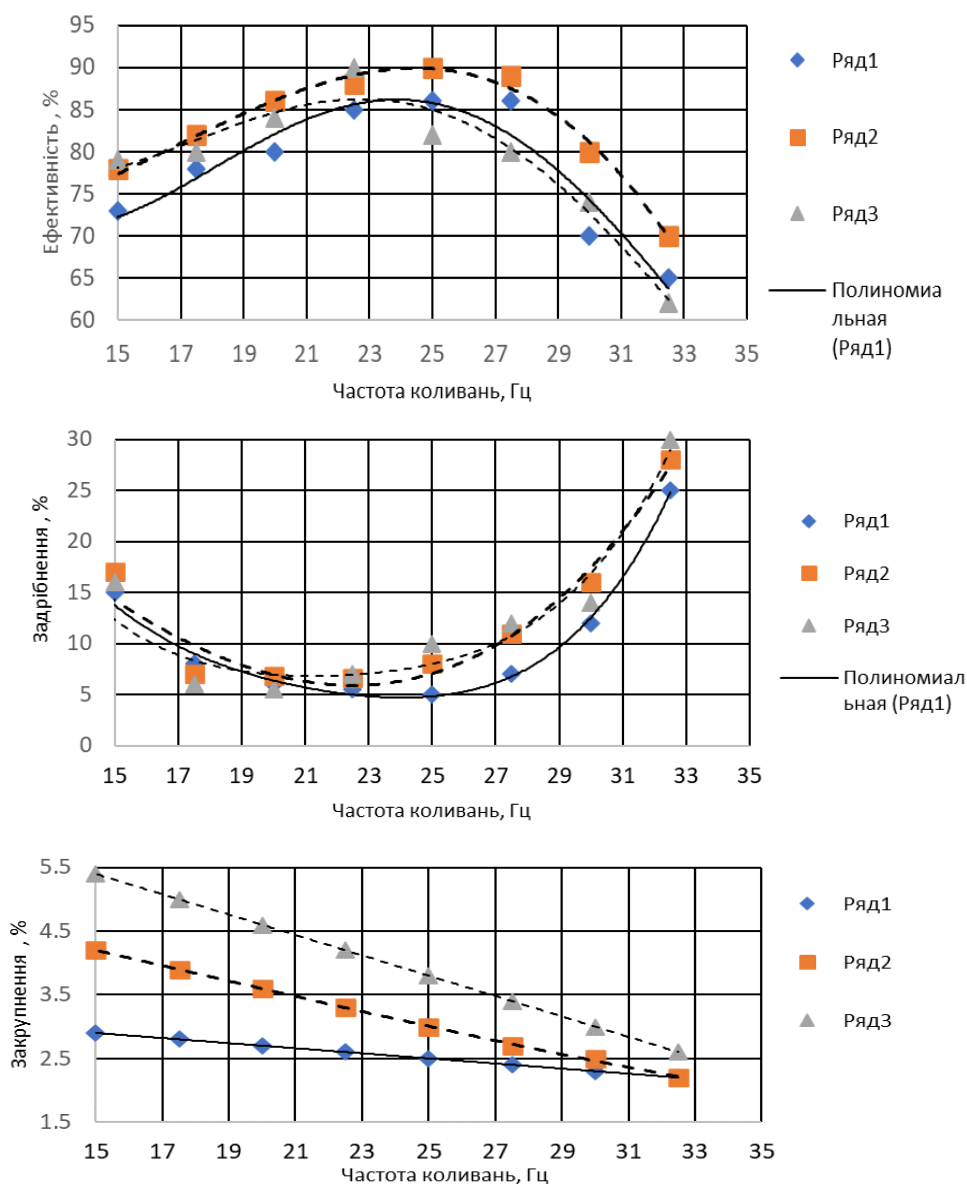


Рисунок 2 - Залежності технологічних показників грохочення коксу від частоти (ω) і амплітуди (A) коливань: 1, 2, 3 – $A_1 = 3$ мм, $A_2 = 5$ мм, $A_3 = 7$ мм

Аналіз отриманих графічних залежностей (рис. 2) дозволив встановити інтервал частот коливань (ω), які забезпечують високу ефективність грохочення, отриману при мінімальному закрупненні $\varepsilon_{(+)}$ підрешітного продукту і задрібнення v надрешітного продукту. Згідно з рис. 3. даний параметричний ряд частот знаходиться в оптимумі частот (22-27) Гц. При цьому в даному оптимумі частот коливань, показники ефективності процесу грохочення змінюються відповідно в межах (78-90) %.

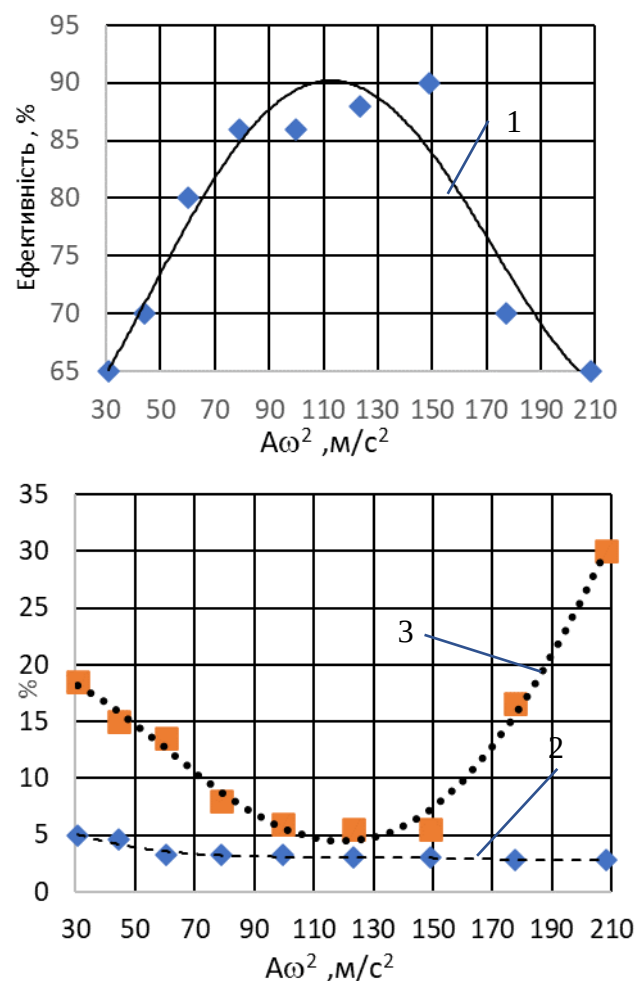


Рисунок 3 - Залежності технологічних показників грохочення коксу по класу -25 мм від прискорень коливань ($A\omega^2$) просівального пристрою: 1 – розрахункова ефективність грохочення (E_p);
2 – закрупнення ($\varepsilon_{(+)}$) підрешітного продукту класом +25 мм;
3 - задрібнення (v) надрешітного продукту класом -25мм.

Дослідження впливу питомого вагового навантаження проводилися при показниках амплітуди і частоти коливань, які склали відповідно (A) - 3 мм і (ω) – 19 Гц. При цьому, для варіювання показників ($q_{вих}$), шибєрним

затвором бункера завантаження проводилося регулювання товщини шару класифікованого матеріалу, який надходить на просівуючу поверхню.

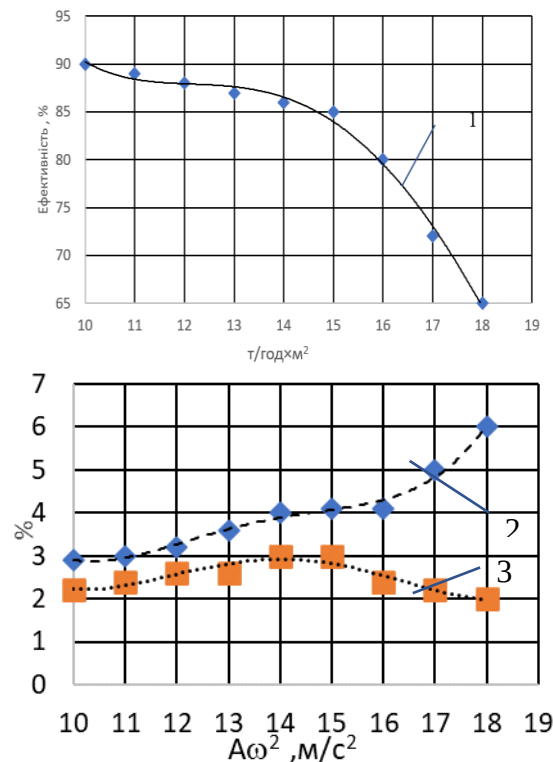


Рисунок 4 - Залежності технологічних показників вібраційного грохочення коксу від величини питомого вагового навантаження по вихідному живленню ($q_{\text{вих.}}$) при (A) = 3 мм і (ω) – 25 Гц:
1 – розрахункова ефективність грохочення (E_p); 2 - задрібнення (V) надрешітного продукту класом –25 мм; 3 – закрупнення ($E_{(+)}$) підрешітного продукту класом +25 мм.

Аналіз отриманих графічних залежностей технологічних показників процесу грохочення коксу від питомого вагового навантаження на сито (рис. 4) показав, що зміна величини питомого навантаження від 10 т/(год×м²) до 16 т/(год×м²) викликає поступове зниження ефективності грохочення E_p від 90% до 65%.

Висновки

Проведено експериментальне дослідження технологічних показників роботи процесу грохочення вібраційного грохоту та побудовані залежності технологічних показників від параметрів роботи вібраційного грохота.

Показано, що найбільша ефективність грохочення спостерігається при частотах коливань в межах 22-27 Гц. При цих частотах, показники ефективності процесу грохочення змінюються в межах 78-90 %.

Зміна величини питомого навантаження від 10 т/(год×м²) до 16 т/(год×м²) викликає поступове зниження ефективності грохочення E_p від 90% до 65%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Удосконалення обладнання та процесів вуглепідготовки і кососортування металургійного виробництва: монографія /Засельський В. Й., Пополов Д. В., Зайцев Г. Л., Білодіденко С. В., Кононов Д. О., Пелих І. В., Кривий Ріг: Р. А. Козлов, 2019.- 203 с.
2. Обґрунтування раціональних параметрів і розробка динамічно активної колосниково-карткової просіючої поверхні вібраційних грохотів [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.08 /Пелих Ігор Володимирович; Нац. металург. акад. України. - Дніпро, 2017.

RESEARCH OF THE TECHNOLOGICAL INDICATORS OF THE WORK OF A VIBRATING SCREEN WITH ELASTIC SIVES

Kononov Dmytro., Hrytskov Oleksandr.

Abstract. *In the metallurgical branch of industry, the problems of separation according to the given size - screening of the original metallurgical raw materials, in particular coke, are relevant.*

This ensures high-quality operation of the technological equipment of blast furnaces and supply of blast furnace coke of regulated size.

In this regard, research is constantly being conducted and the development of new methods of screening and modernization of devices to improve the performance of vibrating screens continues.

The purpose of the scientific work: an experimental study of the technological parameters of the vibration screen with elastic sieves.

The paper gives a description of the laboratory vibrating sieve with an elastic sieve, which is used in the research.

An experimental study of the technological parameters of the screening process of the vibrating screen was carried out and the dependence of the technological indicators on the parameters of the vibrating screen was constructed.

It has been shown that the highest screening efficiency is observed at oscillation frequencies in the range of 22-27 Hz. At these frequencies, the efficiency indicators of the screening process vary between 78-90%.

A change in the value of the specific load from 10 t/(h×m²) to 16 t/(h×m²) causes a gradual decrease in the screening efficiency from 90% to 65%.

Keywords: *vibrating screening, coke, screening efficiency, frequency of oscillations*

REFERENCES

1. Improvement of equipment and processes of coal preparation and skew sorting of metallurgical production: monograph / Zaselskyi V.Y., Popolov D.V., Zaitsev G.L., Bilodidenko S.V., Kononov D.O., Pelikh I.V. Kryviy Rig: 2019.
2. Justification of rational parameters and development of a dynamically active grate-card sieving surface of vibrating screens [Text]: diss. ... candidate technical Sciences: 05.05.08 / Ihor Volodymyrovych Pelikh; National metallurgist. Acad. of Ukraine. - Dnipro, 2017.

AUTOENCODER NEURAL NETWORK FOR UNIVARIATE TIME SERIES EMBEDDING

Eugene Koshel

*Department of computer technologies, Faculty of applied math, Oles Honchar Dnipro
National University, Ukraine*

Abstract. *The problem of time series embedding is a universal one. It is the main prerequisite when it comes to modeling of dynamical processes using systems of autonomous ordinary differential equations (ODEs) because they have hard requirements for the dimensionality of the problem. One-dimensional ODE can only exhibit 3 types of behavior while two-dimensional ODE can exhibit 9. This is why it is important to increase the dimensionality of the problem before starting the modeling to allow for wider range of possible behaviors in the final model. One way to increase the dimensionality is to delay-embed the time series data but this approach can be extended to allow the use of an autoencoder neural network that would associate a higher-dimensional vector to each point in the time series and will allow the modeling to be performed in higher dimension.*

Keywords: *time series analysis, time series embedding, dimensionality reduction, autoencoder, neural network, time series modeling, Takens's theorem.*

Introduction. Time series analysis is the process of extracting information from the series of data points in an attempt to obtain useful information about the system that produced it or to predict the next values in the series. The simplest form of the time series is a univariate series or just a sequence of one-dimensional measurements. If the system that the data was obtained from is sufficiently complex, the time series may exhibit periodic, quasi-periodic, chaotic behavior, drift, etc. It is easy for a human to see whether these behaviors are present or not simply by looking at the plotted sequence of data points, but this can hardly qualify as proper analysis. Luckily, there are methods developed in different fields that can be used for identification and quantification of different properties of the time series data. Most of these methods, however, have a hard requirements for the dimensionality of the problem and can yield nonsensical results if the dimension of the problem they are applied to is too low or too high. This issue can be solved by embedding the available time series data into a higher-dimensional space where the analysis methods can be applied.

Time series embedding is a mapping between the segments of the time series data and some vector space R^n . This mapping is expected to be an injective function that produces a smooth trajectory of embedding vectors for adjacent time series data segments. Usually the mapping is an unknown function that has to be approximated. Currently, the most popular method for approximating unknown functions is fitting a neural network to the data so that it will learn the hidden dependencies and will be able to produce accurate results for new inputs it was not trained on.

Research results. Consider the following formulation of the Takens's theorem [0]:

$$\varphi(X) = (\alpha(X), \alpha(f(X)), \dots, \alpha(f^{k-1}(X))), \quad (1)$$

$$\alpha(f^i(X)) = x_{t-\tau_i},$$

It states that there exists a function α that, when applied to the true vectors on the attractor of the modeled system, yields the time series data, separated from each other in time. From (1) it follows that if a segment of the time series is multiplied by a matrix of shape:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1d} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2d} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{\tau_{max}1} & a_{\tau_{max}2} & \dots & a_{\tau_{max}d} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

where columns of A are unitary vectors and $\sum_j a_{ij} = 1$. The number of columns d is the embedding dimension and the number of rows is given by the largest selected delay value. But if we also assume the following in (1):

$$\alpha(f^i(X)) = \beta(x_t, x_{t-1}, \dots, x_{t-l}) \quad (3)$$

where $\beta: R^l \rightarrow R$ is the *feature extraction function* that maps time series segments to the codomain of the unknown observation function α . The matrix (2) can be replaced with any function that maps the segment of the time series to the embedding space. For example, the Broomhead-King approach derives the matrix by using SVD decomposition of the time series [0] and the short-term Fourier transform utilizes a complex-valued matrix [0] for embeddings. In our case, we use an autoencoder network that models both α and β functions simultaneously as its encoder and decoder components:

$$\begin{aligned} E(x) &= A_e x + b_e, \\ D(y) &= A_d y + b_d, \end{aligned} \quad (4)$$

where A_e is a N by m matrix that maps N points of the trajectory into the m dimensional latent space, A_d is a m by 1 matrix that maps the points in the latent space to the last point of the converted segment of the time series.

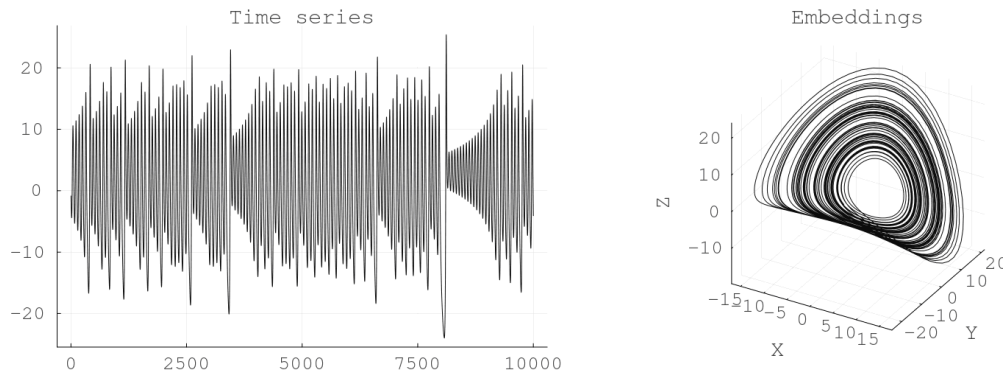


Figure 1: The embedding of the test time series obtained from calculating the norms of the vectors in the Lorenz system trajectory and balancing them to have a mean of zero.

The resulting embeddings are provided on the Fig. 1.

Conclusion. We have shown that valid time series embedding can be achieved by using an autoencoder neural network. The test embedding satisfies the Takens's theorem and accurately preserves the qualitative characteristics of the original system.

JIITEPATYPA / REFERENCE

1. Broomhead D.S. and King G. P. (1986). Extracting qualitative dynamics from experimental data. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Volume 20 (2-3), Pages 217-236. [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(86\)90031-X](https://doi.org/10.1016/0167-2789(86)90031-X).
2. Gupta, V. and Mittal, M. (2019). QRS Complex Detection Using STFT, Chaos Analysis, and PCA in Standard and Real-Time ECG Databases. *J. Inst. Eng. India Ser. B* 100, 489–497. <https://doi.org/10.1007/s40031-019-00398-9>
3. Takens, F. (1981). Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand, D., Young, L.S. (eds) *Dynamical Systems and Turbulence*, Warwick 1980. *Lecture Notes in Mathematics*, vol 898. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/BFb0091924>

НЕЙРОННА МЕРЕЖА ТИПУ АВТОКОДУВАЛЬНИК ДЛЯ ВКЛАДЕННЯ ОДНОВИМІРНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Кошель Є.В

- *Кафедра комп'ютерних технологій, Факультет прикладної математики, ДНУ ім. О. Гончара, Україна*

Анотація. Задача вкладення часових рядів є доволі універсальною. Вона являє собою перший крок у процесі моделювання динамічних процесів за допомогою автономних систем диференціальних рівнянь, оскільки такі системи накладають суворі обмеження на розмірність модельованих процесів. Одновимірні диференціальні рівняння мають всього 3 можливі типи поведінки, у той час як двовимірні мають 9. Саме тому важливо збільшувати розмірності задачі перед початком моделювання, щоб дозволити фінальній моделі мати ширший діапазон поведінок. Одним зі способів збільшення розмірності є вкладання з затримкою, але його може бути розширено та узагальнено, якщо використати нейронну мережу-автокодувальник, яка б побудувала залежність між сегментами часового ряду та високорозмірними векторами в просторі вкладення.

Ключові слова: аналіз часових рядів, вкладення часових рядів, зміна розмірності, автокодувальник, нейронна мережа, моделювання часових рядів, теорема Такенса.

ГРАФОВІ ФРАКТАЛИ З ВАРІАТИВНІСТЮ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ

Летучий О. І., Шинкаренко В. І.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. Фрактали, які характеризуються своєю самоподібністю в різних масштабах, є складними геометричними сутностями, створеними за допомогою рекурсивних алгоритмів. Вони знаходять широке застосування в комп'ютерній графіці для створення складних візуальних ефектів і моделювання природних явищ, таких як річкові мережі та гірські ландшафти. Графові фрактали поєднують властивості фракталів і графових структур та можуть використовуватись для досліджень у таких галузях, як комп'ютерні мережі чи медицина. У цій роботі представлено підхід конструктивно-продукційного моделювання, заснованого на формальних граматиках, для генерації графових фракталів із варіативністю процесу формування.

Ключові слова. фрактал, граф, конструктивно-продукційне моделювання, комп'ютерне моделювання, ітераційні алгоритми, формування патернів

Вступ. Фрактали – це складні геометричні фігури, які демонструють самоподібність у різних масштабах [1], тобто при зміні масштабу, можна побачити повторювані схожі візерунки або патерни. Вони генеруються за допомогою рекурсивних афінних перетворень і ітерацій. Фрактали можуть бути використані для створення складних візуальних ефектів у комп'ютерній графіці, включаючи створення складних текстур, або для генерації та моделювання різних структур, таких як річкові мережі, гірські ландшафти [2].

Графові фрактали [3-4] поєднують фрактальні властивості та графові структури, такі як, наприклад, комп'ютерні мережі [5], кристалічні ґратки [5], структури раку легень [6]. Особливістю таких фракталів є графові вершини, які можуть бути навантажені координатами у просторі, різними фізичними або хімічними властивостями.

Для моделювання фракталів можна використовувати наступні підходи: алгоритмічний, функціонально-алгоритмічний із застосуванням системи ітерованих функцій на основі сукупності стискаючих відображень, афінних автоматів, L-систем. Нами представляється підхід конструктивно-продукційної моделювання (КПМ) на основі формальних граматик.

Основна частина. Основним елементом конструктивно-продукційного моделювання є поняття узагальненого конструктор [7, 8], який описується наступним чином

$$C = \langle M_{GI}, \Sigma_{GI}, \Lambda_{GI} \rangle, \quad (1)$$

де M – поновлюваний неоднорідний носій;

Σ – сигнатура відносин та пов'язаних з ними операцій;

Λ – інформаційне забезпечення конструювання: призначення, умови початку та завершення конструювання, правила та обмеження та онтологія.

Опис інтерпретації та спеціалізації конструктора для графових фракталів в 3D просторі наведений в [4]. Проведемо наступну конкретизацію конструктора C_{graph} , призначеного для формування графового фракталу:

$$C = \langle M_{GI}, \Sigma_{GI}, \Lambda_{GI} \rangle_K \circledast C_{graph} = \langle M_{GI}, \Sigma_{GI}, \Lambda_{graph} \rangle, \quad (2)$$

Λ_{graph} визначає:

- вершини – v_i , з атрибутами розміру $size$, координатами $pos = (x, y, z)$, кольору col ;
- граф – g , з атрибутами довжини ребер a ;
- початкові умови: граф з однією вершиною v_0 , з атрибутами $size \vdash v_0 = 1$, $pos \vdash v_0 = (0, 0, 0)$, $col \vdash v_0 = red$;
- правило підстановки: $\psi = \langle s, g \rangle$, в якому операція складається з одного відношення підстановки s (приклад у лівій частині на рис. 1) і операції над атрибутами g (приклад у правій частині рис. 1) для взаємного перефарбування вершин;

обмеження конструювання: права частина підстановки повинна містити хоча б одну вершину кольору, як у лівому правилі,

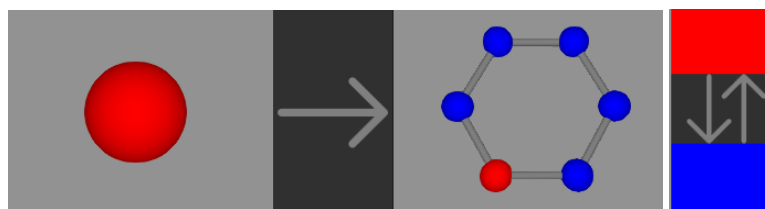


Рисунок 01 – Відношення підстановки конструктора C_{graph} з заданими кольорами заміни

Представимо на рис. 2 реалізацію у вигляді послідовності сентенційних форм f_0, f_1, f_2, f_3 .

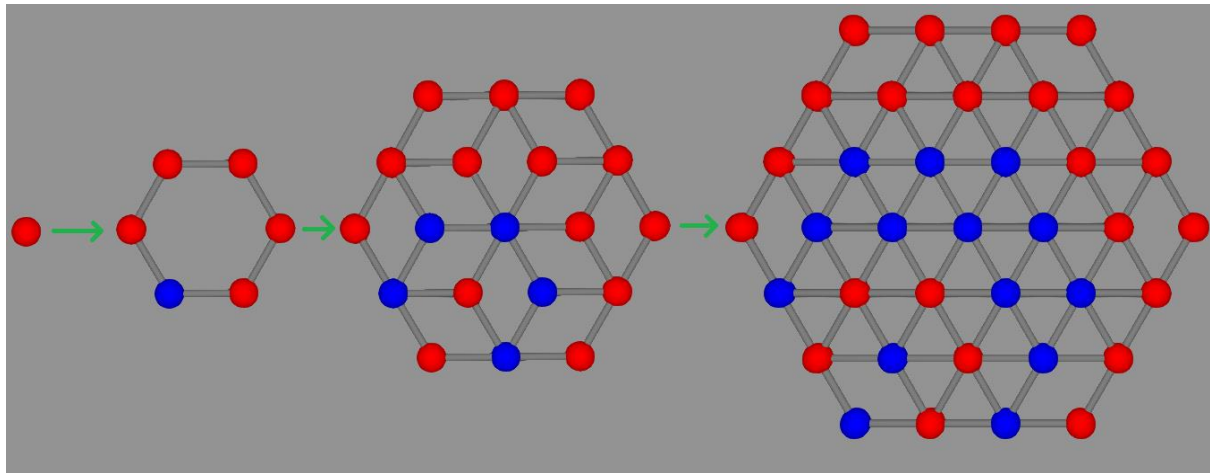


Рисунок 2 – Послідовність сентенційних форм

Реалізація здійснюється в такий спосіб:

- початкова форма f_0 , відповідно до відношення підстановки на рис. 1, застосовуючи операцію заміни один раз, перетворюється на f_1 ;
- виконується операція з атрибутами кольору: взаємне перефарбування вершин;
- повторюються дії попередні двох пунктів з перетворенням форм f_i у f_{i+1} .

Розглянемо приклад з варіативністю правил підстановки під час формування графових фракталів. Для цього початок формування графового фракталу виконаємо як на рис. 2 та отримаємо форму f_3 . Змінимо правило підстановки як на рис. 3 а). Отримаємо граф як на рис. 4 у лівій частині. Далі будемо ітеративно застосовувати правило рис. 3 б). У правій частині рис 4. наведено двократне застосування правила рис. 3 б).

В результаті двостадійного перетворення отримуємо граф з двома ознаками фрактальності.

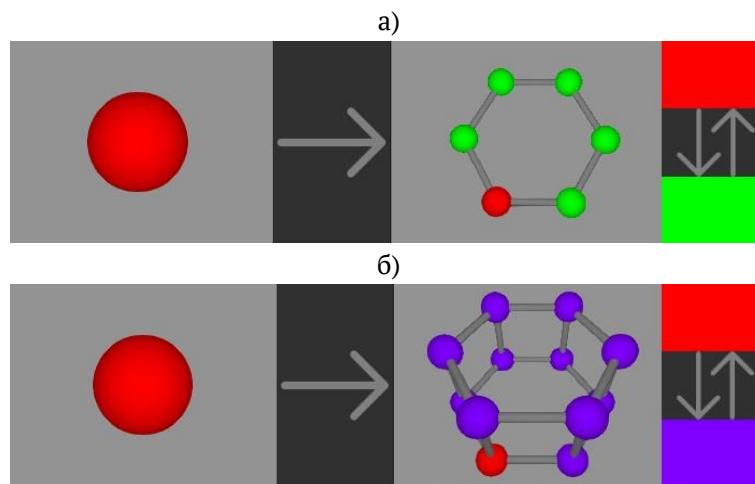


Рисунок 3 – Правила для другої стадії формування фрактального графу

На першій стадії формується фрактальний граф з самоподібністю забезпечену застосуванням правила рис 1. На другій стадії цей фрактальний граф є основою для формування об'ємного графу з новою властивістю самоподібності.

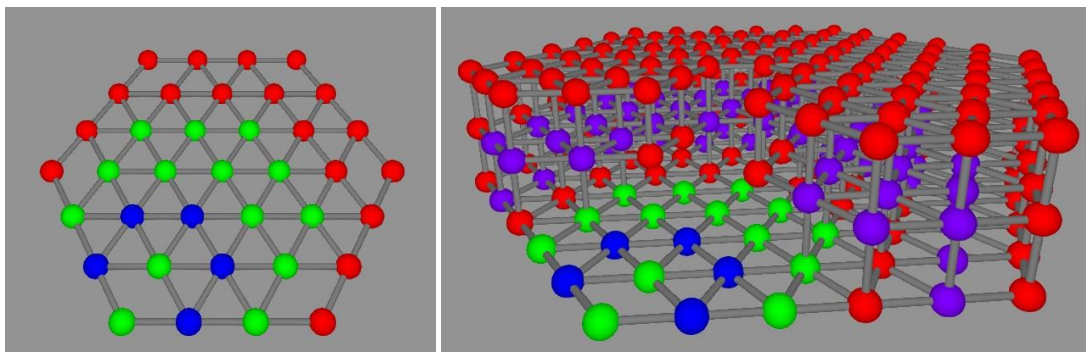


Рисунок 4 – Графи другої стадії формування

Висновок. Розроблена конструктивно-продукційна модель формування фрактальних графових структур та відповідне програмне забезпечення. Показана можливість моделювання графових фракталів з варіативністю правил підстановки та зміни атрибутів вершин у процесі формування. Таким чином проявляється самоподібність різних частин утвореного фракталу по мірі його формування.

Приклад представлений у роботі не є вичерпним. Правила підстановки та фарбування вершин може багаторазово змінюватись під час формування досить значних значень сентенційних форм f_M .

Застосований підхід дозволяє формувати моделі сутностей, які точніше представляють об'єкти природи.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Husain A., Nanda M.N., Chowdary M.S., Sajid M. Fractals: An Eclectic Survey, Part-I. Fractal and Fractional. – 2022. Vol. 6. P. 2504 – 3110. DOI: <https://doi.org/10.3390/fractalfract6020089>
2. Frankhauser P., Pumain D. Fractals and Geography. Machine Learning and the City, S. Carta (Ed.). – 2022. P. 31-55. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119815075.ch3>
3. Ille P., Woodrow R. Fractal graphs. Journal of Graph Theory. – 2019. No. 91 (1), P. 53-72 DOI: <https://doi.org/10.1002/jgt.22420>
4. Skums P., Bunimovich L., Graph fractal dimension and the structure of fractal networks. J Complex Netw. – 2020. Vol. 8 DOI: <https://doi.org/10.1093/comnet/cnaa037>
5. Shynkarenko V., Letuchyi O., Chyhir R. Constructive-synthesizing modeling of fractal crystal lattices, 18th IEEE International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT), – 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSIT61576.2023.10324251>
6. Babič M.; Mihelič J. Cali, M. Complex Network Characterization Using Graph Theory and Fractal Geometry: The Case Study of Lung Cancer DNA Sequences. Applied Sciences. – 2020, Vol 10. No. 9. P. 3037. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10093037>
7. Skalozub V., Ilman V. Shynkarenko V. Ontological support formation for constructive-synthesizing modeling of information systems development processes, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. Vol. 5. No. 4 (95). P. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143968>
8. Shynkarenko V. I. Constructive-Synthesizing Representation of Geometric Fractals, Cybernetics and Systems Analysis. – 2019. Vol. 55, P. 186-199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-019-00123-w>

GRAPH FRACTALS WITH THE VARIABILITY OF THE FORMATION PROCESS

Oleksandr Letuchyi, Viktor Shynkarenko

Abstract. *Fractals, which are characterized by their self-similarity at different scales, are complex geometric entities created using recursive algorithms. They are widely used in computer graphics to create complex visual effects and to model natural phenomena such as river networks and mountain landscapes. Graph fractals combine the properties of fractals and graph structures and can be used for research in fields such as computer networks or medicine. This work presents the approach of constructive-production modeling, based on formal grammars, for the generation of graph fractals with the variability of the formation process.*

Keywords: *fractals, graph, constructive-synthesizing modeling, computer modeling, iterative algorithms, pattern formation*

ANDROID-ЗАСТОСУНОК АВТОМАТИЧНОГО ПІДБОРУ ФІЛЬМІВ ВІДПОВІДНО ДО ВПОДОБАНЬ КОРИСТУВАЧА

Рувінська В.М., Максимичев А.М.

Національний університет «Одеська політехніка», Україна

Анотація. *Робота описує розробку застосунка для рекомендацій фільмів та серіалів, який інтегрується з сервісами, такими як IMDb, TMDB та OMDb. Використовуються Java та Android Architecture Components, а також Jsoup для обробки HTML-даних. Застосунок поєднує методи контентної та колаборативної фільтрації для персоналізації рекомендацій. Колаборативна фільтрація пропонує різноманітні рекомендації, але стикається з проблемою холодного старту, тоді як контентна фільтрація фокусується на характеристиках, яким віддає перевагу користувач, але їй може бракувати різноманітності. Для покращення рекомендацій можна використовувати алгоритм сингулярного розкладу (SVD), що зменшує розмірність даних і виявляє приховані зв'язки, хоча й має великі обчислювальні вимоги.*

Ключові слова: *рекомендаційна система, контентна фільтрація, колаборативна фільтрація, алгоритм сингулярного розкладу, проблема холодного старту.*

Вступ. Розвиток цифрових технологій створює потребу в нових підходах до споживання медіа-контенту, зокрема у сфері кіноіндустрії. Ця робота описує розробку і функціональність Android-застосунку, який надає персоналізовані рекомендації фільмів та серіалів на основі вподобань користувача, спираючись на сучасні технології та алгоритми.

Основний матеріал. Застосунок інтегровано з популярними онлайн-сервісами, такими як IMDb, TMDB, OMDb, для імпортування оцінок та відгуків користувачів. Аналізуючи ці дані, система може надавати персоналізовані рекомендації фільмів та серіалів. У процесі розробки застосунку використовувалися мова програмування Java та набір бібліотек Android Architecture Components для реалізації функціональності. Додатково застосовувалася бібліотека Jsoup для роботи з HTML-даними. Для аналізу індивідуальних вподобань користувачів та формування рекомендацій були використані методи контентної та колаборативної фільтрації.

Колаборативна фільтрація базується на поведінці та оцінках інших користувачів. Цей метод використовує алгоритми для ідентифікації шаблонів у перевагах різних користувачів і рекомендує фільми на основі оцінок схожих користувачів. Цей метод може розкривати нові жанри та стилі, які користувач може полюбити, але ще не виявив. Колаборативна фільтрація здатна забезпечувати більш різноманітні та несподівані рекомендації. Недоліком цього методу є проблема холодного старту – нові фільми та нові користувачі мають мало або зовсім не мають історії для аналізу. Також існує ризик створення "бульбашки фільтрації", де користувач отримує рекомендації тільки у межах своїх попередніх переваг.

Контентна фільтрація базується на характеристиках фільмів, таких як жанр, режисер, актори, сюжет тощо. Система аналізує фільми, які користувач раніше оцінив позитивно, і шукає інші фільми з схожими характеристиками. Цей метод добре працює, коли необхідно рекомендувати фільми новим користувача, відсутня проблема холодного старту. Також, контентна фільтрація дозволяє користувачам розуміти, чому певний фільм був рекомендований (прозорість). Недоліком контентної фільтрації може бути обмежена різноманітність рекомендацій, оскільки рекомендуються лише фільми схожі на ті, які користувач вже дивився [1].

Для покращення якості рекомендацій в умовах обмежених даних перспективним є використання алгоритму сингулярного розкладу (SVD, Singular Value Decomposition). Цей алгоритм дозволяє зменшити розмірність даних та виявити приховані зв'язки між користувачами та елементами. Процес включає створення матриці взаємодій; застосування SVD для її розкладання на три компоненти – U , матрицю лівих сингулярних векторів, що представляє користувачів, Σ , діагональну матрицю сингулярних значень, що представляє важливість кожного прихованого фактора, та V^T , транспоновану матрицю правих сингулярних векторів, що представляє елементи; зменшення розмірності шляхом вибору найважливіших сингулярних значень, і приблизне відтворення оригінальної матриці з цих компонентів [2]. Це дозволяє системі заповнити відсутні оцінки і рекомендувати користувачам

елементи, базуючись на їхніх перевагах та виявлених зв'язках. Обмеженнями алгоритму є великі обчислювальні вимоги та зменшена ефективність для дуже розріджених матриць.

Висновки. Розроблений застосунок розширює функціональні можливості систем онлайн перегляду фільмів та серіалів. Автоматизації процесу надання рекомендацій відповідно до вподобань користувача забезпечує покращення користувацького досвіду. Для розширення можливостей та вдосконалення системи перспективним є використання алгоритму SVD.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мелешко Є. В. Дослідження методів побудови рекомендаційних систем в мережі Інтернет / Є. В. Мелешко, С. Г. Семенов, В. Д. Хох // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – №1. – С. 131–136.
2. Мазурік О. Ю. Покращення результатів роботи рекомендаційних систем за допомогою алгоритму SVD / О. Ю. Мазурік // International scientific journal. – 2015. – №9. – С. 61–64.

ANDROID APPLICATION FOR AUTOMATIC FILM SELECTION

ACCORDING TO USER'S PREFERENCE

Ruvinska Victoria, Maksimychiev Artem

Abstract. *The work outlines the development of a movie and TV show recommendation application, integrating with services like IMDb and TMDB, OMDb. It uses Java and Android Architecture Components, with Jsoup for HTML data processing. The app combines content-based and collaborative filtering for personalized recommendations. Collaborative filtering offers diverse suggestions but faces issues like the "cold start" problem, whereas content-based filtering focuses on user-preferred characteristics but may lack variety. To enhance recommendations, Singular Value Decomposition (SVD) can be employed, reducing data dimensionality and revealing hidden relationships, though it has computational limitations.*

Keywords: *recommendation system, content-based filtering, collaborative filtering, singular value decomposition, cold start.*

REFERENCES

1. Meleshko E. B. Further research on methods for recommending systems on the Internet / E. V. Meleshko, S. G. Semenov, V. D. Hokh // Control systems, navigation and communication. – 2018. – No. 1. – pp. 131–136.
2. Mazurik O. Yu. Improved results of robotic recommendation systems using the SVD algorithm / O. Yu. Mazurik // International scientific journal. – 2015. – No. 9. – pp. 61–64.

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ФУНКЦІЙ ВІТРОВОЇ ТУРБІНИ ІЗ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ РОТОРА

Тарасов С.В., Молотков О.Н.

Анотація. В роботі проведено моделювання перехідних процесів в системі стабілізації швидкості обертів ротора вертикально-осьових ВЕУ, керованих змінами довжини лопатей, з урахуванням залежності конструктивних параметрів системи від часу. Доведена динамічна подібність стаціонарної та нестаціонарної моделей, підтверджена достатня точність стаціонарної моделі та її працездатність при виконанні попередніх розрахунків. За результатами моделювання оцінена величина залежності показників якості регулювання, зазначено помітне зменшення перерегулювання та довжини перехідних процесів.

Ключові слова: вертикально-осьові турбіни, моделювання, перехідні функції, змінні параметри моделі

Вступ

Вітрові турбіни із вертикальною віссю займають все більше місце в системі "зеленої" енергетики. Кожна вітрова турбіна має низку систем, що підтримують її роботу поблизу оптимальних режимів, побудованих на різних принципах із використанням різноманітних засобів управління [1]. В роботі [2] в якості засобу управління для вітрової турбіни із ротором Дар'є розглянуто використання змінної довжини лопатей; шляхом дослідження стаціонарних рівнянь у відхиленнях оцінено ефективність запропонованих алгоритмів. Часткове моделювання перехідних процесів в такій системі проведено в роботах [3, 4] під час якого доведено, що відхилення довжини лопатей ΔH від номінального значення H_0 можуть бути досить значущими, що викликає необхідність проведення додаткових розрахунків перехідних функцій із змінними в часі конструктивними параметрами системи.

Викладення основного матеріалу

Проведемо відповідне моделювання стосовно алгоритму формування зворотного зв'язку з корекцією за прискоренням [2]

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = (k_1\Delta V + k_2(t) \times \Delta H - \Delta\omega) / T(t); \quad \frac{d\Delta H}{dt} = K_1 \times \Delta\omega + K_2(k_1\Delta V + k_2(t) \times \Delta H - \Delta\omega) / T(t). \quad (1)$$

При цьому будемо вважати що:

значні зміни ΔH викликають лише відповідні зміни постійної часу T і коефіцієнту k_2 , які залежать від довжини лопаті H [1, 2]

$$T(t) = \frac{2J\omega_o^2}{C_p\rho_o S(t)\times V_o^3(1-\eta)}, k_2(t) = \frac{2R_o\omega_o}{S(t)\times(1-\eta)}, S(t) = 2R_o\times H(t), H(t) = H_o + \Delta H(t); (2)$$

- момент інерції ротора J та всі інші параметри моделі R_o , C_p , ρ_o , η вважаються незмінними і приймають значення близькі до параметрів ВЕУ-0420 [2];
- номінальне значення швидкості вітру $V_o = 13$ м/сек, номінальна швидкість обертів ротора $\omega_o = 2,8$ рад/сек;
- коефіцієнти зворотного зв'язку незмінні і дорівнюють $K_1 = -1$, $K_2 = -30$.

З'ясуємо наскільки значущими стають зміни показників якості - ступеня стійкості та коливальності замкнутої системи в залежності від змін T і k_2 , а фактично від ΔH . Графіки залежностей дійсної та уявної частини коренів характеристичного поліному замкнутої системи, побудовані в можливому діапазоні змін ΔH від 0 до -7 м представлені на рис. 1.

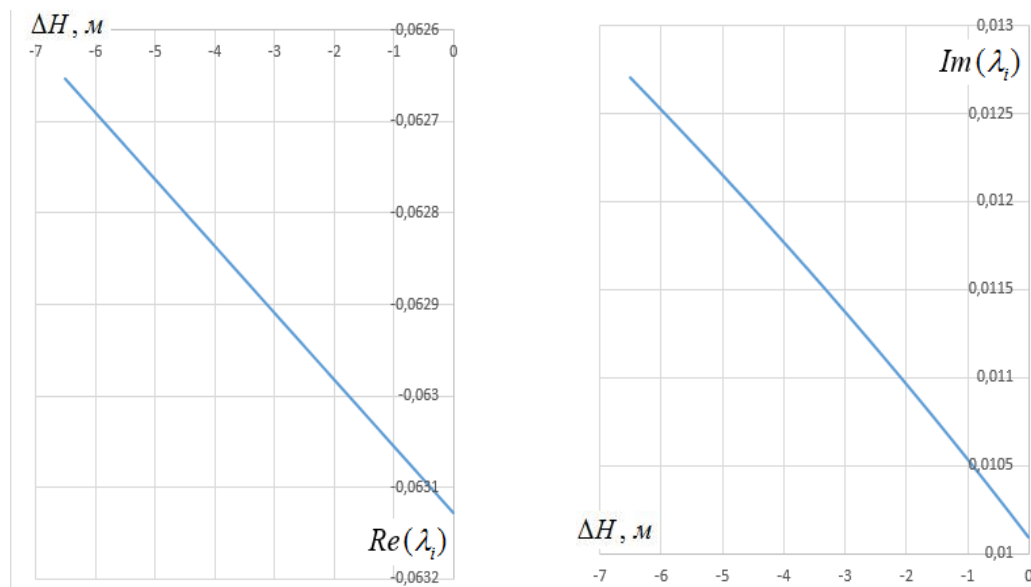


Рисунок 1 - Залежності ступеня стійкості та коливальності від ΔH , м

У відсотковому визначенні зміни ступеня стійкості та коливальності складають 7,5% і 25,9% відповідно. Зміна ступеня стійкості може бути признана незначною, зміна коливальності є достатньо значущою.

Обчислені значення перехідних функцій для випадків системи рівнянь у відхиленнях із незмінними коефіцієнтами і для системи рівнянь у відхиленнях із змінними коефіцієнтами T і k_2 наведені на рис. 2.

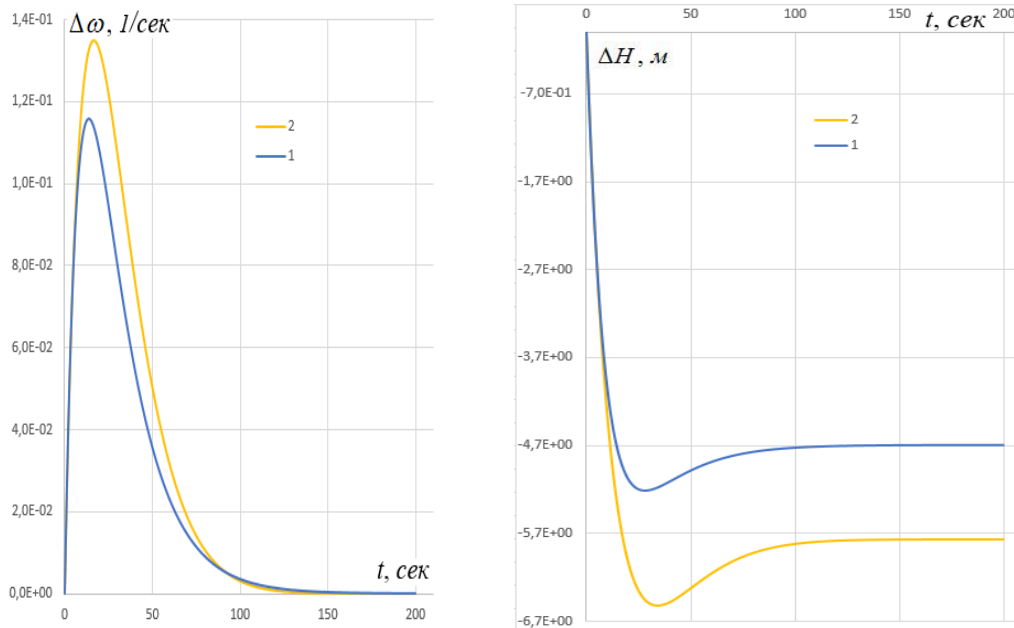


Рисунок 2 - Залежності $\Delta\omega$, 1/сек і ΔH , м від часу t , сек : 1 - модель із змінними за часом коефіцієнтами, 2 - модель із незмінними за часом коефіцієнтами.

Аналіз наведених перехідних функцій дозволяє зробити наступні висновки:

- перехідні функції $\Delta\omega(t)$ і $\Delta H(t)$, обраховані за системами рівнянь із незмінними і змінними за часом коефіцієнтами T і k_2 , якісно подібні;
- властивість стійкості системи при переході від системи рівнянь із незмінними коефіцієнтами до системи рівнянь із змінними коефіцієнтами T і k_2 не втрачена;
- поведінка системи із змінними коефіцієнтами краща ніж системи із незмінними коефіцієнтами, а саме помітно зменшуються перерегулювання та довжина перехідних процесів;
- кінцеве значення $\Delta\omega$ залишається незмінним і дорівнює нулю;
- кінцеве значення ΔH , що встановлюється, суттєво зменшується, що позитивно впливає на динамічні властивості системи в цілому;
- стаціонарна модель динаміки замкнутої системи достатньо точно описує поведінку БЕУ.

Висновки

Проведене моделювання роботи БЕУ із ротором Дар'є із змінними за часом конструктивними параметрами довело динамічну подібність стаціонарної та нестаціонарної моделей та підтвердило достатню точність стаціонарної моделі. Використання нестаціонарної моделі БЕУ із ротором

Дар'є, керованої змінами довжини лопатей, підвищує точність оцінки показників якості роботи замкнутої системи, що може бути корисним при конструюванні та проектуванні таких систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дзензерский В. А. Ветроустановки малой мощности / В.А. Дзензерский, С.В. Тарасов, И.Ю. Костюков. – Киев: Наук. думка, 2011. – 592 с.
2. Тарасов С. В., Молотков О.Н. Алгоритми стабілізації швидкості обертів ротора Дар'є вітроенергетичної установки, керованого змінами довжини лопатей / С.В. Тарасов, О.Н. Молотков - Технічна механіка - 2023, № 4, с. 50 - 59. <https://doi.org/10.15407/itm2023.04.050>.
3. Тарасов С.В., Молотков О.Н., Тарасов А.С., Чернявський Є.Ю. Аналіз показників якості системи стабілізації обертів ротора Дар'є ВЕУ / С. В. Тарасов, О.Н. Молотков, А.С. Тарасов, Є.Ю. Чернявський // Матеріали 14-ї Міжнародної науково-практичної конференції «СУЧАСНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ НА ТРАНСПОРТІ, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ» (СЕУТТОО-2023) 16-18 березня 2023 р. Зб. наук. праць. – Херсон: Херсонська державна морська академія. 2023. – С. 284-286.
4. Тарасов С.В., Молотков О.Н. Моделювання перехідних процесів в системі стабілізації обертів ротора Дар'є вітрової турбіни / С. В. Тарасов, О.Н. Молотков // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕТАЛУРГІЇ та МАШИНОБУДУВАННІ» (ІТММ-2023) 22 березня 2023 р. Зб. наук. праць. – Дніпро: Український державний університет науки і технологій. 2023. – С. 204-207. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.056>.

MODELING OF TRANSIENT FUNCTIONS OF A WIND TURBINE WITH VARIABLE ROTOR PARAMETERS

Tarasov Serhii., Molotkov Oleh

Abstract. *The work simulates transient processes in a system for stabilizing the rotor speed of a wind power plant with a vertical axis controlled by changing the length of the blades, taking into account the dependence of the design parameters of the system on time. It is shown that the stationary and nonstationary models are dynamically similar, and the stationary model is sufficiently accurate and efficient for preliminary calculations. Based on the modeling results, the magnitude of the dependence of regulation quality indicators was assessed, and a noticeable reduction in overregulation and the duration of transient processes was noted.*

Keywords: *vertical-axis turbines, modeling, transient functions, variable parameters of the model*

REFERENCE

1. Dzenzersky V. A. Vetrustanovki maloy moshchnosti. [Low-power wind installations] / V.A. Dzenzerskiy, S.V. Tarasov, I.Yu Kostyukov. - Kyiv: Nauk. dumka, 2011. - 592 p.
2. Tarasov S.V., Molotkov O.N. Alhorytmy stabilizatsiyi shvydkosti obertiv rotora Dar'ye vitroenerhetychnoyi ustanovky, kerovanoyi zminamy dovzhyny lopatey / S.V. Tarasov, O.N. Molotkov - Tekhnichna mekhanika - 2023, № 4, s. 50 - 59. <https://doi.org/10.15407/itm2023.04.050>.
3. Tarasov S.V., Molotkov O.N., Tarasov A.S., Chernyavs'kyy Ye.Yu. Analiz pokaznykiv yakosti systemy stabilizatsiyi obertiv rotora Dar'ye VEU / S.V. Tarasov, O.N. Molotkov, A.S. Tarasov, Ye.Yu. Chernyavs'kyy // Materialy 14-yi Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «SUCHASNI ENERHETYCHNI USTANOVKY NA TRANSPORTI, TEKHNOLOHIIYI TA OBLADNANNYA DLYA YIKH OBSLUHOVUVANNYA» (SEUTTOO-2023) 16-18 bereznya 2023 r. Zb. nauk. prats'. – Kherson: Khersons'ka derzhavna mors'ka akademiya. 2023. – S. 284-286.
4. Tarasov S.V., Molotkov O.N. Modelyuvannya perekhidnykh protsesiv u systemi stabilizatsiyi obertiv rotora Dar'ye vitrovoyi turbiny /S.V. Tarasov, O.N. Molotkov // Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «INFORMATSIYNI TEKHNOLOHIIYI V METALURHIYI ta MASHYNOBUDUVANNI» (ITMM-2023) 22 bereznya 2023 r. Zb. nauk. prats'. – Dnipro: Ukrayins'kyy derzhavnyy universytet nauky i tekhnolohiy. 2023. – S. 204-207. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.056>.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Молчанов Л.С., Голуб Т.С.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ, Україна

Анотація. *В сучасних умовах моделювання технологічних процесів є одним із перспективних методів проведення досліджень на промислових об'єктах, який характеризується низькою вартістю порівняно з проведенням досліджень на реальних металургійних установках. Моделювання, як метод дослідження, засноване на відтворенні реального технологічного процесу в меншому обсязі, порівняно з реальним технологічним процесом із дотриманням масштабу подібності. У світовій практиці дослідження металургійних процесів використовуються такі методи моделювання технологічних процесів: математичне моделювання; низькотемпературне фізичне моделювання; високотемпературне фізичне моделювання. При вивченні металургійних процесів сталеплавильного напрямку найбільш повні дані дає використання високотемпературного фізичного моделювання. Його застосування дозволяє вивчати як сталі технологічні процеси, так і інноваційні. Що стосується методів низькотемпературного фізичного моделювання, то вони децю обмежені в плані інформативності, але відрізняються низькою вартістю. Математичне моделювання є перспективним для моделювання постійно діючих технологічних процесів і потребує певного уточнення практичними даними. Актуальним завданням сучасної металургійної науки є розробка методів підвищення точності результатів низькотемпературного моделювання та наближення їх до високотемпературного при збереженні прийнятної вартості моделювання.*

Ключові слова: *металургія, виробництво сталі, моделювання, масштаб подібності, технологічний процес*

В сучасних умовах моделювання технологічних процесів є одним з найперспективніших методів проведення дослідження на промислових об'єктах, який відрізняється низькою вартістю у порівнянні з проведенням досліджень на реальних металургійних агрегатах [1]. Загалом, моделювання, як метод дослідження, базується на відтворенні реального технологічного процесу у меншому обсязі, у порівнянні з реальним технологічним процесом при дотриманні масштабів подоби. Їх дотримання дозволяє переносити отримані результати моделювання на реальний технологічний процес/агрегат. Кількісний або якісний характер перенесення отриманих

результатів моделювання залежить від ступеня наближення умов моделювання до реального процесу за рахунок дотримання масштабів геометричної, фізичної та хімічної подоби. У світовій практиці дослідження металургійних процесів використовуються наступні методи моделювання технологічних процесів: математичне моделювання; низькотемпературне фізичне моделювання; високотемпературне фізичне моделювання.

Математичне моделювання передбачає побудову опис реального технологічного процесу за допомогою існуючих фундаментальних фізико-хімічних рівнянь з урахуванням статистичного матеріалу функціонування реального технологічного процесу [2]. Для здійснення математичного моделювання розроблена значна кількість спеціальних програмних продуктів. При цьому у сферу його застосування входить дослідження теплофізичних; гідродинамічних; масообмінних процесів окремо або у поєднанні. Також необхідно відзначити, що достовірність отриманих при математичному моделюванні даних залежить безпосередньо від якості фізико-математичного описання об'єкту досліджень [3].

Низькотемпературне фізичне моделювання – процес відтворення реального технологічного процесу з використанням речовин з більш низькою температурою плавлення у порівнянні з рідкими металами. Здебільшого, при дослідженні сталеплавильних процесів у якості модельної рідини, що імітує рідку сталь використовують воду, що пов'язано з низькою вартістю та розповсюдженістю зазначеної речовини [4]. Сферою застосування низькотемпературного фізичного моделювання є визначення гідродинамічних та масообмінних процесів. При чому, у випадку моделювання процесу продувки киснево-конвертерної ванни результати отримані шляхом холодного моделювання носять, зокрема, якісний характер, а отримані залежності носять тенденційний характер. Це відбувається у наслідок того, що низькотемпературне фізичне моделювання не дозволяє в повній мірі врахувати фізико-хімічні особливості процесів, що відбуваються в кисневому конвертері при продувці сталі.

Високотемпературне моделювання передбачає відтворення реальних технологічних процесів в більш малих масштабах, у порівнянні з реальними, з використанням високотемпературних середовищ. Зокрема в металургії – це використання в дослідженнях рідких металевої та шлакової фаз [5]. При цьому отримані результати високотемпературного моделювання у повній мірі можуть бути перенесені на реальні металургійні процеси для здійснення управління або оптимізації їх. Серед недоліків високотемпературного фізичного моделювання сталеплавильних процесів можна відзначити високу вартість досліджень та організаційну складність.

Узагальнені переваги та недоліки різних методів моделювання в контексті металургійних процесів представлені в таблиці 1. Виходячи з даних наведених в таблиці 1 можна зробити висновок, що при дослідженні металургійних процесів сталеплавильного спрямування найбільш повноту даних забезпечує саме високотемпературне фізичне моделювання. При цьому, воно дозволяє досліджувати як сталі технологічні процеси, так і інноваційні. Що стосується методів низькотемпературного фізичного моделювання, то вони дещо обмежені в контексті інформативності, проте відрізняються низькою вартістю. Математичне моделювання є перспективним для моделювання усталених технологічних процесів і потребує певного уточнення практичними даними.

Таблиця 1

Порівняння особливостей методів моделювання в контексті металургійних процесів

№	Показник	Методи моделювання		
		математичне	низькотемпературне фізичне	високотемпературне фізичне
1.	Можливість дослідження принципово нових технічних рішень	-	+/-	-
2.	Вартість досліджень	-	+/-	+
3.	Можливість перенесення результатів моделювання на реальний процес	+	+/-	+

* - “-” – низьке значення показника; “+/-” – помірне значення показника;
“+” – високе значення показника

Таким чином актуальним завданням для сучасної металургійної науки є розробки методів підвищення точності результатів низькотемпературного моделювання та наближення їх до високотемпературного при збереженні прийнятної вартості моделювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Моделювання та оптимізація металургійних систем: Навч. Посібник / В.Б. Охотський, В.М. Ковшов, А.Г. Кучер та інш. / Під ред.. В.Б. Охотського. – К.: ІЗМН, 1998. – 156с.
2. Організація експеримента: : Навч. Посібник /В.І. Баптизманский, Ю.М. Яковлев, Ю.С. Паніотов та інш. / Під ред. В.І. Баптизманского, Ю.М. Яковлева. – К.: УМК ВО, 1992. – 244 с.
3. Охотський В.Б. Моделі металургійних систем. - Дніпропетровськ: Системні технології, 2006. -287 с.
4. Breno Totti Maia, Rafael Kajimoto Imagawa, Roberto Parreiras Tavares Cold model bath behavior study in LD converter with bottom blowing / AISTech 2016 Proceedings. – 2016. – P. 1083 – 1094.
5. Chernyatevich, A.G., Molchanov, L.S., Merkulov, A.E., Bashmakov, A.M., Yushkevich, P.O. Development of multipurpose designs of oxygen lumps and methods for combined blowing of a converter bath // Steel in Translation, 2021. - № 51(9). - P. 640 – 647.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METALLURGICAL PROCESS SIMULATION METHODS

Molchanov Lavr, Golub Tatyana

Abstract. *In modern conditions, modeling of technological processes is one of the most promising methods of conducting research on industrial facilities, which is characterized by a low cost compared to conducting research on real metallurgical units. Modeling, as a research method, is based on the reproduction of a real technological process in a smaller volume, in comparison with a real technological process while observing the scale of similarity. In the global practice of researching metallurgical processes, the following methods of modeling technological processes are used: mathematical modeling; low-temperature physical modeling; high-temperature physical modeling. When studying the metallurgical processes of the steelmaking direction, the most complete data is provided by high-temperature physical modeling. At the same time, it allows to study both permanent technological processes and innovative ones. As for the methods of low-temperature physical modeling, they are somewhat limited in the context of*

informativeness, but they differ in their low cost. Mathematical modeling is promising for modeling established technological processes and needs some clarification with practical data. An urgent task for modern metallurgical science is the development of methods for increasing the accuracy of the results of low-temperature modeling and bringing them closer to high-temperature modeling while maintaining an acceptable cost of modeling.

Keywords: *metallurgy, steel production, modeling, scale of likeness, technological process*

REFERENCE

1. Modeling and optimization of metallurgical systems: Training. Guide / V.B. Okhotskiy, V.M. Kovshov, A.G. Kucher et al. / Ed. V.B. of Okhotsk. - K.: IZMN, 1998. - 156p.
2. Organization of the experiment: : Teaching. Manual /V.I. Baptizmanskiy, Yu.M. Yakovlev, Yu.S. Paniotov et al. / Ed. V.I. Baptizmanskogo, Yu.M. Yakovleva - K.: UMK VO, 1992. - 244 p.
3. Okhotskiy V.B. Models of metallurgical systems. - Dnipropetrovsk: System Technologies, 2006. -287 p.
4. Breno Totti Maia, Rafael Kajimoto Imagawa, Roberto Parreiras Tavares Cold model bath behavior study in LD converter with bottom blowing / AISTech 2016 Proceedings. – 2016. – P. 1083 – 1094.
5. Chernyatevich, A.G., Molchanov, L.S., Merkulov, A.E., Bashmakov, A.M., Yushkevich, P.O. Development of multipurpose designs of oxygen lumps and methods for combined blowing of a converter bath // Steel in Translation, 2021. - № 51(9). - P. 640 – 647.

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ РЕАГЕНТІВ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОМПЛЕКСНОГО РАФІНУВАННЯ РІДКОГО ЧАВУНУ НА ЕТАПІ ПОЗАПІЧНОЇ ОБРОБКИ

Молчанов Л.С.¹, Кисляков В.Г.^{1,2}, Петруша В.П.¹

¹Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАНУ, м. Дніпро, Україна

²Український державний університет науки та технологій, м. Дніпро, Україна

Анотація. Робота присвячена питанню комплексної обробки чавуну. Проаналізовані можливі хімічні перетворення, що можуть протікати у випадку введення реагентів у рідкий чавун, отримані вирази для розрахунку константи рівноваги K_p в залежності від температури. Також побудовані графічні залежності констант рівноваги від температури для зазначених реакцій. Розрахунки проводили для реакцій десульфурації, реакцій дисоціації карбонатів, окислення домішок чавуну за рахунок взаємодії з вуглекислим газом, а також для взаємодії компонентів рідкого чавуну з оксидами заліза. Шляхом термодинамічних розрахунків встановлено, що суміш для комплексного рафінування рідкого чавуну на етапі позапичної обробки повинна відноситися до хімічної системи $\text{CaO} - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{FeO}(\text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{Al}$. При чому конкретне співвідношення компонентів визначається необхідним результатом рафінування.

Ключові слова: чавун, домішки, одностадійна обробка, суміш, раціональний склад.

Вступ. Виходячи з результатів проведених раніше досліджень визначено, що комплексне рафінування рідкого чавуну може проходити за двома наступними схемами: зменшення концентрації сірки, фосфору та кремнію (характерно для малошлакової технології виплавки сталі у кисневих конвертерах); видалення сірки та фосфору з розплаву (характерно для здійснення процесів виплавки сталі у кисневих конвертерах з підвищенням часткою металобрухту у шихті без заміни продувного пристрою). Для вітчизняної практики металургійного виробництва більш актуальним в сучасних умовах є другий варіант, проте на етапі повоєнного відновлення необхідно буде реалізувати саме перший варіант технології, оскільки він дозволяє виробляти металопродукцію більш конкурентоспроможну.

З аналізу літературних джерел відомо, що більшість реагентів для проведення комплексного рафінування чавуну базується на системі

$\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$. У роботі розглянуто більш детально можливі хімічні перетворення, що можуть протікати у випадку введення зазначених реагентів у рідкий чавун. [1, 2]

Основний матеріал. У роботі були зроблені наступні розрахунки.

Реакції десульфурзації: описані можливі реакції хімічних перетворень, та отримані вирази для розрахунку константи рівноваги K_p , в залежності від температури, а також побудовані графічні залежності для діапазонів використання рідкого чавуну. Відповідно до отриманих даних були зроблені висновки, що найефективніше процес десульфурзації відбувається при використанні у якості основного реагенту Na_2CO_3 . При цьому, у якості відновника використовується вуглець чавуну, що в значній мірі є позитивним аспектом при здійсненні процесу комплексного рафінування від сірки та фосфору без екстракції кремнію.

Реакції дисоціації карбонатів: враховуючи, що Na_2CO_3 та CaCO_3 відносяться до класу карбонатів, то є необхідність розглянути процеси їх дисоціації в об'ємі рідкого чавуну під дією теплоти. Описані відповідні хімічні рівняння та вирази для розрахунку константи рівноваги K_p , в залежності від температури, а також графічні залежності для температур рідкого чавуну. Відповідно до отриманих даних був зроблен висновок, що процеси дисоціації носять пріоритетний характер як для карбонату натрію так і для карбонату кальцію. При цьому, в подальших процесах рафінування беруть участь оксиди натрію та кальцію і вуглекислий газ. Що стосується процесів десульфурзації, то з літературних джерел відомо, що оксид натрію у десятки разів активніший ніж оксид кальцію.

Окислення домішок чавуну за рахунок взаємодії з вуглекислим газом: вуглекислий газ, що утворився при дисоціації карбонатів може вступати в хімічну взаємодію з компонентами рідкого чавуну. Описані можливі хімічні реакції та відповідні їм рівняння для розрахунку константи рівноваги в залежності від температури, а також побудовані у графічному вигляді для діапазону температур чавуну, що використовується у виробництві. Відповідно до отриманих даних був зроблен висновок, що для процесів комплексного

рафінування класичного виду CO_2 носить позитивний характер, оскільки активно окислюю кремній у складі чавуну. Проте для видалення з розплаву сірки та фосфору він є небажаним. Таким чином, для зменшення впливу CO_2 на ефективність рафінування до складу реагенту повинен бути введений додатковий сильний відновник – алюміній.

Взаємодія компонентів рідкого чавуну з оксидами заліза: з практики комплексного рафінування чавуну на етапі позапічної доводки відомо, що реагенти додатково містять оксиди заліза. Хімічна взаємодія оксидів заліза з компонентами рідкого чавуну розглянута на прикладі FeO . Отримані рівняння можливих хімічних реакцій та відповідні ним вирази для розрахунку константи рівноваги, також побудовані Графічні залежності констант рівноваги від температури для зазначених реакцій. Відповідно до отриманих даних зроблен висновок, що реагент системи CaO-FeO пріоритетно вступає в хімічну взаємодію саме з фосфором у складі рідкого чавуну.

Висновки:

Шляхом термодинамічних розрахунків встановлено, що суміш для комплексного рафінування рідкого чавуну на етапі позапічної обробки повинна відноситися до хімічної системи $\text{CaO} - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{FeO}(\text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{Al}$. При чому конкретне співвідношення компонентів визначається необхідним результатом рафінування (видалення сірки та фосфору, або ще й додатково кремнію).

ЛІТЕРАТУРА

1. Меджибожський М.Я. Основи термодінаміки і кінетики сталеплавильних процесів: Підручник / М.Я. Меджибожський, П.С. Харлашин. – Київ: Вища школа, 1994. – 327с.
2. Kazachkov E. A. Raschety po teoryu metallurhicheskikh protsessov. – М.: Metallurhiya, 1988. – 288 s [in Russian].

**DETERMINATION OF THE RATIONAL COMPOSITION OF REAGENTS FOR THE
COMPLEX REFINING OF LIQUID CAST IRON
AT THE OUT-OF-FURNACE TREATMENT STAGE**

Molchanov¹L., Kislyako V., Petrusha¹V.

²*Ukrainian State University of Science and Technologies (Dnipro, Ukraine)*

Abstract. *The paper is devoted to the issue of complex treatment of cast iron. Possible chemical transformations that can occur when reagents are introduced into liquid cast iron are analyzed, and expressions for calculating the equilibrium constant K_r , depending on temperature, are obtained. Graphical dependences of the equilibrium constants on temperature for these reactions were also constructed. The calculations were performed for desulfurization reactions, carbonate dissociation reactions, oxidation of cast iron impurities due to interaction with carbon dioxide, and for the interaction of liquid cast iron components with iron oxides. Thermodynamic calculations have established that the mixture for the complex refining of liquid cast iron at the out-of-furnace treatment stage should belong to the chemical system $\text{CaO} - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{FeO}(\text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{Al}$. The specific ratio of components is determined by the required refining result.*

Keywords: *cast iron, impurities, one-step processing, mixture, rational composition.*

REFERENCES

1. Medzhybozhskiy M.Ia. Osnovy termodinamiky i kinetyky staleplavyl'nykh protsesiv: *Pidruchnyk* / M.Ia. Medzhybozhskiy, P.S. Kharlashyn. – Kyiv: Vyshcha shkola, 1994. – 327s [in Ukrainian].
2. Kazachkov E. A. Raschet'y po teoryi metallurhicheskikh protsessov. – M.: Metallurhiya, 1988. – 288 s [in Russian].

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СТРУМИННОГО НАСОСА ПРИ ЙОГО АСИМЕТРИЧНОМУ ОБЕРТАННІ В СВЕРДЛОВИНІ

Паневник Д.О.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

Анотація. Структура рівнянь напірно-витратної характеристики високонапірного струминного насоса доповнена складовою, що визначає додатковий напір викликаний впливом вихрових потоків при асиметричному обертанні ежекційної системи навколо осі свердловини. На основі спільного розв'язку рівнянь Бернуллі, збереження суцільності рухомого середовища, імпульсу та моменту кількості руху змішуваних потоків отримано співвідношення для аналітичного визначення додаткового динамічного напору, створюваного обертанням ексцентрично розміщеного струминного насоса в свердловині. В процесі дослідження отриманого рівняння встановлено екстремальний характер зростання напірно-витратної та енергетичної характеристики наддолотної ежекційної системи. Збільшення тиску та ККД, зумовлене асиметричним обертанням наддолотної ежекційної системи, обернено пропорційне значенню основного геометричного параметра струминного насоса.

Ключові слова: струминний насос, ежекційна система, відносний напір, коефіцієнт інжекції, напірна та енергетична характеристика, відносний обертаний рух.

Буріння нафтогазових експлуатаційних свердловин супроводжується наявністю значного (до 40–50 МПа та вище) гідростатичного тиску, який створюється промивальним розчином на вибої свердловини, що ускладнює процес його очищення та видалення вибуреного шламу з наддолотної області [1]. Одним із технічних засобів, які дозволяють знизити величину тиску в процесі буріння є наддолотний струминний насос [2]. Враховуючи, що ефективність застосування наддолотних ежекційних компоновок визначається точністю прогнозування режиму експлуатації струминного насоса [3], удосконалення математичних моделей його робочого процесу є актуальною задачею. Сучасні методи розрахунку наддолотних ежекційних систем не враховують [4] наявність їх обертання в свердловині. Виникнення відцентрових сил при відносному русі елементів ежекційної системи змінює характер розподілу гідродинамічних параметрів в проточній частині струминного

насоса та має безпосередній вплив на його характеристики [5]. Асиметричне обертання струминного насоса, викликане його ексцентричним розміщенням в наддолотній компоновці, підвищує вплив відцентрових сил на точність прогнозування режиму роботи ежекційної системи.

Метою досліджень є моделювання робочого процесу високонапірного струминного насоса із врахуванням можливості його обертання в свердловині для умов ексцентричного розміщення у складі наддолотної компоновки.

Наддолотні компоновки з ексцентричним розміщенням ежекційної системи відносно осі свердловини, зазвичай, складаються з паралельно-послідовного з'єднання декількох струминних насосів.

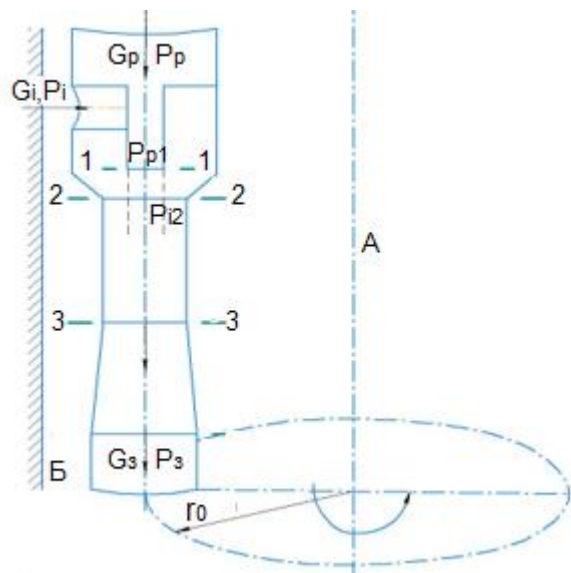


Рисунок 1 – Гідравлічна схема ежекційної системи з асиметрично розміщеним струминним насосом: А – вісь свердловини; Б – стінка свердловини

G_p, G_j, G_3 – масові витрати робочого, інжектowanego та змішаного потоків;

P_p, P_i, P_3 – значення тиску робочого, інжектowanego та змішаного потоків;

r_0 – ексцентриситет розміщення струминного насоса в свердловині;

1–1 – вихідний переріз робочої насадки;

2–2 – вхідний переріз камери змішування; 3–3 – вихідний переріз камери змішування

Використовуючи рівняння збереження імпульсу та моменту кількості руху рідини, закон неперервності потоку і збереження енергії у вигляді рівняння Бернуллі отримаємо характеристику додаткового напору h_0 для високонапірного струминного насоса за умови його ексцентричного обертання в свердловині

$$h_0 = \frac{\varphi_1^2 G_3^2}{K_{CH}^2} (1+i)^2 + \frac{2\varphi_1^2 \varphi_{2i} \omega^2 r_o^2 f_{p1}^2 \rho^2}{G_p^2 (1+1/i)} - \frac{\Delta P_K}{\Delta P_p} \quad (1)$$

де φ_1 , φ_{2i} – коефіцієнти швидкостей у вихідному перерізі робочої насадки та інжектованого потоку у вхідному перерізі камери змішування;

K_{CH} – основний геометричний параметр струминного насоса;

i – коефіцієнт інжекції;

ω – кутова швидкість обертання струминного насоса;

ρ – густина потоку;

f_{p1} – площа перерізу робочого потоку на виході з робочої насадки;

ΔP_K – зниження тиску інжектованого потоку на вхідній ділянці камери змішування;

ΔP_p – різниця тисків робочого та інжектованого потоків.

Величина відносних гідравлічними втратами $\Delta P_K / \Delta P_p$ в рівнянні (1) визначена методом послідовних наближень з використанням програми PTC Mathcad.

Визначення співвідношень відносного напору та коефіцієнта інжекції дозволяє розрахувати енергетичну характеристику струминного насоса.

$$\eta = \frac{hi}{1-h} \quad (2)$$

де η – коефіцієнт корисної дії струминного насоса.

В процесі виведення рівнянь (1), (2) використано формулу для визначення коефіцієнта інжекції i струминного насоса у вигляді співвідношення витрат інжектованого Q_i та робочого Q_p потоків $i = Q_i / Q_p$.

Побудовані з використанням рівнянь (1), (2) залежності зростання напору та ККД струминного насоса, зумовлені його асиметричним обертанням в свердловині, відзначаються чітко визначеним екстремумом (рисунок 2).

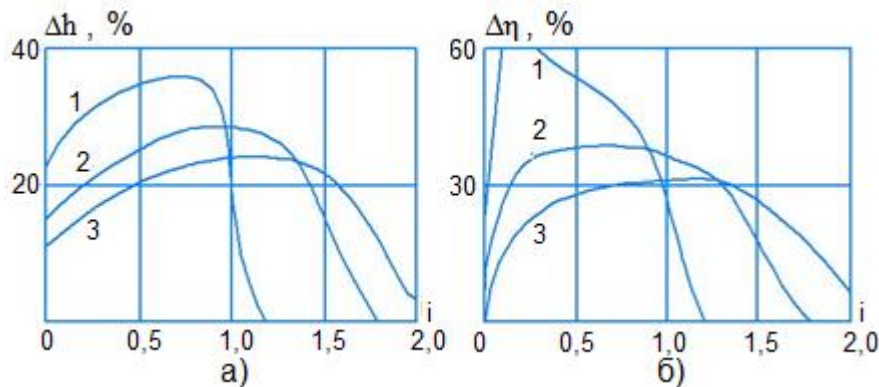


Рисунок 2 – Залежність зростання напору (а) та коефіцієнта корисної дії (б) від коефіцієнта інжекції струминного насоса для різних значень основного геометричного параметра:
1 – $K_{ch}=2,0$; 2 – $K_{ch}=3,0$; 3 – $K_{ch}=4,0$

Необхідно відзначити що зростання напору та ККД приймає максимальні значення для струминного насоса з основним геометричним параметром $K_{ch}=2$ та зменшується при зростанні величини K_{ch} . Значення коефіцієнта інжекції, які відповідають екстремумам кривих $\Delta h = f(i)$, $\Delta \eta = f(i)$ зростають при збільшенні величини геометричного параметра K_{ch} .

Отримані результати дають змогу підвищити ефективність проектування конструкцій свердловинних ежекційних систем та раціональних режимів їх експлуатації при реалізації процесів розробки нафтогазових родовищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Yong H., Lihong Z., Deyong Z., Hualin L., Jinying W., Jinshen Y., Yugang Z., Zhibin W. Study on structure parameters of reverse circulation drill bit secondary injector device based on injector coefficient. IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, Singapore. 22–24. –2016. P. 22–24. <https://doi.10.2118/180539-MS>.
2. Zhu H. Y., Liu Q.Y. Pressure drawdown mechanism and design principle of jet pump bit. Scientia Iranica B. – 2015. № 22(3). P. 792–803.
3. Panevnyk D.A. Simulation of a downhole jet-vortex pump's working process. Nafta-Gaz. –2021. No. 9. P. 579–586. <https://doi.org/10.18668/NG.2021.09.02>.
4. Qian Y., Wang Y., Fang Z., Chen X., Miedema S.A. Numerical Investigation of the Flow Field and Mass Transfer Characteristics in a Jet Slurry Pump. Processes. – 2021. № 9(11). 17 p. <https://doi.org/10.3390/pr9112053>.
5. Zhu H.Y., Liu Q.Y., Wang T. Reducing the bottom-hole differential pressure by vortex and hydraulic jet methods. Journal of Vibroengineering. – 2014. № 8. P. 2224–2249.

SIMULATION OF THE JET PUMP WORKING PROCESS WITH ITS ASYMMETRIC ROTATION IN THE WELL

Panevnyk Denys

Abstract. *The structure of the equations of the pressure-flow characteristics of the high-pressure jet pump is supplemented with a component that determines the additional pressure caused by the influence of eddy currents during the asymmetric rotation of the ejection system around the axis of the well. On the basis of the joint solution of the Bernoulli equations, the preservation of the integrity of the moving medium, the momentum and moment of movement of the mixed flows, a relationship was obtained for the analytical determination of the additional dynamic pressure created by the rotation of an eccentrically placed jet pump in the well. In the process of researching the resulting equation, the extreme nature of the growth of the pressure-flow and energy characteristics of the overbite ejection system was established. The increase in pressure and efficiency caused by the asymmetric rotation of the over-chisel ejection system is inversely proportional to the value of the main geometric parameter of the jet pump.*

Keywords: *jet pump, ejection system, relative pressure, injection coefficient, pressure and energy characteristic, relative rotational motion.*

REFERENCES

1. Yong H., Lihong Z., Deyong Z., Hualin L., Jinying W., Jinshen Y., Yugang Z., Zhibin W. Study on structure parameters of reverse circulation drill bit secondary injector device based on injector coefficient. IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, Singapore. 22–24. –2016. 22–24. <https://doi.org/10.2118/180539-MS>.
2. Zhu H. Y., Liu Q.Y. Pressure drawdown mechanism and design principle of jet pump bit. Scientia Iranica B. – 2015. № 22(3). P. 792–803.
3. Panevnyk D.A. Simulation of a downhole jet-vortex pump's working process. Nafta-Gaz. –2021. No. 9. P. 579–586. <https://doi.org/10.18668/NG.2021.09.02>.
4. Qian Y., Wang Y., Fang Z., Chen X., Miedema S.A. Numerical Investigation of the Flow Field and Mass Transfer Characteristics in a Jet Slurry Pump. Processes. – 2021. № 9(11). 17 p. <https://doi.org/10.3390/pr9112053>.
5. Zhu H.Y., Liu Q.Y., Wang T. Reducing the bottom-hole differential pressure by vortex and hydraulic jet methods. Journal of Vibroengineering. – 2014. № 8. P. 2224–2249.

БАЗИ ДАНИХ І МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ ДОВЕДЕННІ СТАЛІ НА УКП

Тогобицька Д.М., Поворотня І.Р., Ліхачов Ю.М., Ходотова Н.Є.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпро

Анотація. Обґрунтовано необхідність розвитку баз даних галузевого Банка даних «Металургія» з метою збереження унікальних промислових та лабораторних експериментальних даних, що можуть бути покладені в основу ліцензійних профільних комп'ютерних програм. Зроблено акцент на важливості розвитку розрахункових методів визначення першочергових властивостей феросплавів, що забезпечать одержання металургіями-промисловцями адекватних даних для подальшого прийняття оперативних рішень при виплавці конкурентоздатної та якісної сталі і їх впровадження в автоматизовані системи управління технологічними процесами. На основі концепції спрямованого хімічного зв'язку розроблено моделі, що дозволяють прогнозувати важливі фізико-хімічні та теплофізичні властивості, які виступають лімітуючими ланками ефективності процесів міжфазних взаємодій, зокрема марганецьвмісних феросплавів з достатньою точністю для промислового використання.

Ключові слова: бази даних, параметри міжатомної взаємодії, добавки, феросплави, якість металу, прогнозування, моделі

Розвиток металургійної галузі є одним із ключових елементів забезпечення економічної стабільності країни та утримання конкурентоздатних позицій на світовому ринку якісної металопродукції з одночасним задоволенням невпинно зростаючих внутрішньодержавних потреб. Останнім часом прослідковується тенденція до посилення вимог щодо фізико-хімічних, теплофізичних, експлуатаційних характеристик сталі, а отже на порядок денний встають питання пошуку шляхів суттєвого удосконалення процесів легування, рафінування, позапічної обробки напівпродукту, як відповідальної ланки у поєднанні з напрацюваннями феросплавного виробництва.

Металургійна галузь є відносно гнучкою промисловою сферою, однак це не самобутня («вроджена») гнучкість, а набута завдяки постійному слідуванню останнім трендам та запитам споживачів, застосуванню передових засобів комп'ютеризації, технологічних ноу-хау, запатентованих винаходів, нових

технологічних схем та прийомів, що забезпечується влучним поєднанням наукового інтелекту металургів і промислового потенціалу виробничників. Вірна ідентифікація першопричини сформованого запиту на металургійному виробництві є запорукою обрання правильного вектору задля його вирішення. Зазвичай у науковців виникають труднощі з наявністю достовірних даних, що можуть бути використані для наукового обґрунтування особливостей фізико-хімічного перебігу процесу виплавки металу та як наслідок поява не раціонального техніко-економічного виробничого фактору (не ефективне використання добавок, збільшення часу виплавки, а отже і енергетичного ресурсу та ін.). Черговим нагадуванням про інформаційну цінність даних та важливість їх збереження, систематизації, обліку була вимушена втрата одного із гігантів української промисловості через військові дії МК «Азовсталь».

З огляду на ці обставини особливість баз даних акумулювати різнотипну інформацію без втрати її смислового та наукового навантаження завдяки розробленим строгим правилам формалізації у вигляді машинного паспорту експериментальних даних (ПЕД), який включає всю повноту викладеного без попередньої обробки та «згладжувань», є важливим внеском у точність одержаних прогнозних значень. В Інституті чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України (ІЧМ НАНУ), як одному з передових галузевих закладів країни, який займає лідируючі позиції по науковому потенціалу, створена база експериментальних фізико-хімічних даних про властивості залізобуглецевих розплавів, яка є складовою Банка даних «Металургія» [1]. В останній час Банк даних «Металургія» доповнений двома новими інформаційними модулями, а саме «Феросплави» та «ШУС» (шлакоутворюючі суміші) [2], адже саме ці два напрямки є одними із найбільш затребуваних зокрема для сталеплавильного виробництва. Слід зазначити, що закордонна практика свідчить на користь застосування Баз даних, як основ для розробки спеціальних комп'ютерних розрахункових комплексів, програм, навчальних симуляцій процесів, а отже їх використання є різноцільовим та може сприяти не лише покращенню промислових потреб і якості сталі, а й підготовці та навчанню наукових кадрів. Таким чином значимість баз даних є

беззаперечною та вимагає їх виведення на міжгалузевий та міжвузівський рівень з відкритим доступом, як окремої інстанції по сприянню розвитку наукового рівня та можливостей науковців.

Інформаційний ресурс банку даних «Металургія» у поєднанні з основними положеннями концепції спрямованого хімічного зв'язку [3] був використаний для розробки прогнозних моделей щодо визначення властивостей марганецьвмісних феросплавів ($T_{пл}$, $^{\circ}K$ – температура плавлення; $D \times 10^3$, $кг/м^3$ – густина; $Ств$, $Дж/кгK$ – теплоємність; λ , $Вт/м \times K$ – теплопровідність; Q , $КДж/кг$ – теплота плавлення; ρ , $мОм \times м$ – питомий електроопір; σ , $МПа$ – тимчасовий опір). Згідно відправних положень концепції спрямованого хімічного зв'язку: хімічна індивідуальність системи, реакційна здатність, структурний стан розплавів виражаються за допомогою методу кодування хімічного складу дослідного розплаву в інтегральних параметрах міжатомної взаємодії: Z^Y – параметр зарядового стану системи, e ; d – середньостатистична між'ядерна відстань, $10^{-1}nm$; $tg\alpha$ – константа для кожного елементу, яка характеризує градієнт зміни радіусу іона при зміні його заряду; ρ_l – спрямована зарядова щільність, e/nm .

На основі результатів проведеного кореляційно – регресійного аналізу для прогнозування властивостей репрезентативної вибірки даних розроблені моделі структури: властивість = $f(Z^Y, d, \rho_l, tg\alpha, \Delta Z^Y, \Delta d)$, які визначаються високим рівнем точності:

$$T_{пл} = f(Z^Y, \rho_l, tg\alpha) R^2 = 0,89; D = f(Z^Y, tg\alpha, \Delta d, Zc^{Mn}) R^2 = 0,958;$$
$$Ств = f(\Delta d, Z^Y, Zc^{Mn}) R^2 = 0,728; \lambda = f(Z^Y, tg\alpha, d) R^2 = 0,880;$$
$$Q_{пл} = f(Z^Y, tg\alpha, \Delta d) R^2 = 0,952; \rho = f(Z^Y, tg\alpha, Zc^{Mn}/Zc^C), R^2 = 0,843;$$
$$\sigma = f(Z^Y, \Delta d, tg\alpha, Zc^{Mn}) R^2 = 0,837.$$

Адекватність та математична стійкість розроблених виразів підтверджена на репрезентативній вибірці вітчизняних промислових даних виробництва феросплавів марок ФМн78 та МнС17 ($n=14554$). Одержані в роботі результати є підґрунтям для виробки рекомендацій щодо вибору ефективних добавок та рекомендуються до

інтеграції у АСУТП сталеплавильного виробництва, що забезпечать одержання сталі з затребуваними металоспоживачами показниками.

Висновок. Створено інформаційний ресурс у вигляді системного поєднання баз даних та моделей, що дозволяє провести оцінку узгодженості вимог до затребуваної стандартом якості одержаного металу і виробити рекомендації щодо коригування технологічної схеми виплавки. Розроблені моделі для прогнозування фізико-хімічних та теплофізичних властивостей феросплавів по схемі: «склад – інтегральні параметри взаємодії – властивість», являються основними складовими алгоритмічного і програмного забезпечення наскрізної схеми направленої формування якісної сталі.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Тогобицька Д.М. Базы даних і моделі для експертної оцінки ефективності використання феросплавів при виробництві сталі / Тогобицька Д.М., Піптюк В.П., Петров О.П., Греков С.В., Сігура І.Р., Ліхачов Ю.М. Головка Л.А.// Фундаментальні і прикладні проблеми чорної металургії. 2017. – № 31. – С. 150 – 165.
2. Степаненко Д.О., Цюпа Н.О., Андрієвський Г.А. База даних і моделі для прогнозування властивостей шлакоутворюючих сумішей – Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні». – Дніпро. – 2018 р. – С. 34.
3. Togobitska D. and Belkova A. New approach to evaluating the thermodynamic consistency of melts in the «Metal-Slag» system based on interatomic interaction parameters // Lithuanian Journal of Physics. Vol.64, No.1, pp.58-71 (2024). <https://doi.org/10.3952/physics.2024.64.1.6>

DATABASES AND MODELS TO SUPPORT THE ACCEPTANCE OF TECHNOLOGICAL DECISIONS IN THE PROOFING OF STEEL AT THE LADLE FURNACE INSTALLATION

Togobitska Daria., Povorotnia Iryna, Likhachev Yury, Nadiya Khodotova

Abstract. *The need to develop the databases of the «Metallurgy» industry data bank in order to preserve unique industrial and laboratory experimental data, which can be the basis of licensed profile computer programs, is substantiated. Emphasis is placed on the importance of the development of calculation methods for determining the primary properties of ferroalloys, which will ensure that industrial metallurgists receive adequate data for further operational decision-making in the production of competitive and high-quality steel and their introduction into automated technological process control systems. Based on the concept of directional chemical bonding, models have been developed that*

allow predicting important physicochemical and thermophysical properties that are the limiting factors in the efficiency of interphase interaction processes, in particular, of manganese-containing ferroalloys with sufficient accuracy for industrial use.

Keywords: *databases, interatomic interaction parameters, additives, ferroalloys, metal quality, forecasting, models*

REFERENCE

1. Togobitska D.N. Databases and models for expert evaluation of the efficiency of ferroalloys in steel production / Togobitska D.N., Piptyuk V.P., Petrov A.F., Grekov S.V., Snigura I.R., Likhachev Yu.M., Golovko L.A. // Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. 2017. - № 31. - P. 150 – 165.
2. Stepanenko D.A., Tsyupa N.A., Andrievskiy G.A. Database and models for predicting the properties of slag-forming mixtures – Materials of Scientific and Technical International Conference «Information Technology in Metallurgy and Machine Building». – Dnepr. – 2018 – P. 34.
3. Togobitska D. and Belkova A. New approach to evaluating the thermodynamic consistency of melts in the «Metal-Slag» system based on interatomic interaction parameters // Lithuanian Journal of Physics. Vol.64, No.1, pp.58-71 (2024). <https://doi.org/10.3952/physics.2024.64.1.6>

ВИЗНАЧЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ БАГАТОЗВ'ЯЗНИХ ОБ'ЄКТІВ

Селівьорстова Т.В.¹, Потап М.О.¹

¹Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. Доведення адекватності моделей складних, багатозв'язних об'єктів, таких як стани безперервної прокатки, становить проблему через неможливість точного відтворення умов промислового експерименту під час моделювання. Більшість вхідних та вихідних змінних у наведеній комп'ютерній моделі безперервного прокатного стану не піддаються експериментальному вимірюванню, а відтак їх не можна порівнювати з результатами моделювання.

Адекватність таких моделей пропонується визначати шляхом порівняння якісних та кількісних ефектів взаємовпливу різних модельованих параметрів із подібними ефектами, наявність яких чітко встановлена практикою. Застосування зазначеного методу дозволило провести апробацію нового способу регулювання міжклітьового натягу на основі даних про струми якоря двигунів прокатних станів.

Ключові слова: комп'ютерне імітаційне моделювання, багатозв'язний об'єкт, адекватність моделі, безперервний прокатний стан.

Імітаційне моделювання складних багатозв'язних об'єктів, до яких належать, наприклад, безперервні прокатні стани, зазвичай стикається з проблемою доведення адекватності створених моделей. Використання класичних підходів до визначення адекватності, які передбачають співставлення результатів моделювання з даними, що отримані за результатами активних або пасивних експериментів на об'єкті [1], суттєво обмежується низкою непереборних обставин.

До таких обставин слід віднести [2]:

1) неможливість прямого вимірювання певних технологічних параметрів через відсутність відповідних вимірювальних засобів та методів;

2) принципову неможливість відтворити під час комп'ютерного моделювання численні технологічні фактори, які істотно впливають на процес, що моделюється.

Стосовно моделювання процесів на безперервних станах до параметрів, які взагалі не піддаються прямому вимірюванню можна віднести, зокрема,

натяг, що виникає у прокаті, швидкість прокату та геометричні розміри прокатних профілів на виході з прокатних клітей тощо. Значення низки інших параметрів, які начебто й піддаються вимірюванню (зокрема, температура прокату), не можуть бути використані через відсутність відповідних вимірювачів на реальних станах.

Неможливість відтворення при моделюванні безперервної прокатки скільки-небудь подібної до умов промислового експерименту картини змінюваних у часі вхідних параметрів процесу є абсолютно очевидною з огляду на їхню кількість.

Наведені міркування обумовили підхід до визначення адекватності імітаційної моделі чистової групи клітей безперервного дрібносортового стана 250, що була створена в роботі [3] з метою дослідження ефективності нового способу мінімізації натягу прокату за інформацією про якірні струми головних прокатних електроприводів.

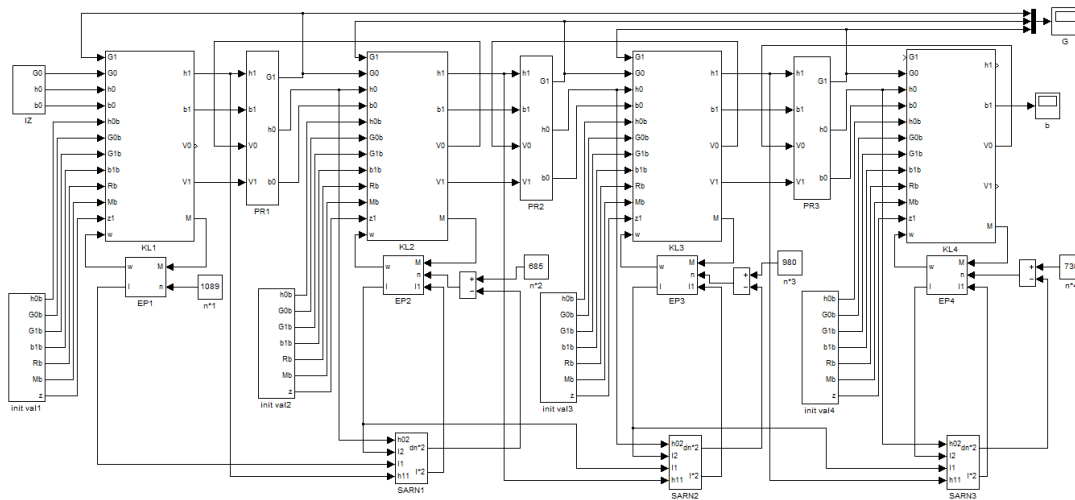
Модель, структура якої наведена на рис. 1, містила низку типових блоків, що моделюють геометричні, кінематичні та енергосилові параметри прокатки в клітях (блоки KL), стан металу в міжклітьових проміжках (блоки PR), роботу головних електроприводів прокатних клітей (блоки EP) та власне системи автоматичного регулювання натягу (блоки SARN), а також імітують параметри заготовки (блок IZ).

Навіть якщо обмежитись розглядом блоків KL_i , що моделюють процес деформації металу в клітях, можна зазначити, що вхідними змінними кожного з них виступають геометричні розміри (ширина b_{0i} та висота h_{0i}) підкату, передній $\sigma_{i,i+1}$ та задній $\sigma_{i-1,i}$ натяг, а також частота n_i обертання прокатного двигуна та міжвалковий зазор z_i . До вихідних змінних блоків KL_i відносяться геометричні розміри (ширина b_{1i} та висота h_{1i}) на виході з кліті, швидкість металу на вході V_{0i} та виході V_{1i} , а також момент M_i прокатки.

З усіх одинадцяти перелічених параметрів прямому вимірюванню у промисловому експерименті піддається лише один: частота обертання прокатного двигуна, а непрямому – момент прокатки уяву про значення якого

надає вимірюваний якірний струм двигуна. Решта параметрів в експерименті виміряною бути не може.

Отже за принципової неможливості доведення адекватності наведеної моделі класичними методами для вирішення проблеми можна запропонувати підхід, що передбачає зіставлення якісних та кількісних ефектів взаємного впливу різних модельованих параметрів з аналогічними ефектами, наявність яких однозначно встановлена на практиці і підтверджується досвідом промислової експлуатації об'єкта автоматизації.



3. Мінімізація міжклітьового натягу на безперервних станах за якірними струмами електроприводів прокатних клітей / О.Ю.Потап, В.М. Куваєв, О.О. Бойко, М.О. Рибальченко, В.І. Шибакінський, М.О. Потап. Системні технології. Вип. 6 (149). Дніпро, 2023. С. 75-83.

DETERMINING THE ADEQUACY OF COMPUTER MODELS OF COMPLEX MULTI-CONNECTED OBJECTS

Tatyana Selivorstova, Mykhailo Potap

Abstract. *Proving the adequacy of models of complex, multi-connected objects such as continuous rolling mills poses a problem due to the impossibility of accurately reproducing the conditions of an industrial experiment during modeling. Most of the input and output variables in the given continuous bar rolling mill computer model are not experimentally measurable and therefore cannot be compared with simulation results.*

It is proposed to determine the adequacy of such models by comparing the qualitative and quantitative effects of the mutual influence of various modeled parameters with similar effects, the presence of which has been clearly established in practice. The application of the specified method made it possible to test a new method of interstand tension regulation based on the data on armature currents of rolling mill motors.

Keywords: *Computer simulation modeling, multi-connected object, model adequacy, continuous bar rolling mill*

REFERENCES

1. Methods for goal-oriented assessment of model adequacy / V.A. Krisilov, Lyubchenko V.V., Kavitskaya V.S. / Odessa Polytechnic University. 2 (39). Odessa, 2012. P. 160-184.
2. Automation of technological processes on light-section rolling mills: monograph / A.S. Beshta, V.N. Kuvaev, O.E. Potap, A.P. Egorov. Dnepropetrovsk: Zhurfond, 2014. 283 p.
3. Minimization of interstand tension on continuous grade rolling mills by armature currents of electric drives of roll mill stands / O. Potap, V. Kuvaev, O. Boyko, M. Rybalchenko, V. Shybakinskyi, M. Potap / System technologies. 6 (149) 2023. P. 75-83.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ МЕТОДІВ І НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Пошивалов В.П., Данієв Ю.Ф

Інститут технічної механіки НАН України и ДКА України (Україна)

Анотація. У роботі проведено порівняльний аналіз використання експертної системи на основі бази знань з експертною системою на основі нейронної мережі для визначення залишкового ресурсу технічних об'єктів. Для побудови залежності між вхідними параметрами та залишковим ресурсом запропоновано використовувати експертні методи та нейронні мережі. При цьому дані, що використовуються для оцінки залишкового ресурсу, можуть базуватися як на експертних оцінках, так і бути отримані в результаті технічної діагностики технічного об'єкта. Задачу визначення залишкового ресурсу на основі вимірювань і експертних оцінок можна сформулювати як задачу апроксимації функції багатьох змінних. Ці змінні є вхідними параметрами для побудови нейронної мережі. До змінних відносяться дані, отримані в ході технічної діагностики в процесі експлуатації (перевищення параметрів, зміна середовища, динамічні навантаження) і зовнішні фактори. Далі будується деяке відображення таким чином, що для кожного можливого вхідного зображення формується вихід, що характеризує залишковий ресурс технічного об'єкта.

Ключові слова: експертні методи, нейронна мережа, прогнозування, технічний об'єкт, залишковий ресурс

При оцінці залишкового ресурсу технічних об'єктів використовуються різні математичні методи, а саме імовірнісні, параметричні, кореляційний та регресійний аналіз, факторний аналіз, байєсовські мережі, за несучою здатністю, експертні, із застосуванням кінетичної теорії міцності твердих тіл, за швидкістю корозії, за циклічним навантаженням тощо [1].

Методи експертних оцінок, засновані на знаннях фахівців та накопиченому ними досвіді є важливим інструментом визначення загальних тенденцій розвитку параметрів та технічного рівня складних технічних систем.

У роботі проведено порівняльний аналіз використання експертної системи, що базується на базі знань, з експертною системою, що базується на нейронній мережі, для визначення залишкового ресурсу технічних об'єктів.

Для побудови залежності між вхідними параметрами та залишковим ресурсом пропонується використовувати експертні методи та нейронні мережі (НМ) [2].

При цьому дані, які використовуються для оцінки залишкового ресурсу, можуть базуватися як на експертних оцінках, так і бути отримані в результаті технічного діагностування технічного об'єкта.

Задача визначення залишкового ресурсу за даними вимірів та експертних оцінок може бути сформульована як задача апроксимації функції багатьох змінних. Ці змінні є вхідними параметрами для побудови нейронної мережі. Змінні включають дані отримані при проведенні технічного діагностування в процесі експлуатації (перевищення параметрів, зміна середовища, динамічні навантаження) і зовнішніми факторами. Далі будується деяке відображення таким чином, щоб на кожен можливий вхідний образ, формується вихідний, який характеризує залишковий ресурс технічного об'єкту.

Основний принцип роботи нейронної мережі при визначенні залишкового ресурсу полягає в налаштуванні параметрів нейрона таким чином, щоб поведінка мережі відповідала деякій бажаній поведінці.

Спроможності нейронної мережі до прогнозування прямо впливають із її здатності до узагальнення й виділенню прихованих залежностей між вхідними й вихідними даними. Після навчання мережа здатна передбачити майбутнє значення якоїсь послідовності на основі декількох попередніх значень або якихось існуючих у даний момент факторів. Слід зазначити, що прогнозування залишкового ресурсу можливе тільки тоді, коли минулі зміни експлуатації технічного об'єкту дійсно в якійсь мірі визначають майбутні.

Тут дуже важливий враховувати необхідний рівень деталізації. На рівень деталізації впливає декілька факторів: доступність і точність даних, вартість аналізу й переваги користувачів результатів прогнозування. Точність прогнозу, яка потрібна для вирішення задачі залишкового ресурсу, впливає на прогнозуючу систему. Також вплив на прогноз виявляє навчальна вибірка.

Однієї з актуальних задач, при розв'язку яких використовують нейронні мережі, є завдання прогнозування часового ряду, який характеризує сукупність

значень показника за певну кількість послідовних моментів або періодів часу. Прогнозування залишкового ресурсу є надзвичайно важкою задачею, оскільки традиційна архітектура НМ і методи формування навчальної вибірки для неї не зовсім підходять для розпізнавання образів, які змінюються із часом. Початково НМ призначалися для розпізнавання структурних образів. У таких задачах демонструється образ, що полягає з набору візуальних, семантичних або інших властивостей, і мережа повинна розпізнати вхідний образ, що належить одному або декільком класам. При прогнозуванні часового ряду обробляються образи, які змінюються із часом і тому важко сказати, що мережа має повну інформацію.

Для розв'язку задач прогнозування за допомогою нейронних мереж зараз застосовують підхід апроксимації функції. У багатьох роботах з теорії й застосування нейронних мереж має місце твердження, що нейронні мережі є одним із кращих методів апроксимації функцій [3]. У результаті навчання мережі, що настроюється, параметри приймають вид, відповідний до деякої функції представленої вхідними й вихідними векторами навчальної множини, використовуючи підхід апроксимації функції [3]. Даний підхід застосовується в задачах прогнозування, у яких кожному конкретному вхідному вектору, представленому вхідними параметрами нейронної мережі, відповідає конкретне значення прогнозованого вектора, представленого вихідними параметрами нейронної мережі:

Негативний результат навчання можливий через складну форму функції, що апроксимується, в умовах неповних даних, необхідних для її успішної апроксимації. При введенні в систему деякої припустимої погрішності навчання можна уникнути подібних результатів. Задача прогнозування часових рядів є однією із класичних задач, які ефективно розв'язуються за допомогою нейронних мереж. Здатність нейронних мереж після навчання до узагальнення й екстраполяції результатів створює потенційні передумови до побудови на їхній базі різного роду прогнозуючих систем.

Слід особливо зазначити той факт, що ефективний розв'язок задач прогнозування можливо тільки в тому випадку, якщо нейронна мережа

навчається на великому об'ємі даних. У випадку малорозмірної або неякісної навчальної вибірки навіть найкращий алгоритм не дасть задовільного результату, оскільки без повноцінного набору даних нейромережа принципово не здатна навчити

Навчання мережі необхідно виконувати окремо для кожного часового ряду, тому що спроба прогнозування ряду, на якому мережа не була навчена, приведе до помилкового результату [4].

Застосування нейронної мережі для оцінки залишкового ресурсу забезпечує такі її властивості:

- здатність до узагальнення різнорідних даних, які впливають на стан несучої здатності конструкції об'єкта;
- нейронна мережа, побудована із сполук нелінійних нейронів, сама є нелінійною (нелінійність є важливою властивістю, оскільки вхідний сигнал, що подається в НМ, у разі визначення залишкового ресурсу є також нелінійним);
- відображення вхідної інформації у вихідну.

Задача визначення залишкового ресурсу за даними вимірів та експертних оцінок може бути сформульована як задача апроксимації функції багатьох змінних. Ці змінні є вхідними параметрами для побудови нейронної мережі. Змінні включають дані отримані при проведенні технічного діагностування в процесі експлуатації (перевищення параметрів, зміна середовища, динамічні навантаження) і зовнішніми факторами. Далі будується деяке відображення таким чином, щоб на кожен можливий вхідний образ, формується вихідний, який характеризує залишковий ресурс технічного об'єкту.

В роботі також показано, що підвищувати надійність технічних об'єктів можна при використанні комп'ютерних технологій, зокрема, інтелектуальних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пошивалов В.П. Про методологію прогнозування ресурсу конструкцій на етапі проектування з використанням імовірнісних підходів / В. П. Пошивалов, Ю. Ф. Данієв, Л. В. Резніченко, І. І. Телегіна / Математичні проблеми технічної механіки - 2018 : Міжд. наук. конф., квітень, 2018, Дніпро, Україна : мат. конф. - Київ, Черкаси, Кам'янське, 2018. - С. 31.

2. Kriesel D. A brief introduction to Neural Networks [Електронний ресурс], 2007. 286 p. [http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks].
3. Галушкін А.І. Нейронні мережі: основи теорії. - М.: Гаряча лінія - Телеком, 2010. - 496 с.
4. Любимова Т.В., Горєлова А.В. Розв'язання задачі прогнозування за допомогою нейронних мереж // Інноваційна наука. 2015, №4. С.39-42.

APPLICATION OF EXPERT METHODS AND NEURAL NETWORKS FOR FORECASTING THE REMAINING RESOURCE OF TECHNICAL OBJECTS

Volodymyr Poshyvalov, Yuri Daniev

Abstract. *In the work, a comparative analysis of the use of an expert system based on a knowledge base with an expert system based on a neural network for determining the residual resource of technical objects is carried out. It is suggested to use expert methods and neural networks to build the dependence between the input parameters and the residual resource. At the same time, the data used to estimate the remaining resource can be based on both expert assessments and be obtained as a result of technical diagnostics of a technical object. The task of determining the residual resource based on measurements and expert assessments can be formulated as the task of approximating the function of many variables. These variables are the input parameters for building the neural network. Variables include data obtained during technical diagnostics during operation (exceeding parameters, change of environment, dynamic loads) and external factors. Next, some mapping is built in such a way that for each possible input image, an output is formed that characterizes the residual resource of the technical object.*

Keywords: *expert methods, neural network, prognostication, technical object, residual resource*

REFERENCE

1. Poshyvalov V.P. On the methodology for predicting the service life of structures at the design stage using probabilistic approaches / V. P. Poshevalov, Yu. F. Daniev, L. V. Reznichenko, I. I. Telegina / Mathematical problems of technical mechanics - 2018: Int. Sci. Conf., Kviten, 2018, Dnipro, Ukraine: mat. conf. – Kiev, Cherkasy, Kamyansk, 2018. - P. 31.
2. Kriesel D. A brief introduction to Neural Networks [Electronic resource], 2007. 286 p. [http://www.dkriesel.com/en/science/neural_networks].
3. Galushkin A.I. Neural networks: basic theory. - M.: Hotline - Telecom, 2010. - 496 p.
4. Lyubimova T.V., Gorelova A.V. Solving the forecasting problem using neural networks//Innovative Science. 2015, No. 4. P.39-42.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В НЕЙТРОННІЙ РАДІОГРАФІЇ

Прохорець С. І.

ІНЦ ХФТІ, Харків, Україна

Анотація. Розглянуто особливості математичного моделювання основних систем нейтронно-радіографічної установки, коли установка описується в термінах набору підсистем або агрегатів і взаємозв'язків між ними.

Ключові слова: нейтрон, нейтронна радіографія, математичне моделювання

Вступ. Проблеми підвищення якості, надійності й довговічності технічних виробів, машин, деталей, матеріалів і складних споруд набувають особливого значення в сучасних умовах. Вирішення цих проблем в значній мірі залежить від наявності ефективних засобів і методів контролю. Найбільший інтерес у виробничих умовах представляють методи контролю без порушення контрольованих об'єктів. До таких методів відноситься дефектоскопія матеріалів і виробів із застосуванням гамма- і рентгенівського випромінювань або гальмівного випромінювання прискорювачів електронів. Одним з нових методів неруйнуючого контролю, який інтенсивно розвивається в багатьох розвинених в промисловому відношенні країнах світу, є нейтронна радіографія [1]. В Україні в даний час немає жодної радіографічної установки, хоча її реалізація дозволила б йти в ногу з світовим розвитком науки і техніки.

Практична реалізація методу нейтронної радіографії дозволить створити в Україні новий інструментальний засіб неруйнуючого аналізу відповідальних виробів атомної промисловості. Впровадження радіографії, а потім і томографії, в нейтронних пучках дозволить отримати новий інструментарій для інспекції широкого кола виробів, що містять одночасно легкі й важкі елементи та їх ізотопи.

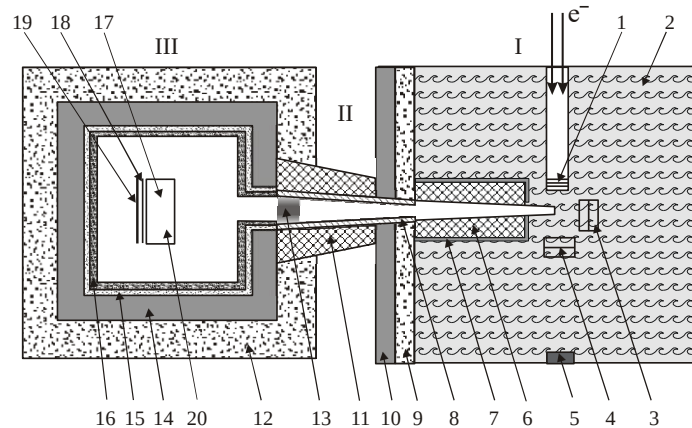


Рисунок 1 - Схема моделі НР-приладу

- I – нейтроноутворююча мішень; II – система формування пучка сповільнених нейтронів;
III – нейтронографічна камера; 1 – Та-мішень; 2 – бак із сповільнювачем;
3, 4 – берилієві відбивачі; 5 – монітор пучка; 6 – коліматор; 7 – Pb-захист навколо коліматора;
8 – шар Cd; 9, 12 – борований поліетилен; 10, 11, 14 – Pb;
13 – гамма-фільтр; 15 – Sn; 16 – Ni(Cr); 17 – індикатор чистоти пучка (ІЧП);
18 – конвертор Gd(Dy); 19 – рентгенівська плівка; 20 – прилад типу ШД-1

Розглянуто особливості основних систем нейтронографічної установки на прискорювачі електронів. До основних систем (елементів) установки відносяться: джерело випромінювання – джерело прискорених електронів, які генерують нейтрони в результаті взаємодії з матеріалом мішені, нейтроноутворююча мішень, система формування потоку нейтронів і позиційно-чутливий детектор нейтронографічного зображення (див. рис.).

Таке представлення нейтронографічної установки дозволяє представити її структурну схему у вигляді набору підсистем або агрегатів і взаємозв'язків між ними. Як джерело випромінювань, в результаті взаємодії якого з речовиною виникають нейтрони, використовується прискорювач електронів. Взаємозв'язками в такій системі є взаємодія пучка електронів з певною енергією і струмом з нейтроноутворюючою мішенню і проходження виникаючих нейтронів і гамма-квантів послідовно крізь тракт формування нейтронів і об'єкт дослідження до детектора. У першому наближенні в розглянутій системі функціонування будь-яка з підсистем не залежить від подальшої, тому математичне моделювання для оптимізації їх характеристик зводиться до автономного моделювання підсистем [2]. Тому моделювання можна починати з будь-якої підсистеми, на вхід якої поступає інформація

тільки з одного джерела. У представленій системі такий випадок можна реалізувати якщо припустити, що гамма-фон від нейтронної мішені зневажливо малий, тобто вплив гамма-фону на подальші підсистеми можна не враховувати. Таке представлення складної системи дозволяє використовувати для характеристики підсистем, що надходять до неї, інформацію у вигляді таблиць, графіків і т.д. і математичне моделювання.

Вихід нейтронів залежить від багатьох керованих параметрів, найбільш важливими з яких є енергія та струм прискорених електронів, відстань від центру нейтроноутворюючої мішені до коліматора-формувача, довжина коліматора-формувача, товщина й атомний номер матеріалу мішені. Для моделювання виходу нейтронів залежно від керованих параметрів використовуються програми на підставі коду MCNPX, що враховують процеси народження нейтронів $e^- \rightarrow \gamma + n$ і $e^- \rightarrow \gamma + 2n$ в нейтроноутворюючій мішені з важких хімічних елементів: свинець, вольфрам, тантал, уран.

Збільшення потоку нейтронів можна досягти в результаті використання підкритичної збірки, керованої прискорювачем електронів. Таке управління визначає протікання процесу розмноження нейтронів тільки за наявності зовнішнього підсвічування частинками з прискорювача. Підкритична збірка, керована прискорювачем електронів, має дві головні складові – нейтроноутворюючу мішень і реакторну збірку, в якій проводиться посилення потоку нейтронів з мішені. Підкритична збірка працює на підставі ділення речовини, що входить до її складу. Розрахунки посилення потоку нейтронів, проведені для гомогенної та гетерогенної збірок з коефіцієнтом розмноження $0,95 \div 0,97$, відповідають збільшенню потоку нейтронів з мішені порядку $20 \div 30$ разів.

Для неруйнуючого контролю різних об'єктів використовуються теплові нейтрони, тому коліматор-формувач для моделювання представлений у вигляді довгого полого циліндра з кришкою, що розташована з боку нейтроноутворюючої мішені. Особливість такої схеми формування потоку нейтронів полягає в тому, що нейтрони не тільки рухаються в уповільнюючому середовищі, але й переходять з одного середовища в інше, при цьому має місце

відбиття потоку нейтронів. Таким чином, нейтрон зазнає ланцюжок взаємодій, тому його історія розглядається на підставі розрахунків цілого ряду процесів (пружна й непружна взаємодії, захват і т.д.) за програмами, що розроблені на підставі коду MCNP. При проведенні оптимізаційних розрахунків системи формування потоку нейтронів як критерій якості розглядається потік нейтронів в тепловому діапазоні енергій на виході коліматора-формувача та на об'єкті дослідження.

Для математичного моделювання процесів нейтронної радіографії використовують математичні моделі [3], які описують фізичні процеси взаємодії нейтронів, електронів і гамма-квантів з речовиною нейтроноутворюючої мішені, яка в сукупності з прискорювачем електронів є джерелом нейтронів, і тракту формування потоку теплових нейтронів. Математичні моделі повинні описувати геометричні параметри нейтроноутворюючої мішені, тракту формування нейтронного потоку у вигляді порожнистого циліндру з передньою кришкою та кадмієвою вставкою. Вони також повинні враховувати хімічний склад як нейтроноутворюючої мішені (тантал, вольфрам, свинець, уран), так і простого пристрою, що формує потік теплових нейтронів, протяжного циліндру з поліетилену. Математичні моделі формалізують процес народження й транспорту нейтронів в товстій мішені. Вони дають можливість розглянути процес народження нейтрону (електрон $\rightarrow$ фотон $\rightarrow$ нейтрон) і його транспорту з урахуванням пружної й непружної взаємодій з середовищем. Геометричний блок програмного комплексу визначає місцезнаходження частинки після взаємодії і простежує її траєкторію в тривимірному об'єкті. Для розробки математичних і фізичних моделей тривимірних об'єктів ми використовуємо програмні коди MCNP і GEANT4.

Висновки

Розрахунок нейтронних процесів, особливо в складних технічних об'єктах, потребує розвитку як обчислювальної бази, так і освоєння та розвитку сучасних методів моделювання та програмного забезпечення, а також вдосконалення існуючих. Складність обумовлена як хімічним складом середовища так і

геометричними розмірами, наприклад, товщиною фізичного захисту ядерного об'єкта.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Тюфяков Н.Д., Штань А.С. Основи нейтронної радіографії. - М.: Атомиздат, 1975. - 256 с.
2. Дихненко Л.М., Кузьмін І.В. Петров Е.Г. та ін. Основи моделювання складних систем. Київ: Вища школа, 1981. - 360 с.
3. Прохорець С.І., Прохорець І.М., Хажмурадов М.А. Математичні моделі проходження нейтронів через речовину // Радіoeлектроніка та інформатика. 2003. №1. С. 124-128.

MATHEMATICAL MODELING OF PROCESSES IN NEUTRON RADIOGRAPHY

Prokhorets S. I.

Abstract. *The features of the mathematical modeling of the main systems of the neutron radiography facility are examined, when facility is described in terms of a set of subsystems or aggregates and interrelationships between them.*

Keywords: *neutron, neutron radiography, mathematical modeling*

REFERENCES.

1. Tyufyakov N.D., Shtan' A.S. Fundamentals of neutron radiography. – M.: Atomizdat, 1975. – 256 s.
2. Dykhnenko L.M., Kuzmin I.V. Petrov E.G. et al. Fundamentals of modeling complex systems. Kyiv: Vyscha shkola, 1981. – 360 p. (in Russian)
3. Prokhorets S.I., Prokhorets I.M., Khazhmuradov M.A. Mathematical models of neutron passing through matter // Radioelectronics and Informatics.– 2003. – №1.– С. 124-128.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

Русакова Т.І.

Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Україна

Анотація. Інформаційне забезпечення в технологіях захисту довкілля включає прогнозування та аналіз інформації. Інформаційна складова є необхідним інструментом для оцінки рівня екологічного впливу діяльності промислових підприємств з метою застосування необхідних методів і засобів захисту. У даному дослідженні розглянуто інформаційне забезпечення діяльності металургійного підприємства, яке базується на прогнозуванні рівня забруднення атмосферного повітря газовими викидами підприємства. Аналіз полів концентрації дає змогу виділити території міста, які потрапляють у зону впливу забруднюючих речовин залежно від напрямку та швидкості вітру, порівняти їх із ГДК. Інформаційна складова щодо впливу підприємства на навколишнє середовище є важливою для самого підприємства, з точки зору коригування його діяльності щодо екологічної безпеки. Водночас інформаційне забезпечення є важливим для людей, які проживають безпосередньо за межами санітарної зони, але зазнають впливу шкідливих факторів, що поширюються у навколишньому середовищі відповідно до стану атмосфери.

Ключові слова: інформаційне забезпечення, металургійне підприємство, забруднюючі домішки, поле концентрації, атмосферне повітря

Розвиток сучасних технологій та їх застосування є передумовою економічного розвитку та стабільності в роботі промислових підприємств, оскільки вони направлені на зменшення використання природних ресурсів та одночасного зменшення обсягів шкідливих домішок, що надходять в атмосферне повітря за рахунок діяльності підприємств. Одночасно, спрямованість роботи підприємств на ресурсозбереження не може звести до мінімуму шкідливий вплив на довкілля.

Металургійна промисловість України залишається однією із основних, що викидає в навколишнє середовище великі обсяги забруднення, як газового так і пилового. Питання екологічної безпеки залишається актуальним не тільки для вітчизняних металургійних підприємств, але і для іноземних підприємств [1-3]. В роботах зарубіжних авторів наголошується на тому, що при постійному технологічному вдосконаленню, рівень негативного впливу на навколишнє середовище також збільшується. Перехід на циркуляційну економіку дозволяє

не погіршувати екологічний стан навколишнього середовища при одночасно стабільній роботі промислового сектору економіки. А первинні відходи промислових процесів використовувати, як вторинну сировину для інших процесів чи інших виробництв.

Тому актуальним питанням залишається оцінка впливу викидів металургійних підприємств на довкілля. Математичне моделювання полів концентрації шкідливих домішок дозволяє розглянути різні сценарії їх розповсюдження та спрогнозувати екологічні наслідки впливу. Інформаційне забезпечення щодо впливу підприємства на навколишнє середовище є важливим для самого підприємства, з точки зору корегування своєї діяльності щодо екологічної безпеки. Одночасно інформаційне забезпечення є важливим і для людей, які безпосередньо проживають поза санітарною зоною, але підпадають під вплив шкідливих чинників, що розповсюджуються в навколишньому середовищі відповідно до стану атмосфери.

В дослідженні розглянуто гірничо-металургійний комбінат ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”, який належить міжнародній корпорації ArcelorMittal, і є потужним джерелом забруднення атмосферного повітря.

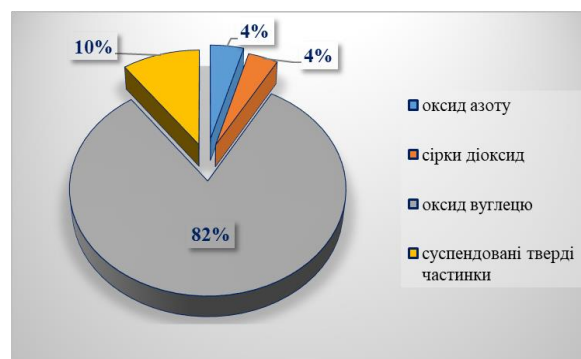


Рис. 1 Обсяги забруднюючих речовин від ПАТ “АрселорМіттал Кривий Ріг”

На основі описової статистики проаналізовано динаміку зміни обсягів забруднюючих речовин, що надійшли в повітря від підприємства продовж 10 років. Спостерігалася різня тенденція: з 2014 рок по 2016 рік викиди зростали, з 2017року по 2018 рік відбулося зменшення, у 2019 році їх обсяги знову зросли, мінімальне значення було зафіксовано у 2022 році через спад виробництва в умовах війни, також закриттям двох застарілих коксових

батарей № 1 та № 2, а також за рахунок введення в експлуатацію нового комплексу сучасних коксових батарей № 5 та № 6 та в наслідок реконструкції та виведенням з експлуатації мартенівського 69 цеху. Основними забруднювачами атмосферного повітря є: оксиди азоту, діоксид сірки, оксиди вуглецю та суспендовані тверді частинки. Відповідний їх розподіл показано на рис. 1.

Для розрахунку поля концентрації кожної речовини застосовувалося рівняння масопереносу у двовимірній постановці. На базі аналітичного розв'язку даного рівняння масопереносу створено програму числового розрахунку, проведено обчислення поля концентрації для діоксиду сірки, діоксиду азоту, оксиду вуглецю.

Аналіз полів концентрації дозволяє виокремити ділянки міста, які попадають в зону впливу дії забруднюючих речовин в залежності від напрямку та швидкості вітру, провести порівняння з гранично допустимою концентрацією.

Рівень концентрації шкідливих домішок дозволяє також отримати інформацію відносно потенційного ризику для здоров'я населення, які постійно проживають в зоні впливу на основі безпорогової моделі впливу, коли для більшості людей відсутня видима небезпека для здоров'я. Було встановлено, що найбільше значення ризику виникнення у населення хронічних захворювань, які можуть проявитися протягом життя на даній території при постійному впливі забруднення атмосферного повітря, що потрапляють від ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг", спостерігається по діоксиду сірки і складає 0.568, що вказує на середній рівень небезпеки для населення.

Таким чином, інформаційне забезпечення в технологіях захисту довкілля є необхідним механізмом для прогнозування та попередження негативного впливу на навколишнє середовище та на населення, оскільки виступає інструментом реалізації державної політики в сфері забезпечення екологічної безпеки.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Wastes as Resources for Sustainability of the Steel Industry. *Sustainability*, 14(9), 5488. <https://doi.org/10.3390/su14095488>.

2.Branca T.A., Colla V., Algermissen D., Granbom H., Martini U., Morillon A., Pietruck R. & Rosendahl S. (2020). Reuse and Recycling of By-Products in the Steel Sector: Recent Achievements Paving the Way to Circular Economy and Industrial Symbiosis in Europe. *Metals*, 10, 345.

3.Habib A., Bhatti H.N. & Iqbal M. (2020). Metallurgical processing strategies for metals recovery from industrial slags. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 234, 201–231.

INFORMATION SUPPORT IN ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES

Rusakova Tetiana

Abstract. *The information support in environmental protection technologies includes forecasting and information analysis. The informational component is a necessary tool for assessing the level of environmental impact of the activities of industrial enterprises, with the aim of applying the necessary methods and means of protection. In this study, the information support for a metallurgical enterprise is considered, which is based on forecasting the level of atmospheric air pollution by gas emissions of the enterprise. The analysis of the concentration fields makes it possible to single out the areas of the city that fall into the zone of influence of pollutants depending on the direction and speed of the wind, to compare them with the maximum permissible concentration. The informational component regarding the enterprise's impact on the environment is important for the enterprise itself, from the point of view of adjusting its activities regarding environmental safety. At the same time, the information support is important for people who live directly outside the sanitary zone, but are exposed to harmful factors that spread in the environment according to the state of the atmosphere.*

Keywords: *information support, metallurgical enterprise, polluting impurities, concentration field, atmospheric air*

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВИХ КОЛИВАНЬ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Мямлін С.С.

ТОВ «Дніпровський орган з сертифікації залізничного транспорту», Україна

Анотація. *Розвиток залізничного транспорту супроводжується впровадженням інноваційної техніки та сучасних інформаційних технологій. Створення залізничного рухомого складу та рейкових машин потребує оцінки їх міцнісних та динамічних якостей ще на етапі проектно-дослідного виробництва, тому розробка спеціалізованого програмного забезпечення для оцінки основних параметрів створюваних конструкцій рухомого складу є актуальною. науково-прикладна проблема залізничного транспорту та транспортного машинобудування. Виконано теоретичні дослідження просторових коливань окремих типів залізничного рухомого складу та отримано рекомендації щодо формування параметрів конструкцій вантажних вагонів і спеціального рухомого складу. При проведенні теоретичних досліджень використовувався авторський програмний комплекс DYNRAIL-PRO, який верифіковано та доведено достовірність результатів розрахунків.*

Ключові слова: *комп'ютерне моделювання, динаміка залізничного транспорту, DYNRAIL-PRO, динаміка вагона, індекс зносу колесо–рейка,*

Розвиток залізничного транспорту супроводжується впровадженням інноваційної техніки та сучасних інформативних технологій. Створення рухомого складу залізниць та рейкової техніки потребує оцінки їхніх міцносних та динамічних якостей ще на стадії проектування та дослідного виробництва, тому розробка спеціалізованого програмного забезпечення для оцінки основних параметрів створюваних конструкцій рухомого складу є актуальною науково-прикладною проблемою для залізничного транспорту та транспортного машинобудування.

Проектування залізничного рухомого складу потребує, як відомо, проходження декількох етапів, що стосуються вибору конструктивних рішень та визначенню параметрів всієї конструкції та окремих її складових елементів. Як правило, для реалізації цієї мети використовується спеціалізоване програмне забезпечення, що передбачає використання вихідних даних з конструкції, що проектується, та порівняння з нормативними значеннями

досліджуваних параметрів або з технічними вимогами до створюваної конструкції. Відомі основні програмні комплекси для оцінки міцносних та динамічних якостей конструкцій [1-5]. І кожен з цих програмних продуктів має свої переваги та недоліки [6,7]. Але, з досвіду наукових досліджень динамічних та міцносних якостей інноваційних конструкцій рухомого складу залізниць відомо, що необхідно більш повно враховувати не тільки конструктивні особливості створюваного рухомого складу, а й враховувати, як внутрішні, так і зовнішні зусилля у зв'язках, які присутні у процесі просторових коливань рухомого складу. Наприклад, зусилля взаємодії колеса та рейки, зусилля між екіпажами у складі поїзда, зусилля між кузовом та вантажем для вантажного вагону, тощо. Тому, автором запропоновано та проведено реєстрацію авторського права на програмне забезпечення для дослідження динамічних якостей рейкових екіпажів [8].

Запропонований автором програмний комплекс DYNRAIL-PRO представляє собою набір спеціальних підпрограм, які об'єднані єдиною інформаційно-аналітичною системою, що дозволяє виконати теоретичні дослідження транспортних конструкцій для залізничного транспорту з метою не тільки визначення параметрів базової конструкції, а й зробити прогнозування змін у динамічній навантаженості рейкового екіпажу через вплив зовнішніх та внутрішніх факторів.

В програмному комплексі DYNRAIL-PRO рейковий екіпаж розглядається як складна механічна система, де між всіма конструктивними елементами передбачено застосування основних видів зв'язків, а саме: пружні, дисипативні, в'язке тертя та їх різноманітні комбінації, що дозволяє створювати складні механічні конструкції та досліджувати їх просторові коливання. Даний підхід дозволяє не тільки визначати показники динаміки, а й показники безпеки руху.

За допомогою даного програмного комплексу виконана низка досліджень динамічної навантаженості інноваційних конструкцій піввагонів, вагонів-зерновозів, спеціального рухомого складу залізниць, що дозволило обрати не тільки параметри конструкцій, а спрогнозувати зміни показників динаміки та

безпеки руху створених конструкцій в залежності від технічного стану колії та режимів руху поїздів.

В результаті виконання теоретичних досліджень просторових коливань окремих типів рухомого складу залізниць отримано рекомендації з формування параметрів конструкцій вантажних вагонів та спеціального рухомого складу. При проведенні теоретичних досліджень застосовано авторський програмний комплекс DYNRAIL-PRO, що пройшов верифікацію та доведено достовірність результатів розрахунку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Iwnicki, S. (1999). The Manchester Benchmarks for Rail Vehicle Simulation. *Vehicle System Dynamics*, 30(3-4): 295-313
2. ADAMS/Rail User Manual (2004), MSC. Software Corporation.
3. Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 272 с.
4. Software M. Adams/View documentation 2020.
5. VAMPIRE® Vehicle/Track Interaction SaaS (2024) <https://www.ensco.com/rail/vampire-vehicle-track-interaction-saas>, 2024
6. Simpack GmbH. Simpack 2021.2 Documentation. 2020.
7. Мямлин С. С. DYNRAIL та DYNRAIL-PRO як альтернативний інструмент у моделюванні динаміки рейкових екіпажів / С. С. Мямлин // Інтелектуальні транспортні технології : тези доповідей 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. (22-23 листопада 2022 р.). - Харків : УкрДУЗТ, 2022. - С. 51-52.
8. Свідоцтво реєстрації авторського права на твір «DYNRAIL-PRO» Комп'ютерна програма «Программа моделирования пространственных колебаний железнодорожных экипажей» А. с. №116761 Україна, заявл. 31.05.2023 опубл. 31.05.2023, Бюл. №75. - Мямлін С.С.

MATHEMATICAL SIMULATION OF SPATIAL OSCILLATIONS OF RAILWAY ROLLING STOCK

Miamlin Serhii

Abstract. *The development of railway transport is accompanied by the introduction of innovative equipment and modern information technologies. The creation of railway rolling stock and rail machinery requires an assessment of their strength and dynamic qualities even at the stage of design and experimental production, therefore, the development of specialized software for evaluating the main parameters of the rolling stock structures being created is an urgent scientific and applied problem for railway*

transport and transport engineering. Theoretical studies of spatial fluctuations of certain types of railway rolling stock were performed and recommendations were obtained for the formation of parameters of the structures of freight cars and special rolling stock. When conducting theoretical research, the author's DYNRAIL-PRO software complex was used, which was verified and the reliability of the calculation results was proven.

Keywords: *computer simulation, railway vehicles dynamics, DYNRAIL-PRO, wagon dynamics.*

REFERENCE

1. Iwnicki, S. (1999). The Manchester Benchmarks for Rail Vehicle Simulation. *Vehicle System Dynamics*, 30(3-4): P. 295-313
2. ADAMS/Rail User Manual (2004), MSC. Software Corporation.
3. Kaplun A.B. ANSYS in the hands of an engineer: A practical guide. - M.: Editorial URSS, 2004. - 272 p.
4. Software M. Adams/View documentation 2020.
5. VAMPIRE® Vehicle/Track Interaction SaaS (2024) <https://www.ensco.com/rail/vampire-vehicle-track-interaction-saas>, 2024
6. Simpack GmbH. Simpack 2021.2 Documentation. 2020.
7. Myamlin S. S. DYNRAIL and DYNRAIL-PRO as an alternative tools in the simulation of rail cars dynamics / S. S. Myamlin // *Intelligent transport technologies: abstracts of reports of the 3rd international science and technology conf.* (November 22-23, 2022). - Kharkiv: UkrDUZT, 2022. - P. 51-52.
8. Certificate of copyright registration for the work "DYNRAIL-PRO" Computer program "Program for modeling spatial oscillations of railway carriages" A. p. No. 116761 Ukraine, application 31.05.2023 publ. 31.05.2023, Bul. No. 75. - Myamlin S.S

ВЗАЄМОДІЯ АНАЛІЗУ ДИСКУРСУ ТА АНАЛІЗУ НАСТРОЇВ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ В ТЕКСТОВОМУ СПІЛКУВАННІ

Дмитрієва І.С., Бімалов Д.В.

*Інститут промислових і бізнес технологій, Український державний університету
науки і технологій, Україна*

Анотація. Ця робота присвячена вивченню двох фундаментальних завдань нейролінгвістичного програмування: аналізу дискурсу та аналізу настроїв, які є двома фундаментальними завданнями обробки природної мови. У роботі розглядалися деяких моделей та алгоритми покращення обробки даних у процесі текстового спілкування користувачів. Проведене дослідження показало, що використання спільної моделі аналізу дискурсу та аналізу настроїв є взаємовигідними. Результати роботи показують, що інформація яка отримана у дискурсу, може допомогти у визначенні настрою, а аналіз настроїв та знання двох фрагментів тексту можуть допомогти визначити дискурсивні відносини між ними.

Ключові слова: ідентифікація емоцій, розпізнавання емоцій, аналіз настроїв, аналізу дискурсу, нейролінгвістичного програмування.

З швидким зростанням кількості текстових даних в Інтернеті зростає потреба в методах аналізу цих текстів. Ця робота присвячена вивченню двох фундаментальних завдань нейролінгвістичного програмування: аналізу дискурсу та аналізу настроїв, які є двома фундаментальними завданнями обробки природної мови. У роботі розглядаються деякі моделі та алгоритми покращення обробки даних у процесі текстового спілкування користувачів.

Аналіз дискурсу це завдання побудови ієрархічної деревоподібної структури, листям якої є пропозиції. Вузли відповідають зіставленню дочірніх текстів. В роботі було висловлено припущення, що інформація, витягнута з дерев дискурсу, може допомогти з аналізом настроїв знаючи настрої двох творів, аналогічним чином, текст може допомогти у виявленні дискурсивних відносин між ними [1].

Дерево дискурсу представляється як набір складових $R[i; j]$ де $i < j$. У цьому поданні R відноситься до риторичного відношення, яке має місце між одиницею дискурсу, від i до j , та одиниця, що містить $i+1$ до j [2].

Аналіз настроїв це клас методів в нейролінгвістичного програмування, призначений для автоматизованого виявлення в текстах емоційно забарвленої лексики і емоційної оцінки висловлювань щодо об'єктів. Завдання аналізу настроїв, використавши фрагмент тексту, визначити, як можна присвоїти мітку, що представляє контекстуальну полярність тексту. Розглянемо на прикладі:

- "Схоже, весь дитячий склад дуже весело проводить час"
- "Це дім".

Настрій першої фрази «дуже позитивна», тоді як настрій для другої фрази «нейтральний».

Аналіз загальної полярності складання речення являє собою складне завдання через двозначності, які можуть бути внесені за поєднаннями слів та словосполучень. Наприклад, "Ця їжа має неприємний вигляд, але в ній достатньо спецій і вона смачна".

Як показано на рисунку 1, фраза «Ця їжа має неприємний вигляд» має негативний сенс настрою. Однак, коли воно поєднується з позитивною фразою "в ній достатньо спецій", "вона смачна", в результаті, пропозиція виходить - позитивна.

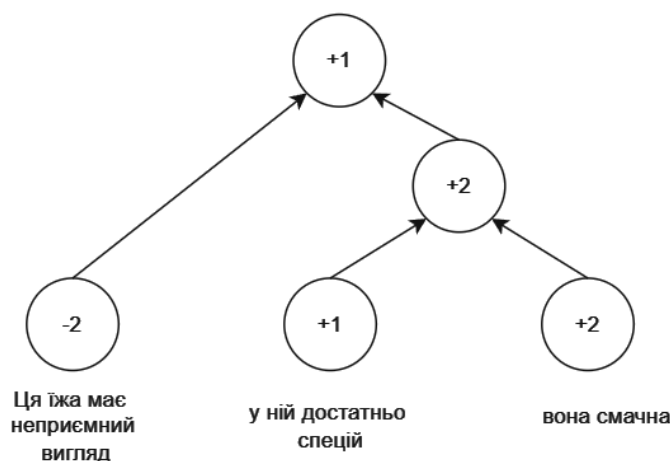


Рисунок 1 - Анотація настроїв (деревоподібна структура)

Було висловлено припущення, що інформація, витягнута з дерев дискурсу, може допомогти в аналізі настроїв [2], а також знання настроїв двох

фрагментів тексту може допомогти у виявленні дискурсивних відносин між ними [3]. Наприклад, якщо взяти як приклад пропозицію на рисунку 1, то знаючи, що два текстові фрагменти «Ця їжа має неприємний вигляд» і «але в ній досить спецій і вона смачна» знаходяться у відношенні один до одного, також сигналізує про те, що відношення двох текстових фрагментів з меншою ймовірністю буде одного і того ж типу. Аналогічним чином, знання того, що тональність першого текстового інтервалу «дуже негативна», а тональність пізніше текстового інтервалу «дуже позитивна», допомагає звужити вибір дискурсивних відносин між цими двома текстовими інтервалами до контрастної групи, яка містить відносини.

Висновок. Проведене дослідження показало, що використання спільної моделі аналізу дискурсу та аналізу настроїв є взаємовигідними. Результати роботи показують, що інформація яка отримана у дискурсу, може допомогти у визначенні настрою, а аналіз настроїв та знання двох фрагментів тексту можуть допомогти визначити дискурсивні відносини між ними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дмитрієва І.С., Бімалов Д.В. Ідентифікація емоційних слів у текстовому спілкуванні / Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2023: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 22 березня 2023 р.) – Дніпро: УДУНТ, 2023. – с. 290-293.
2. Дмитрієва І.С., Бімалов Д.В. Розробка програмного модулю для ідентифікація емоційного стану користувача // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових робіт. - Вип. 4(147). - Дніпро: УДУНТ, 2023. – с. 29-34 DOI 0.34185/1562-9945-4-147-2023-03
3. Lazaridou A., Titov I., Sporleder C. A bayesian model for joint unsupervised induction of sentiment, aspect and discourse representations. In ACL (1), pages 1630–1639, 2013.

INTERACTION OF DISCOURSE ANALYSIS AND SENTIMENT ANALYSIS TO IDENTIFY EMOTIONAL STATE IN TEXT COMMUNICATION

Dmytriieva Iryna, Bimalov Dmytro

Abstract. *This paper is devoted to the study of two fundamental tasks of neuro-linguistic programming: discourse analysis and sentiment analysis, which are two fundamental tasks of natural language processing. The paper examined some models and algorithms for improving data processing in the process of textual communication between users. The study showed that the use of a joint model of discourse analysis and sentiment*

analysis is mutually beneficial. The results show that the information obtained from the discourse can help in determining the mood, and sentiment analysis and knowledge of two text fragments can help determine the discourse relations between them.

Keywords: *emotion identification, emotion recognition, sentiment analysis, discourse analysis, neuro-linguistic programming.*

REFERENCE

1. Dmytriieva I.S., Bimalov D.V. Identyfikatsiia emotsiinykh sliv u tekstovomu spilkuvani / Informatsiini tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni. ITMM2023: tezy dopovidei mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Dnipro, 22 bereznia 2023 r.) – Dnipro: UDUNT, 2023. – s. 290-293.
2. Dmytriieva I.S., Bimalov D.V. Rozrobka prohramnoho moduliu dlia identyfikatsiia emotsiinoho stanu korystuvacha // Systemni tekhnolohii. Rehionalnyi mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh robit. - Vyp. 4(147). - Dnipro: UDUNT, 2023. – s. 29-34 DOI 0.34185/1562-9945-4-147-2023-03
3. Lazaridou A., Titov I., Sporleder C. A bayesian model for joint unsupervised induction of sentiment, aspect and discourse representations. In ACL (1), pages 1630–1639, 2013.

**МЕТОДИ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ПСЕВДОВИПАДКОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ
ДО ВИПАДКОВОГО РОЗПОДІЛУ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ,
КІБЕРБЕЗПЕЦІ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ
ТЕХНОЛОГІЯХ ТА НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ**

Клименко О.Д., Малайчук В.П.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

Анотація. Створення методів визначення міри близькості заданої псевдовипадкової послідовності до випадкового розподілу є дуже актуальним завданням у багатьох галузях, де використовуються псевдовипадкові числа. Наприклад, у криптографії важливо, щоб псевдовипадкові послідовності були непередбачувані та мали властивості випадкових чисел. Методи визначення близькості до випадкового розподілу допомагають в оцінці якості таких послідовностей та виявленні в них недоліків. У наукових дослідженнях та інженерних проектах використовують псевдовипадкові числа для моделювання складних систем і симуляції випадкових явищ. Важливо мати засоби для визначення, наскільки добре такі числа відтворюють випадковий процес. У статистиці важливо, щоб псевдовипадкові послідовності відповідали вимогам різних статистичних властивостей. Методи визначення близькості до випадкового розподілу допомагають в оцінці властивостей цих послідовностей. У програмній інженерії та інших сферах важливо перевіряти якість генераторів псевдовипадкових чисел, щоб уникнути вразливостей та недоліків у програмах.

Таким чином, розробка та вдосконалення методів визначення міри близькості псевдовипадкових послідовностей до випадкового розподілу є актуальним завданням з важливими практичними застосуваннями.

Ключові слова: автоматизація, кібербезпека, комп'ютерно-інтегровані технології, неруйнівний контроль, розподіл, тест, псевдовипадкові числа, випадковий процес.

Існує кілька методів для визначення міри близькості заданої псевдовипадкової послідовності до випадкового розподілу. Деякі з найпоширеніших методів включають: статистичні тести, тести на серії, спектральний тест, тести на складність, тести на кореляцію. Розглянемо кожен з цих методів більш детально.

Статистичні тести використовуються для перевірки властивостей псевдовипадкових чисел, таких як рівномірність та незалежність. Популярні

тести включають тест Колмогорова-Смірнова, тест χ^2 -квадрат та інші. Статистичні тести - це методи аналізу, які використовуються для перевірки статистичних гіпотез про властивості вибірок даних. Вони застосовуються для визначення, наскільки добре деякі дані або результати досліджень відповідають очікуваному розподілу чи моделі. В контексті випадкових чисел, статистичні тести використовуються для оцінки, наскільки псевдовипадкова послідовність відповідає властивостям справжньої випадкової послідовності. Найпоширеніші статистичні тести для перевірки якості генераторів псевдовипадкових чисел включають: тест Колмогорова-Смірнова – тест використовується для перевірки, наскільки псевдовипадкові числа рівномірно розподілені на вказаному інтервалі; тест серій (тест Мільора) – допомагає виявити будь-які аномалії або закономірності в послідовності; тест χ^2 -квадрат – тест використовується для перевірки, наскільки послідовність відповідає певному розподілу, наприклад, рівномірному або нормальному; тест довжин серій (тест Вальда-Вольфовіца) – оцінює, наскільки добре послідовність випадкових чисел відповідає рівномірному розподілу; тест на дисперсію – тест вимірює різницю між фактичною і очікуваною дисперсією послідовності чисел. Ці тести допомагають виявити відхилення від властивостей випадкових чисел і дозволяють вдосконалити генератори псевдовипадкових чисел.

Тести на серії. Ці тести перевіряють наявність патернів або серій у послідовності, що може свідчити про нелінійність або нерівномірність розподілу чисел. Тести на серії – це статистичні методи аналізу для виявлення аномалій або закономірностей у послідовності даних, де кожне значення залежить від попередніх значень. Вони часто використовуються для перевірки випадковості чи структури в даних. Основні тести на серії включають такі:

- тести на серії випадкових величин – тести визначають, наскільки послідовності даних містять серії, тобто послідовності однакових значень;
- тести на алеаторність – тести визначають, наскільки послідовність даних відповідає випадковому процесу, вони оцінюють рівномірність розподілу даних і виявляють будь-яку структуру або закономірність;

- тести на автокореляцію – тести визначають наявність кореляції між значеннями в послідовності даних і виявляють повторюваність або закономірності в даних; т
- ести на періодичність – тести виявляють наявність періодичності або циклічності в послідовності даних;
- тести на випадковість – тести визначають, наскільки послідовність даних відповідає випадковому процесу та чи містить вона будь-яку структуру або закономірність.

Ці тести допомагають виявити аномалії або нерегулярності у послідовності даних, що може бути корисним при аналізі та обробці даних.

Спектральний тест. Використовується для визначення періодичності у послідовності, що може свідчити про недостатню складність генератора псевдовипадкових чисел.

Спектральний тест – це один з методів статистичного тестування послідовностей псевдовипадкових чисел на рівномірність та випадковість. Цей тест базується на властивостях перетворення Фур'є, яке можна використовувати для аналізу частотного складу послідовності. Основна ідея полягає в тому, щоб перетворити послідовність чисел у частотний домен і перевірити розподіл частот для виявлення будь-яких нерегулярностей або закономірностей.

Процес спектрального тестування можна умовно поділити на наступні кроки:

- перетворення Фур'є – це коли послідовність чисел перетворюється у частотний домен за допомогою перетворення Фур'є;
- аналіз спектра, тобто аналізується отриманий спектр для виявлення нерегулярностей або виокремлення характеристик, що свідчать про випадковість чи її відсутність;
- тестування гіпотез, який на основі аналізу спектра вирішує, чи відповідає послідовність чисел вимогам випадковості;
- робиться висновок про те, чи можна вважати дану послідовність випадковою або чи потрібно подальше тестування.

Спектральний тест є одним з багатьох методів для перевірки якості генерації псевдовипадкових чисел і використовується у криптографії,

моделюванні, статистичному аналізі даних та інших галузях, де важлива випадковість даних.

Тести на складність. Ці тести оцінюють складність псевдовипадкової послідовності, зокрема, ентропію та взаємну інформацію між символами. Тести на складність використовуються для оцінки ефективності алгоритмів управління, планування та рішення складних завдань. Ці тести включають в себе різні вимоги та завдання, які дозволяють визначити рівень складності алгоритмів та їх здатність до розв'язання складних проблем. Деякі з найпоширеніших тестів на складність включають такі:

- тест Тюрінга – дозволяє оцінювати здатність комп'ютерної системи до виконання завдань, які вимагають людського інтелекту, який базується на концепції Тюрінг-машини і оцінює, наскільки ефективно комп'ютер може імітувати людський мислення;
- тест Дейкстри – тест вимагає від алгоритму знаходження найкоротшого шляху між двома точками у графі та використовується для оцінки швидкодії та ефективності алгоритмів управління графами;
- тест Коллатца – тест вимагає від алгоритму генерації послідовності чисел за певними правилами та використовується для визначення рівня складності алгоритмів та їх здатності до генерації складних послідовностей;
- тест Дейвіса-Патнема – тест вимагає від алгоритму розв'язання булевої задачі заданої складності та використовується для оцінки швидкодії та ефективності алгоритмів управління булевими задачами.

Ці тести допомагають визначити рівень складності алгоритмів та їх придатність для рішення складних завдань у різних галузях науки та техніки.

Тести на кореляцію. Перевіряють наявність кореляційних залежностей між елементами послідовності. Тести на кореляцію використовуються для визначення наявності і сили зв'язку між двома або більше змінними.

Ці тести допомагають встановити, чи є статистично значуща залежність між змінними, тобто чи можна зробити висновок про наявність зв'язку в популяції на основі даних з вибірки.

Один з найпоширеніших тестів на кореляцію – це коефіцієнт кореляції Пірсона, який вимірює лінійний зв'язок між двома змінними. Цей тест дає

значення від (-1) до (+1), де (+1) – вказує на досконалий позитивний лінійний зв'язок, (-1) – на досконалий негативний лінійний зв'язок, а (0) – на відсутність лінійного зв'язку.

Інші тести на кореляцію включають рангові кореляції, такі як Спірмена і Кендалла, які вимірюють не лінійний, але монотонний зв'язок між змінними. Такі тести використовуються, коли дані не відповідають вимогам для застосування коефіцієнта кореляції Пірсона, наприклад, коли дані мають великі відхилення від нормального розподілу або мають викиди.

Кожен з цих методів має свої переваги та обмеження і може бути використаний для оцінки відповідності псевдовипадкової послідовності до випадкового розподілу з різних точок зору. Розглянемо на прикладах деяких сучасних галузей знань, яким чином застосовуються псевдовипадкові числа.

У неруйнівному контролі (НК) псевдовипадкові числа можуть використовуватися для генерації випробувальних сигналів або шаблонів, які допомагають виявляти дефекти чи аномалії у тестових об'єктах без їх пошкодження. Прикладами можуть служити: генерація випробувальних сигналів (сигнали допомагають виявляти дефекти у внутрішніх структурах об'єктів), шумоподібні сигнали для оцінки шуму (допомагають оцінити рівень шуму в системі НК та визначити його вплив на якість контролю), симуляція дефектів (дозволяє тестувати ефективність методів НК у виявленні цих дефектів) та ін.

Загалом, використання псевдовипадкових чисел у неруйнівному контролі дозволяє покращити якість контролю, забезпечуючи більш точне виявлення дефектів та аномалій у тестових об'єктах.

У кібербезпеці псевдовипадкові числа використовуються для багатьох цілей, зокрема для генерації криптографічних ключів, створення випадкових ідентифікаторів, захисту від атак на основі відомостей про структуру випадковості та інших аспектів захисту інформації.

Наведемо деякі способи використання: генерація криптографічних ключів, генерація випадкових ідентифікаторів, захист від атак на основі відомостей про структуру випадковості; створення випадкових токенів та кодів

доступу, захист від атак методом брутфорсу, створення випадкових векторів ініціалізації.

Загалом, використання псевдовипадкових чисел у кібербезпеці є важливим елементом для забезпечення високого рівня захисту інформації та запобігання атакам.

Таким чином, можна стверджувати, що на сьогодні методи оцінки відповідності псевдовипадкової послідовності до випадкового розподілу в складних задачах багатьох різних галузей знань науки і техніки, особливо таких як автоматизація, кібербезпека, комп'ютерно-інтегровані технології, неруйнівний контроль – є найактуальнішими задачами та потребують постійного підвищення ефективності цих методів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pierre L'Ecuyer. Random Number Generation // Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. – 2007. – P. 93 -137
2. ДСТУ ISO/IEC 10118-1:2018 Інформаційні технології. Методи захисту. Хеш-функції. Частина 1. Загальні положення (ISO/IEC 10118-1:2016, IDT). На заміну ДСТУ ISO/IEC 10118-1:2003. – Чинний від 2019-01-01. – Вид. офіц. Київ : УкрНДЦ. – 2018. – 18 с.

METHODS OF ASSESSING THE CONFORMITY OF A PSEUDO-RANDOM SEQUENCE TO A RANDOM DISTRIBUTION IN THE PROBLEMS OF AUTOMATION, CYBER SECURITY, COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES AND NON-DESTRUCTIVE CONTROL

Klymenko O., Malaichuk V.

Abstract. *Creation of methods for determining the degree of closeness of a given pseudorandom sequence to a random distribution is a very relevant task in many fields where pseudorandom numbers are used. For example, in cryptography it is important that pseudorandom sequences are unpredictable and have the properties of random numbers. Methods for determining proximity to a random distribution help in assessing the quality of such sequences and identifying flaws in them. In scientific research and engineering projects, pseudorandom numbers are used to model complex systems and simulate random phenomena. It is important to have a means of determining how well such numbers reproduce a random process. In statistics, it is important that pseudorandom sequences meet the requirements of various statistical properties. Methods of determining proximity to a random distribution help in evaluating the properties of these sequences. In software engineering and other fields, it is important to*

test the quality of pseudorandom number generators to avoid vulnerabilities and flaws in programs.

Thus, the development and improvement of methods for determining the degree of closeness of pseudorandom sequences to a random distribution is an urgent task with important practical applications.

Keywords: *automation, cyber security, computer-integrated technology, nondestructive testing, distribution, test, pseudorandom numbers, random process.*

REFERENCE

1. Pierre L'Ecuyer. Random Number Generation // Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. – 2007. – P. 93 -137
2. State standards of Ukraine ISO/IEC 10118-1: 2018 Information technology. Methods of protection. Hash functions. Part 1: General provisions (ISO/IEC 10118-1:2016, IDT). Replaces DSTU ISO/IEC 10118-1:2003. - Valid from 2019-01-01. Kyiv : UkrNDC. - 2018. - 18 p.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ВОЛОЧІННІ ДРОТУ

Коноводов Д.В., Бояркін В.В., Бойко М.Г., Івлєв О.М.

Український державний університет науки і технологій

Анотація. *Дріт з низьковуглецевих сталей традиційно займає більшу частину в номенклатурі метизів. На якість готового дроту, а саме на рівень механічних властивостей, впливає нерівномірність деформації під час процесу волочіння. Нерівномірність деформації залежить від конфігурації робочого інструменту, а саме довжини робочої зони і довжини калібруючої зони волоки. На промислових підприємствах, у волоках, які були зношені під час попереднього волочіння, калібруючі зони розточують до необхідного розміру по діаметру. З огляду на сталість довжини волоки це приводить до зміни співвідношення між довжинами робочої та калібруючої зон і до зміни рівня нерівномірності деформації. Рівень механічних властивостей дроту в залежності від геометричних характеристик волок часто визначають за допомогою результатів експериментальних досліджень, що призводить до значних витрат матеріалу і енергії. Використання комп'ютерного моделювання методом скінчених елементів дозволяє зменшити кількість експериментів та прогнозувати якість готових виробів.*

Ключові слова: *сталь, обробка металів тиском, волока, волочіння, деформація, сила, механічні властивості.*

На вітчизняних підприємствах для здійснення волочіння застосовуються переважно багатократні стани магазинного типу (без ковзання дроту з накопиченням). В даний час виробниками волочильного обладнання такі стани не випускаються. Причиною цього є їх низька енергоефективність і продуктивність

Загальними недоліками сучасних машин з протинатяжінням, як петльових так і прямоточних, є слабе охолодження проволки у зв'язку з коротким часом перебування на кожному барабані, непряме охолодження дроту, барабанів та волок, значні габарити.

З особливостей волочіння дроту з низьковуглецевої сталі можна виділити її деформаційне зміцнення, знання якої важливо при розробці технології дроту тонких і найтонших діаметрів.

Зазвичай після волочіння через нерівномірність деформації на поверхні заготовки виникають залишкові напруження розтягання, а в центральних шарах – стискаючі напруження [1]. Цей фактор також необхідно враховувати, так як поверхневі напруження розтягання знижують пластичність металу і можуть бути причиною появи поверхневих тріщин. Напруження, які виникають в зоні деформації при волочінні, оказують визначальний вплив як на процес волочіння в цілому, так і на властивості отриманого дроту.

Традиційно робочим інструментом для волочіння дроту є монолітні волокни. Волоки виготовляють з інструментальних сталей та твердих сплавів. Волока має робочий отвір (канал), що складається з чотирьох зон: вхідної або мастильної, робочої, калібрувальної та вихідної. Основною зоною каналу волокни є робоча де здійснюється деформація заготовки. Кут конусності робочої зони залежить від властивостей матеріалу та типу заготовки і становить 6 - 12°.

Для спрощення теоретичного аналізу напружено-деформованого стану металу зазвичай фактичну картину значно спрощують: зсувними напруженнями нехтують, радіальне та поздовжнє напруження вважають головними, перше з яких мінімальне, а друге максимальне, в цьому випадку тангенціальні напруження в аналізі не беруть участь [1].

Максимальні радіальні напруження спостерігаються в перерізі входу, і це, серед іншого, визначає найбільший знос волокни в цьому перерізі. По всій довжині зони деформації поздовжні напруження знижуються у напрямку від центральних шарів до периферійних. Максимальні поздовжні напруження спостерігаються в центральних шарах в перерізі виходу металу з конусної частини волокни.

Метою роботи є дослідження впливу параметрів волокни на напруження, і, як наслідок, на нерівномірність деформації при багатократному волочінні на прямоточних станах. Було застосоване математичне моделювання з використанням методу скінчених елементів, яке часто використовується в дослідженнях процесів волочіння [2-4]. Модель процесу було створено в програмному середовищі QForm UK [5], за допомогою якого можливо створювати моделі різних процесів обробки металів тиском і термічної

обробки [6,7]. Створена модель дозволяє належним чином враховувати комплексний вплив факторів на формозміну і отримати необхідні дані без проведення великої кількості експериментів.

Була створена вісесиметрична модель (рисунок 1), що дозволило значно скоротити час розрахунку та обсяг даних у порівнянні з тривимірною моделлю.

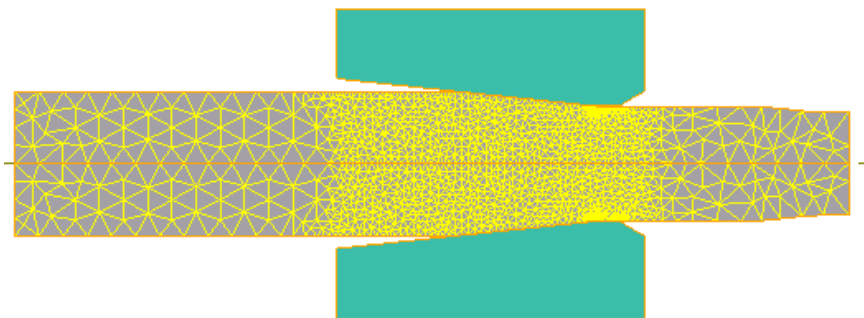


Рисунок 1 – Графічне відображення процесу волочіння за допомогою створеної моделі

Реологічні властивості матеріалу задавали на підставі існуючих в базі матеріалів QForm UK даних для сталі 1030. Також, крім значень опору деформації, були задані фізичні характеристики матеріалу дроту, а саме значення щільності, теплопровідності, теплоємності, температурного коефіцієнту лінійного розширення. Кут робочої зони волок складав 12° . Початкова температура заготовки та інструменту 20°C .

Було досліджено процес волочіння катанки діаметром 5,6 мм по маршруту $5,6 \rightarrow 4,45 \rightarrow 3,65 \rightarrow 3,07 \rightarrow 2,65 \rightarrow 2,33 \rightarrow 2,05 \rightarrow 1,82$. Швидкість – 12 м/с.

Напруження в зоні деформації, температурно-швидкісні параметри та силу волочіння отримували для двох значень довжини калібруючого пояса (зони калібрування) $0,2d$ та $0,5d$, де d – діаметр дроту в проході. Такий діапазон значень довжини зони калібрування рекомендує постачальник робочого інструменту.

Аналіз напружень і деформації показав, що при збільшенні довжини зони калібрування нерівномірність деформації зменшується, що зменшує ризик виникнення залишкових напружень в металі, та зменшує вірогідність появи у зовнішніх шарах дроту великих напружень розтягання. Крім того, чим довше зона калібрування, тим більш повною є деформація по перерізу волоки і тим більше знижуються радіальні напруження. Зниження рівня значень радіальних

напружень опосередковано вказує на можливе зменшення зношення волоки. Найбільший ефект впливу довжини зони калібрування помітно в останніх проходах, де найбільша нерівномірність деформації.

Також дослідження показали, що сили тертя при зміні довжини зони калібрування від $0,2d$ до $0,5d$ збільшують значення сили волочіння щонайбільше на 1,6%.

Висновки. Створено математичну модель процесу багатократного волочіння дроту. Визначено, що зі збільшенням довжини зони деформації при одночасному зменшенні довжини робочої зони спостерігається зменшення нерівномірності деформації та незначний ріст сили волочіння. Модель може бути використана для подальших досліджень процесу волочіння.

ЛІТЕРАТУРА

1. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головка О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: підручник. Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
2. Ao Ma, Jiaying Cheng, Dasheng Wei, Qiang Li, Feng Fang, Zhaoxia Li. Experiments and numerical analyses on splitting fracture of wire under multi-pass drawing, Engineering Failure Analysis, Volume 134, 2022, 106035, ISSN 1350-6307. DOI:10.1016/j.engfailanal.2022.106035
3. Sergio Baragetti, Marco Giustinoni, Fabrizio Raghetti. Wire ropes with diamond beads for multi-wire machines optimization by means of DoE: Numerical models and choice of design parameters, Engineering Failure Analysis, Volume 143, Part A, 2023, 106826, ISSN 1350-6307. DOI:10.1016/j.engfailanal.2022.106826
4. Таратута К. В., Проценко В. М., Востоцький С. М. Комп'ютерне моделювання процесу волочіння сплавів на основі титану. IV Міжнародна науково-практична конференція Інформаційні моделюючі технології, системи та комплекси – ІМТСК-2023: тези доп. міжнарод. конф., м. Дніпро, 25-26 травня 2023 р. / Міністерство освіти і науки України, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси, 2023. С. 40 – 42.
5. [Електронний ресурс] - <https://www.qform3d.com/>
6. Nosko M., Konovodov D., Samsonenko A., Bobukh O. Determination of the Deformation Parameters of the Steel Reinforcing Phase inside the Aluminum Matrix during Hot Rolling. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2022. № 6. Р. 84–89. DOI:10.33271/nvngu/2022-6/084.
7. Бояркін В.В. Математичне моделювання профілювання труб квадратного поперечного перерізу / В.В. Бояркін, О.А. Ремез, О.С. Польща // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті, 2023. № 26. – С. 3-12. DOI:10.34185/1991-7848.2022.01.01

COMPUTER SIMULATION OF NON-UNIFORM STRAIN DURING WIRE DRAWING

Dmytro Konovodov, Viacheslav Boiarkin, Maksym Boiko, Oleksandr Ivliev

Abstract. *Low-carbon steel wire traditionally takes a large part in the production of wire products. The quality of the finished wire, and specifically the level of mechanical properties, is affected by non-uniform strain during the drawing process. The uniformity of strain depends on the configuration of the drawing die, specifically the length of the die bell and the length of the die bearing. In industry, the die bearing is bored to the required diameter size in worn out dies during previous drawing. Considering the constancy of the die length, this leads to a change in the ratio between the lengths of the die bell and die bearing and to a change in the level of non-uniform strain. The influence of the die geometric parameters on the wire mechanical properties is often determined using the results of experimental investigations, which leads to significant costs of material and energy. FEM simulation makes it possible to reduce the number of experiments and predict the quality of finished products.*

Keywords: *steel, metal forming, drawing die, drawing, strain, force, mechanical properties.*

REFERENCES

1. Danchenko V.M., Hrynkevych V.O., Holovko O.M. Teoriia protsesiv obrobky metaliv tyskom: pidruchnyk. Dnipropetrovsk: Porohy, 2008. – 370 s.
2. Ao Ma, Jiaying Cheng, Dasheng Wei, Qiang Li, Feng Fang, Zhaoxia Li. Experiments and numerical analyses on splitting fracture of wire under multi-pass drawing, Engineering Failure Analysis, Volume 134, 2022, 106035, ISSN 1350-6307. DOI:10.1016/j.engfailanal.2022.106035
3. Sergio Baragetti, Marco Giustinoni, Fabrizio Ranghetti. Wire ropes with diamond beads for multi-wire machines optimization by means of DoE: Numerical models and choice of design parameters, Engineering Failure Analysis, Volume 143, Part A, 2023, 106826, ISSN 1350-6307. DOI:10.1016/j.engfailanal.2022.106826
4. Taratuta K. V., Protsenko V. M., Vostotskyi S. M. Kompiuterne modeliuвання protsesu volochinnia splaviv na osnovi tytanu. IV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia Informatsiini modeliuvachi tekhnolohii, systemy ta komplekсы – IMTSK-2023: tezy dop. mizhnarod. konf., m. Dnipro, 25-26 travnia 2023 r. / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Cherkaskyi natsionalnyi universytet imeni Bohdana Khmelnytskoho, Cherkasy, 2023. S. 40 – 42.
5. [Electronic resource] - <https://www.qform3d.com/>
6. Nosko M., Konovodov D., Samsonenko A., Bobukh O. Determination of the Deformation Parameters of the Steel Reinforcing Phase inside the Aluminum Matrix during Hot Rolling. Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2022. № 6. P. 84–89. DOI:10.33271/nvngu/2022-6/084.
7. Boiarkin V.V. Matematychni modeliuvannia profiluuvannia trub kvadratnoho poperechnoho pererizu / V.V. Boiarkin, O.A. Remez, O.S. Polshcha // Suchasni problemy metalurhii. Naukovi visti, 2023. № 26. – C. 3-12. DOI:10.34185/1991-7848.2022.01.01

МОДЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРОВАНОГО ВИПРЯМЛЯЧА СИСТЕМ МЕХАТРОНІКИ

Стьопкін В.В., Бондар Д. П.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна

Анотація. В статті розглянуті типи напівпровідникових перетворювачів для систем мехатроніки та можливості їх модельного дослідження за допомогою програмного забезпечення MATLAB. Розглянуто модельне дослідження трифазного керованого випрямляча у якості регульованого джерела живлення. Модель випрямляча має у складі блоки вимірювання постійної складової струму навантаження та вимірювання постійної складової напруги на навантаженні, блок вимірювання амплітуди та фази першої гармоніки струму живлення, блок вимірювання діючого струму живлення, блок вимірювання діючого та середнього струмів тиристора. Важливим аспектом при дослідженні є можливість провести спектральний аналіз з врахуванням того, що процес перетворення енергії пов'язаний з спотворенням форми струмів та напруг. Наявна можливість кількісної оцінки цих спотворень при розкладанні несинусоїдальних струмів та напруг у ряд Фур'є при реалізації спектрального аналізу засобами MATLAB.

Ключові слова: широтно-імпульсний перетворювач, автономний інвертор, керований випрямляч, безпосередній перетворювач частоти, двигун постійного струму, двигун змінного струму

Вступ. Силкові перетворювачі в системах мехатроніки виконують функції регулювання швидкості та моменту електродвигунів. Вони включаються між двигуном та джерелом живлення. В роботі розглянуте модельне дослідження нереверсивного трифазного керованого випрямляча, який виконує функцію регульованого джерела живлення та вищі гармоніки первинного струму з можливістю зняття енергетичних та електромагнітних характеристик.

Основний матеріал. Модель віртуальної установки в програмному середовищі MATLAB наведена на рис.1.

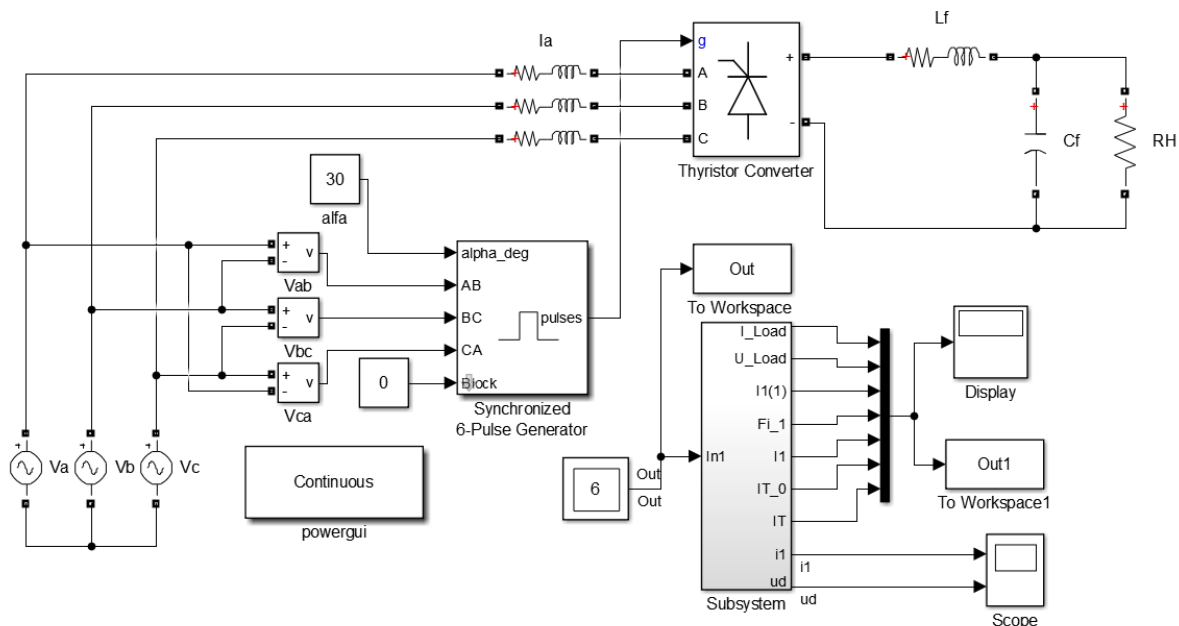


Рис.1. Модель віртуальної установки в програмному середовищі MATLAB

До складу моделі входять: трифазне джерело живлення V_a , V_b , V_c ; трифазний керований випрямляч Thyristor Converter, блок керування випрямлячем 6 – Pulse Generator; L-C фільтр та навантаження L_f , C_f , R_H ; блок завдання кута керування випрямляча α ; вольтметри V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} .

Вимірювання струму та напруги на навантаженні випрямляча, струму джерела живлення та струму тиристора, здійснюється блоком Multimeter.

До підсистеми вимірювання Subsystem, яка наведена на рис.2, входять: блок вимірювання постійної складової струму навантаження Fourier I0 та аналогічний блок для вимірювання постійної складової напруги навантаження Fourier U0; блок вимірювання амплітуди та фази першої гармоніки струму живлення Fourier I1; блок для вимірювання діючого значення струму живлення RMS I1; блок для вимірювання діючого RMS T та середнього Fourier T0 струмів тиристора.

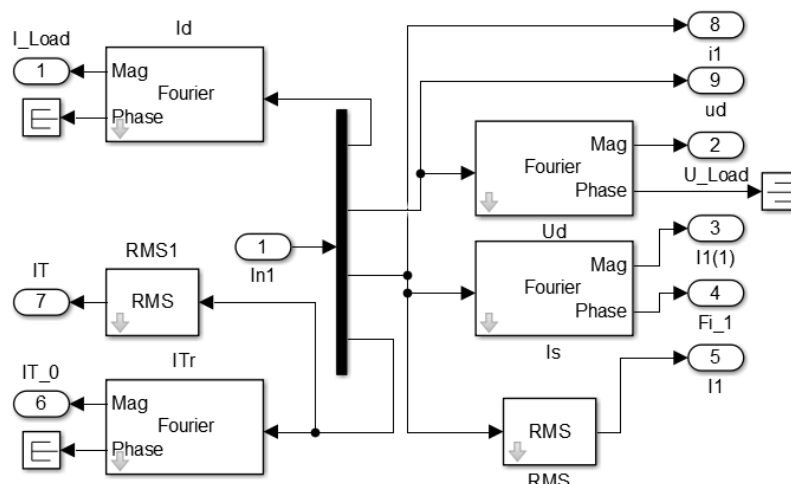


Рис.2. Підсистеми вимірювання Subsystem

Для вимірювання миттєвих значень струмів та напруг використовується блок осцилографу Scope. Блок Powergui призначений для спектрального аналізу струмів та напруг в схемі. Цифровий облік виміряних значень здійснюється блоком Display. За результатами моделювання можуть бути побудовані основні характеристики керованого випрямляча: навантажувальна характеристика; електромагнітні характеристики; енергетичні характеристики.

Важливим аспектом при дослідженні випрямляча є спектральний аналіз електромагнітних процесів. Це обумовлено тим, що перетворення енергії пов'язано з спотворенням форми струмів та напруг. Властивості перетворювача суттєво залежать від цих спотворень. Кількісно, ці спотворення оцінені спектральним аналізом при розкладанні несинусоїдальних струмів та напруг в ряд Фур'є. Для цього в робочий простір MATLAB (див. рис.1) введені необхідні сигнали за допомогою блоку Scope та To Workspace з використанням Powergui.

На рис.3 наведено вікно блоку Powergui для проведення спектрального аналізу керованого випрямляча. При натисканні вкладки FFT Analysis відкривається вікно для проведення спектрального аналізу. У полі Input обирається необхідний сигнал для аналізу. Наступні три поля дозволяють задавати ділянку аналізованого сигналу, який повинен відповідати квазіусталеному режиму роботи моделі. У полі Fundamental frequency задається основна частота досліджуваного сигналу. У полі Max frequency задається

максимальна частота спектру для задач аналізу. Поле Frequency axis дозволяє за віссю абсциси відкладати частоту та номер гармоніки. Спосіб представлення спектру можна обрати у списку поля Display style графічно або в табличному цифровому вигляді. В полі Base value задається масштаб за віссю ординат.

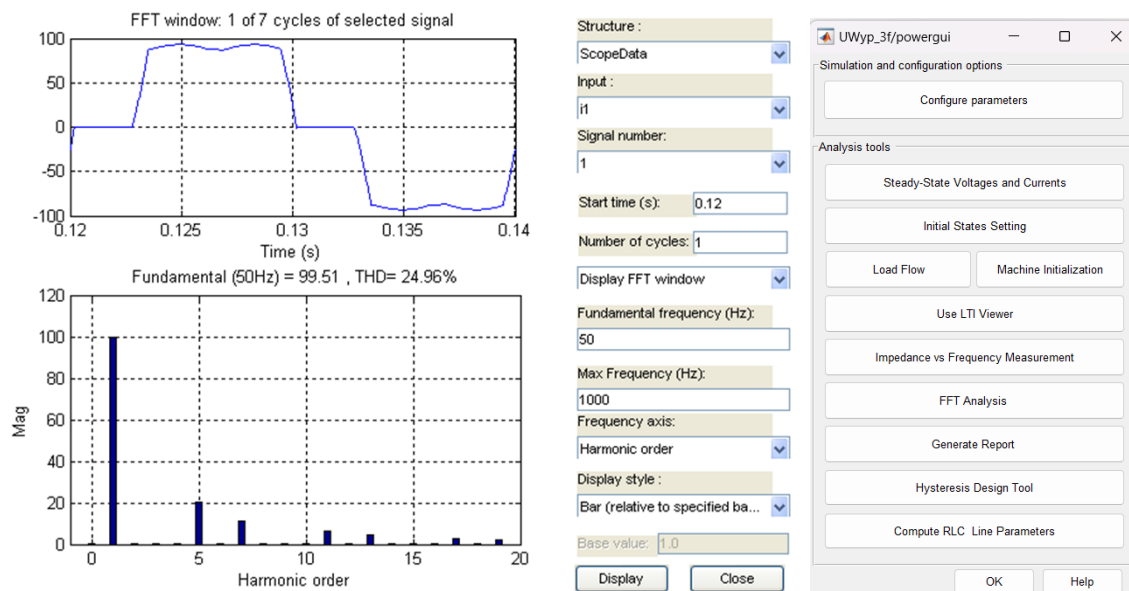


Рис.3. Вікно блоку Powergui для проведення спектрального аналізу керованого випрямляча.

Висновки. Отримана математична модель керованого випрямляча дає можливість кількісної оцінки спотворень струмів та напруг при реалізації спектрального аналізу засобами MATLAB і може бути корисною при розробці моделей широтно-імпульсних перетворювачів та автономних інверторів для двигунів постійного та змінного струмів.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Introducing Power Electronics- MATLAB & Simulink. MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink. URL: <https://www.mathworks.com/help/sps/powersys/ug/introducing-power-electronics.html> (date of access: 05.04.2024).
2. Hasan Komurcugil; Sertac Bayhan; Ramon Guzman; Mariusz Malinowski; Haitham Abu-Rub, "Books in the IEEE Press Series on Control Systems Theory and Applications," in Advanced Control of Power Converters: Techniques and Matlab/Simulink Implementation , IEEE, 2023, pp.b1-b1, doi: 10.1002/9781119854432.scard.

Model study of the controlled rectifier of mechatronics systems

Stopkin V., Bondar D.

Abstract. *The article discusses the types of semiconductor converters for mechatronics systems and the possibilities of their model research using MATLAB software. A model study of a three-phase controlled rectifier as a regulated power source is considered. The rectifier model includes units for measuring the constant component of the load current and measuring the constant component of the load voltage, a unit for measuring the amplitude and phase of the first harmonic of the supply current, a unit for measuring the active supply current, and a unit for measuring the active and average thyristor currents. An important aspect of the research is the ability to perform a spectral analysis, taking into account that the energy conversion process is associated with the distortion of the current and voltage forms. It is possible to quantify these distortions when expanding non-sinusoidal currents and voltages into a Fourier series when performing spectral analysis using MATLAB.*

Keywords: *pulse width converter, standalone inverter, controlled rectifier, direct frequency converter, DC motor, AC motor*

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ Н-РОТОРІВ ДАР'Є ЗМІННОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

Тарасов С.В., Дорош О.В.

Інститут транспортних систем і технологій НАН України, Україна

Анотація. Проведено розрахунки власних частот і форм коливань типового конструктивного вузла Н-роторної конструкції Дар'є. Він включає ковзну траверсу і лопатку, закріплену на її кінці. Отримано залежності власних частот вусувної траверсно-лопатевої установки від номера форми коливань при різних значеннях величини траверси, а також залежність власних частот від ступеня траверси для п'яти форм коливань.

Ключові слова: динамічна модель, ротор Дар'є, лопаті та траверси змінної довжини, власні частоти, форми коливань.

Досвід експлуатації вертикально-осьових вітроустановок з Н-ротором Дар'є показав, що довговічність їх конструкції суттєвим образом залежить від їх здатності протистояти тривалим аеродинамічним навантаженням, що мають коливальний характер. Встановлено, що змінні аеродинамічні навантаження в конструкціях роторів і вітроустановок в цілому мають подвійну природу. З одного боку вони обумовлені змінністю швидкості вітрового потоку та щільності повітря, що залежить від низки параметрів. З іншого боку навіть при постійній швидкості вітру і його щільності істотним джерелом збуджуючих механічних впливів є ротор, що обертається. При русі лопатей по круговій траєкторії величини аеродинамічних сил, що впливають на елементи ротора – лопаті і траверси – змінюються в широкому діапазоні в залежності від його кутової швидкості.

Аналіз характеру зміни вітрових потоків і робочих характеристик вітроустановок показав, що процеси зміни природної швидкості вітру і щільності повітря мають частоти суттєво нижчі за частоти обурливих впливів, викликаних обертанням ротора. Показано, що при дослідженні характеру зміни динамічних властивостей роторів змінної конфігурації – власних частот і форм коливань – треба орієнтуватися на обурювальні впливи, які викликані саме обертанням ротора [1,2]. Кутова швидкість обертання ротора є першою основною частотою впливів, що збуджують. Друга частота

збуджень – це частота проходження лопатей перед опорою. Вона визначається як добуток числа лопатей на частоту обертання ротора. Вітроустановка повинна бути спроектована таким чином, щоб власні частоти її елементів конструкції не збігалися із зазначеними частотами впливів, що збурюють.

Актуальність цих досліджень безсумнівна, оскільки за збігу власних частот елементів ротора з частотою його обертання виникають небезпечні резонансні явища конструкції ротора і опори здатні призводити до руйнації їх конструкції. При резонансних режимах роботи ротора деформації лопатей і траверс збільшуються, приводячи до екстремальних навантажень у їх конструкції, причому проблема з резонансом ускладнюється, коли його кутова швидкість варіюється.

Зміна довжини лопатей і траверс ротора в процесі роботи вітроустановки призводить до зміни їх жорсткості та перерозподілу мас у конструкції. Це зумовлює змінність власних частот зазначених елементів конструкції, що ускладнює процес конструювання таких вітроустановок за рахунок узгодження власних частот всіх елементів конструкції в різних режимах роботи.

Проведено розрахунки власних частот і форм коливань типового конструктивного вузла конструкції Н-ротора Дар'є. Він включає розсуну траверсу та закріплену на її кінці лопать. Прикладом вітроустановки зі схожим конструктивним вузлом траверса-лопать, але з нерозсуну траверсою, є розроблена і виготовлена на попередніх етапах досліджень вертикально-осьова установка з Н-ротором Дар'є потужністю 20 кВт.

Зміна просторової конфігурації розсунутого ротора може бути конструктивно реалізовано трьома шляхами – керованим розсуванням/всуванням тільки траверси, тільки лопаті та спільно траверси та лопаті. Порівняльна оцінка порівняльної ефективності цих трьох способів зміни конфігурації роторів є основною метою проведених досліджень.

На даному етапі досліджувалась динаміка конструктивного варіанту вузла траверса-лопать з розсунутою траверсою для вітроустановок потужністю 20 і 30 кВт, що мають, відповідно, дві і три лопаті. Вузли виконані конструктивно ідентично.

Власні частоти та форми коливань були розраховані для десяти різних конфігурацій вузла розсувна траверса-лопать. Ці конфігурації відрізняються довжиною пружної розсувної траверси.

Конфігурації за допомогою варіювання довжини траверси змінюються від стану нульового висування до повного, проходячи через десять проміжних положень. Розрахунки проводилися методом кінцевих елементів із використанням спеціалізованого пакета високого рівня.

Отримано залежності власних частот вузла висування траверса-лопать від номера форми коливань при різних значеннях величини висування траверси, а також залежності власних частот від ступеня висування траверси для п'яти форм коливань. Ці залежності дозволяють встановити загальні тенденції у динамічних процесах при власних коливаннях вузла. Зі зростанням величини висування траверси діапазон зміни власних частот для форм коливань, що враховуються, зменшується. Це важливо враховувати при "відбудові" власних частот вузла від частот впливу, що збурюють, конструктивним шляхом. Показано, що зі збільшенням довжини траверси власні частоти зменшуються.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Fadil J., Soedibyo, Ashari M. Performance analysis of vertical axis wind turbine with variable swept area /IEEE 2017 International Seminar on Intelligent Technology and its Applications (ISITIA) - Surabaya (2017.8.28-2017.8.29) 217–221. doi:10.1109/ISITIA.2017.8124083
- 2.Моделювання і розрахунок аеродинаміки, динаміки і напружено-деформованого стану елементів конструкції перспективних систем енергозабезпечення і підсистем магнітолевітуючих транспортних засобів : звіт про НДР (заклучн.) / Інститут транспортних систем і технологій НАН України; наук. кер. розділу НДР С.В.Тарасов. Шифр теми 1.3.6.17, Дніпро, 2020. 628с.

STUDY OF DYNAMIC PARAMETERS OF H-ROTORS OF VARIABLE CONFIGURATION

Serhii Tarasov, Olha Dorosh

Abstract. *Calculations of the natural frequencies and forms of oscillations of a typical structural assembly of the H-rotor design of Dareus were carried out. It includes a sliding traverse and a blade fixed at its end. The dependencies of the eigenfrequencies of the extendable traverse-blade unit on the number of the vibration form at different values of*

the traverse extension value, as well as the dependence of the eigenfrequencies on the degree of traverse extension for five forms of oscillations, were obtained.

Keywords: *dynamics model, Dareus rotor, blades and traverses of variable length, natural frequencies, forms of oscillations.*

REFERENCES

1. Fadil J., Soedibyo, Ashari M. Performance analysis of vertical axis wind turbine with variable swept area /IEEE 2017 International Seminar on Intelligent Technology and its Applications (ISITIA) - Surabaya (2017.8.28-2017.8.29) 217–221. doi:10.1109/ISITIA.2017.8124083
2. Modelyuvannya i rozrakhunok aerodynamiky, dynamiky i napruzhenno-deformovanoho stanu elementiv konstruktsiyi perspektyvnykh system enerhozabezpechennya i pidsystem mahnitolevituyuchykh transportnykh zasobiv : zvit pro NDR / Instytut transportnykh system i tekhnolohiy NAN Ukrainy; nauk. ker. rozdil NDR S.V.Tarasov. Shyfr temy 1.3.6.17, Dnipro, 2020. 628p.

СЕКЦІЯ 4

**ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ПРОЦЕСІВ ПРОЕКТУВАННЯ**

SECTION 4

**INFORMATION AND SOFTWARE SUPPORT
FOR DESIGN PROCESSES**

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Гуда А.І., Булавка О.С., Довидовський Е.О., Селівърстова Т.В.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

Анотація. Проведений аналіз трансформаційного впливу штучного інтелекту на сферу розробки програмного забезпечення, демонструючи, як інструменти на основі ШІ оптимізують робочі процеси та підвищують продуктивність. Від автоматизації створення документації за допомогою таких інструментів, як *Rewind.ai* і *Mutable.ai* до перекладу коду на людську мову для легшого розуміння за допомогою *Figstack*, ШІ революціонує практику розробки. Ці інновації підкреслюють ключову роль штучного інтелекту в зміні процесів розробки програмного забезпечення, покращенні якості коду та сприянні ефективній командній роботі в дедалі динамічнішому середовищі.

Ключові слова: штучний інтелект, розробка програмного забезпечення, автоматизація, співпраця, віддалена робота.

У динамічній сфері розробки програмного забезпечення штучний інтелект змінює робочі процеси та підвищує продуктивність. Такі інструменти, як *Rewind.ai* та *Mutable.ai*, автоматизують створення документації, а *Figstack* перекладає код людською мовою, спрощуючи його розуміння. В умовах переходу до віддаленої роботи, прискореного COVID-19, такі платформи, як *read.ai* та *tldv.io*, надають життєво важливі резюме зустрічей, сприяючи безперешкодній співпраці.

Асистенти штучного інтелекту для генерації коду, такі як *GitHub Copilot*, *Tabnine* та *Polycoder*, є передовим поєднанням машинного навчання та розробки програмного забезпечення, що має на меті підвищити продуктивність розробників. Надаючи пропозиції щодо завершення коду, виправлення помилок і навіть генеруючи цілі функції на основі контексту існуючої кодової бази, ці інструменти можуть значно спростити процес кодування. Однак їх застосування має свої обмеження.

Застосування штучного інтелекту в статичних і динамічних аналізаторах коду, таких як *Synk*, революціонує безпеку та якість програмного забезпечення. Ці інструменти використовують машинне навчання для

автономного виявлення вразливостей, помилок і проблем з продуктивністю в кодових базах. Статичні аналізатори аналізують вихідний код на предмет вразливостей безпеки та дотримання стандартів кодування, тоді як динамічні аналізатори аналізують код під час виконання. III покращує ці процеси, підвищуючи точність, зменшуючи кількість хибних спрацювань та адаптуючись до нових загроз. Однак людський нагляд залишається важливим для інтерпретації результатів і впровадження ефективних стратегій виправлення.

Висновок

Розглянуто трансформаційну роль штучного інтелекту в сучасній розробці програмного забезпечення, висвітлено такі інструменти на основі III, як Rewind.ai, Mutable.ai та Figstack. Ці інструменти автоматизують створення документації, перекладають код людською мовою для полегшення його розуміння та надають важливі резюме зустрічей, сприяючи безперешкодній співпраці в умовах переходу до віддаленої роботи.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Damon P. The effect of COVID-19 on remote work policies. Journal of science policy & governance. 2022. Vol. 21, no. 01. URL: <https://doi.org/10.38126/jspg210101> (date of access: 09.04.2024).
2. Demystifying practices, challenges and expected features of using github copilot / B. Zhang et al. International journal of software engineering and knowledge engineering. 2023. URL: <https://doi.org/10.1142/s0218194023410048> (date of access: 09.04.2024).
3. Gapon A. O., Fedorchenko V. M., Sievierinov O. V. Methods and means of static and dynamic code analysis. Radiotekhnika. 2023. No. 212. P. 7–13. URL: <https://doi.org/10.30837/rt.2023.1.212.01> (date of access: 09.04.2024).
4. The productivity effects of generative AI: evidence from a field experiment with github copilot / K. Z. Cui et al. An MIT exploration of generative AI. 2024. URL: <https://doi.org/10.21428/e4baedd9.3ad85f1c> (date of access: 09.04.2024).

RESEARCH OF APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SOFTWARE ENGINEERING

Guda Anton, Bulavka Oleksii, Dovyдовskyi Eduard, Selivyorstova Tatjana

Abstract. *The study explores the transformative impact of artificial intelligence in the realm of software development, showcasing how AI-powered tools streamline workflows and enhance productivity. From automating documentation creation with tools like*

Rewind.ai and Mutable.ai to translating code into human language for easier comprehension through Figstack, AI is revolutionizing development practices. These innovations underscore AI's pivotal role in reshaping software development processes, improving code quality, and fostering efficient teamwork in an increasingly dynamic landscape.

Keywords: *artificial intelligence, software development, automation, collaboration, remote work.*

REFERENCE

1. Damon P. The effect of COVID-19 on remote work policies. Journal of science policy & governance. 2022. Vol. 21, no. 01. URL: <https://doi.org/10.38126/jspg210101> (date of access: 09.04.2024).
2. Demystifying practices, challenges and expected features of using github copilot / B. Zhang et al. International journal of software engineering and knowledge engineering. 2023. URL: <https://doi.org/10.1142/s0218194023410048> (date of access: 09.04.2024).
3. Gapon A. O., Fedorchenko V. M., Sievierinov O. V. Methods and means of static and dynamic code analysis. Radiotekhnika. 2023. No. 212. P. 7–13. URL: <https://doi.org/10.30837/rt.2023.1.212.01> (date of access: 09.04.2024).
4. The productivity effects of generative AI: evidence from a field experiment with github copilot / K. Z. Cui et al. An MIT exploration of generative AI. 2024. URL: <https://doi.org/10.21428/e4baedd9.3ad85f1c> (date of access: 09.04.2024).

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ URL-АДРЕС З ВИКОРИСТАННЯМ БІБЛІОТЕКИ SCIKIT-LEARN

Каштан В.Ю., Панферова Я.В., Бешта Л.В., Ващук Д.О.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. Розглянуто методологію автоматизованого виявлення потенційно небезпечних URL-адрес за допомогою бібліотеки *scikit-learn*. Запропонована методологія включає підготовку даних, генерацію ознак та оцінку моделі на основі алгоритму випадкового лісу для класифікації URL-адрес на фішингові та бешпечні. Реалізація методології здійснюється з використанням мови програмування Python та бібліотеки *scikit-learn*. Результати експериментів показують ефективність моделі у виявленні потенційно небезпечних URL-адрес, що може відігравати важливу роль у захисті користувачів від шахрайства та інших онлайн-загроз.

Ключові слова: небезпечні URL-адреси, фішинг, *scikit-learn*, машинне навчання.

Вступ. Онлайн-послуги та веб-сайти стали необхідною складовою сучасного життя в різних сферах, включаючи бізнес, освіту, банківську справу та особисте життя. Зі зростанням популярності і використання онлайн-ресурсів зростає і кількість шкідливих веб-сайтів. Шкідливий веб-сайт може містити небажаний вміст з метою збору конфіденційних даних або встановлення шкідливого програмного забезпечення на комп'ютер користувача. Часто це відбувається без уведення користувача, зокрема під час драйвового завантаження, коли шкідливе програмне забезпечення автоматично встановлюється без його дозволу.

Захист від таких атак складний, оскільки іноді навіть обережне користування Інтернетом не є достатнім. Зловмисники можуть використовувати вразливості у веб-додатках для впровадження шкідливого коду без відома власника. Згідно з дослідженням Webroot Threat Report за 2019 рік, 40% шкідливих URL-адрес було виявлено на добропорядних доменах [1]. Це означає, що навіть легітимні веб-сайти можуть стати потенційною загрозою для користувачів.

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки методів та інструментів, які допоможуть відрізнити шкідливі URL-адреси від безпечних. Одним зі широко використовуваних методів захисту є створення чорних списків [2], але

цей підхід має свої обмеження. Іншим методом є застосування методів машинного навчання для виявлення шаблонів у шкідливих URL-адресах [3, 4, 5].

Мета роботи полягає в розробці програмного інструменту для виявлення потенційно шкідливих URL-адрес з використанням керованого навчання. Для цього використовується алгоритм випадковий ліс та бібліотека scikit-learn.

Методологія. На рис.1 наведено структурну схему інструменту виявлення потенційно небезпечних URL-адрес. Ефективна підготовка даних вважається ключовою складовою процесу машинного навчання і приводить до досягнення кращих результатів. Метою цього дослідження є навчання та оцінка різних моделей машинного навчання. Для цього створено інструмент на мові програмування Python та бібліотеки scikit-learn для обробки необроблених даних URL-адрес.

Представлений інструмент включає чотири етапи обробки даних: попередню обробку, генерацію ознак, зберігання даних та пост обробку. Кожен з цих етапів може конфігуруватися шляхом додавання або видалення компонентів відповідно до потреб дослідження. Компоненти інструменту динамічно завантажуються згідно з конфігурацією програми. Крім того, деякі компоненти можуть підтримувати багато потоковість для оптимізації швидкодії обробки даних.

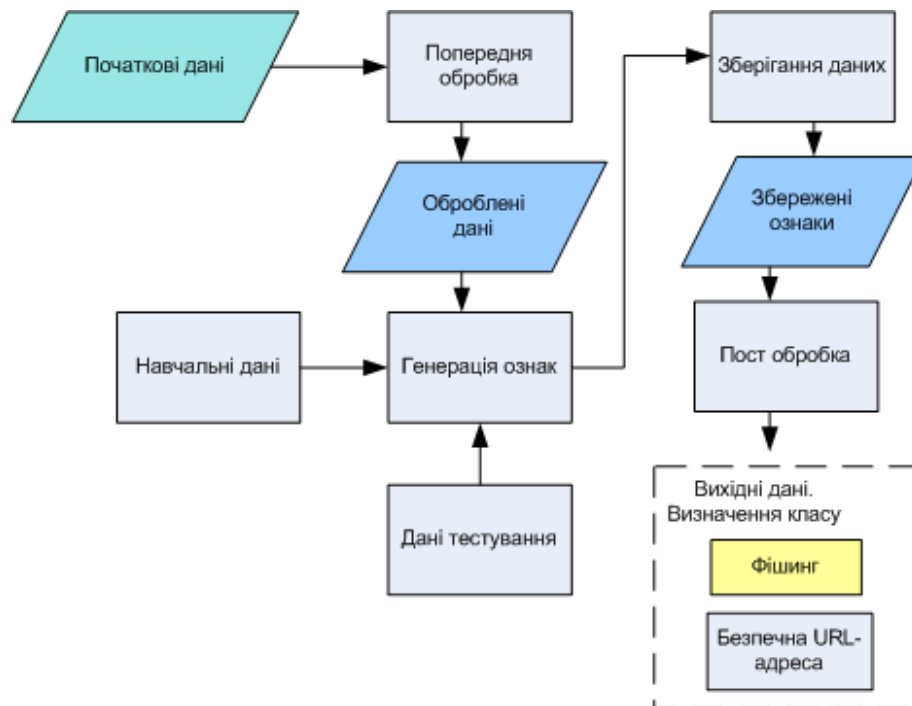


Рисунок 1 – Структурна схема методології

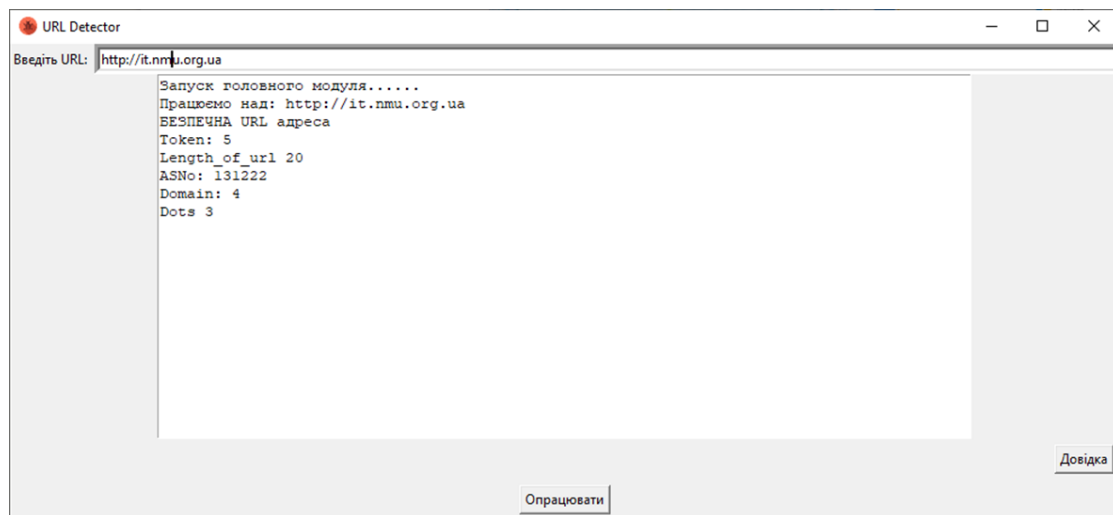
Попередня обробка є першим етапом, на якому здійснюється збір та збереження ключової інформації про вхідні дані. Цей етап включає в себе отримання всієї необхідної інформації для подальшої обробки ознак, такої як словник або значення для нормалізації даних.

Генерація ознак представляє собою основний етап обробки даних, під час якого відбувається виділення ознак з вхідних даних і їх збереження для майбутнього використання. Результатом цього етапу є список вилучених ознак разом з відповідними значеннями.

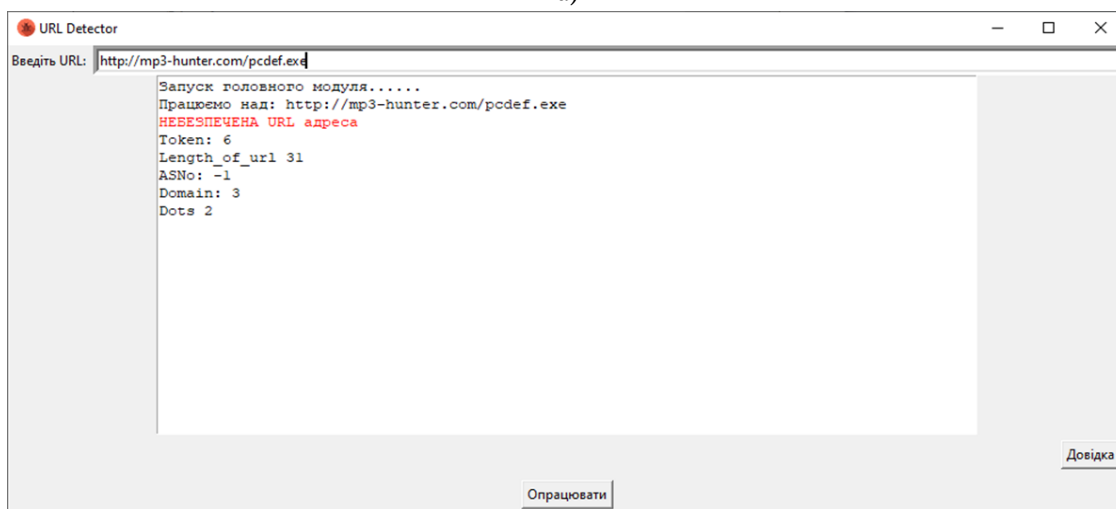
Зберігання даних - це етап, на якому здійснюється перетворення та збереження ознак у відповідному форматі, що є необхідним для подальшого використання алгоритму випадковий ліс.

Останнім етапом є пост обробка даних. Після навчання класифікатора на навчальному наборі даних для класифікації URL-адрес як фішингових або безпечних, використовується отриманий шаблон для класифікації нових вхідних даних. З URL-адреси виділяються характеристики, такі як IP-адреса, довжина URL, домен, тощо, і формується список їхніх значень. Цей список передається на вхід класифікатору випадкових лісів. Після цього оцінюється продуктивність моделей і генерується оцінка їхньої точності. Навчений

класифікатор, використовуючи згенерований список, визначає, чи є URL-адреса безпечною чи фішинговою. У списку використовуються значення 1, 0 та -1 для позначення наявності, відсутності або незастосовності ознак відповідно. Результати запропонованої методології автоматизованого виявлення потенційно небезпечних URL-адрес були реалізовані за допомогою мови програмування Python та бібліотеки scikit-learn (рис.2).



а)



б)

Рисунок 2 – Результати запропонованої методології: а) безпечна URL-адреса кафедри ІТКІ НТУ «ДП»; б) фітінгова адреса

Висновки. Запропоновано методологію автоматизованого виявлення потенційно небезпечних URL-адрес за допомогою бібліотеки scikit-learn. В рамках цієї методології проведено підготовку даних, виконано генерацію ознак та оцінку моделі на основі алгоритму випадкового лісу для класифікації URL-адрес на фішингові та легальні. Реалізація запропонованої методології

здійснена за допомогою мови програмування Python та бібліотеки scikit-learn. Результати показують ефективність моделі у виявленні потенційно небезпечних URL-адрес, що може бути корисним для захисту користувачів від шахрайства та інших онлайн-загроз.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. INC., Webroot Threat Report. ¶[Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www-cdn.webroot.com>.
2. Sheng, Steve, Brad Wardman, Gary Warner, Lorrie Faith Cranor, Jason I. Hong and Chengshan Zhang. “An Empirical Analysis of Phishing Blacklists.” International Conference on Email and Anti-Spam, 2009.
3. J. H. Ateeq and M. Moreb, “Detecting malicious URL using neural network”, in Proc. Int. Congr. Adv. Technol. Eng. (ICOTEN), Jul. 2021, pp. 1–8.
4. M. E. H. V. S. Aalla and N. R. Dumpala, “Malicious URL prediction using machine learning techniques”, Ann. Romanian Soc. Cell Biol., vol. 25, no. 5, pp. 2170–2176, 2021.
5. Y. Pingle, S. N. Bhatkar, and S. Patil, “Detection of malicious content using AI”, in Proc. 7th Int. Conf. Computing Sustain. Global Develop., 2020, pp. 1–6.

AUTOMATED DETECTION OF POTENTIALLY DANGEROUS URL ADDRESSES USING THE SCIKIT-LEARN LIBRARY

Kashtan Vita, Panferova Yana, Beshta Liliia, Vashchuk Dmytro

Abstract. *The methodology of automated detection of potentially dangerous URLs using the sci-kit-learn library is considered. The proposed methodology includes data preparation, feature generation, and model evaluation based on the random forest algorithm for classifying URLs into phishing and safe ones. The methodology is implemented using the Python programming language and the scikit-learn library. Experimental results show the effectiveness of the model in identifying potentially dangerous URLs, which plays an essential role in protecting users from fraud and other online threats.*

Keywords: *dangerous URLs, phishing, scikit-learn, machine learning.*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ПОРШНІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ТРУБОПРОВОДІВ

Дорошенко Я.В.¹, Стецюк С.М.¹, Філіпчук О.О.²

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

²Акціонерне товариство «Укргазвидобування», Україна

Анотація. Чисельним моделюванням та експериментально досліджено вплив геометричної форми поршнів на їх прохідну здатність та ефективність очищення трубопроводів. Для цього побудовано 3D геометричну модель та виготовлено із силіконового компаунда експериментальні зразки з опуклою передньою та вгнутою задньою частиною. Властивості матеріалу поршня описано моделлю потенціальної енергії деформації Муні-Рівліна. Результати моделювання візуалізовано побудовою тривимірних кольорових полів еквівалентних напружень за Мізесом на контурах поршня для різних значень коефіцієнта тертя між його бічною поверхнею та внутрішньою стінкою трубопроводу. Встановлено, що виконання задньої частини поршня вгнутою призводить до суттєвого збільшення контактних сил між поршнем та внутрішньою стінкою труби, що має значний вплив на його прохідну здатність та ефективність очищення внутрішньої порожнини трубопроводу. Причому зі збільшенням коефіцієнта тертя еквівалентні напруження біля заднього торця поршня збільшуються, а отже і збільшуються контактні сили і зменшується перетікання через поршень.

Ключові слова: трубопровід, очищення, поршень, ефективність, прохідна здатність, чисельне моделювання.

Щоб запобігати втратам тиску в трубопроводах і зменшенню гідравлічної ефективності потрібно очищувати їх внутрішню порожнину від різноманітних забруднень. Підтримування на належному рівні гідравлічної ефективності систем збору газу газових родовищ до того ж забезпечує стабільну роботу газових свердловин і запобігає зменшенню обсягів видобування газу. Одним із найкращих способів очищення внутрішньої порожнини трубопроводів є пропускання ними поршнів, що не супроводжується втратами природного газу, забрудненням доквілля парниковими газами та не потребує зупинки трубопроводу. Однак, ряд трубопровідних систем різноманітного призначення, зокрема системи збору газу газових родовищ, газові та теплові мережі спроектовані і побудовані без передбачення їх очищення поршнями. Вони містять відводи (коліна) малого радіусу вигину, зміщення кромки і

напливи в місці зварних швів, перехідники з більшого на менший діаметр та інші перешкоди у внутрішній порожнині, які можуть призвести до застрягання очисного поршня [1]. Крім того причинами застрягання очисного поршня може бути перетікання через нього транспортованого середовища через недостатнє його прилягання до внутрішньої стінки. Щоб цього запобігти необхідно підібрати такі матеріали і геометричну форму очисних поршнів, щоб вони були здатні проходити різноманітні перешкоди, які містяться у внутрішній порожнині трубопровідних систем та ефективно очищувати трубопроводи.

Спроможністю проходити різноманітні трубопровідні елементи вирізняються поршні виготовлені із гіперпружних матеріалів, які здатні сильно деформуватись під навантаженням та швидко відновлювати свою геометричну форму. Однак, різні гіперпружні матеріали мають різну механічну міцність, різні модулі пружності, різну густину. Тому поршні з таких матеріалів із різною ефективністю очищують трубопроводи, можуть застрягати, пошкоджуватись, руйнуватись під час проходження різних перешкод у внутрішній порожнині трубопроводів. Під час експериментальних досліджень найкраще зарекомендували себе очисні поршні із силіконового компаунда, які є міцними, надзвичайно пружними та гнучкими, а тому мають добру прохідну здатність та ефективно очищують трубопроводи [2].

Однак, крім матеріалу очисного поршня, суттєвий вплив на прохідну здатність, міцність та ефективність очищення чинить його геометрична форма. Так, як для очищення поршнями трубопровідних систем збору газу газових родовищ та трубопроводів газових і теплових мереж поршні повинні мати підвищену прохідну здатність то їх передня частина має бути опуклою. Не менш важливим є геометрична форма задньої частини поршня. Якщо її виконати вгнутою то це може забезпечити кращу герметизацію та підвищити прохідну здатність поршня.

Дослідження впливу геометричної форми очисних поршнів із силіконового компаунду на їх прохідну здатність виконано чисельним моделюванням та експериментально. Для цього розроблено 3D геометричну

модель поршня та виготовлено із силіконового компаунда експериментальні зразки (рисунок 1).

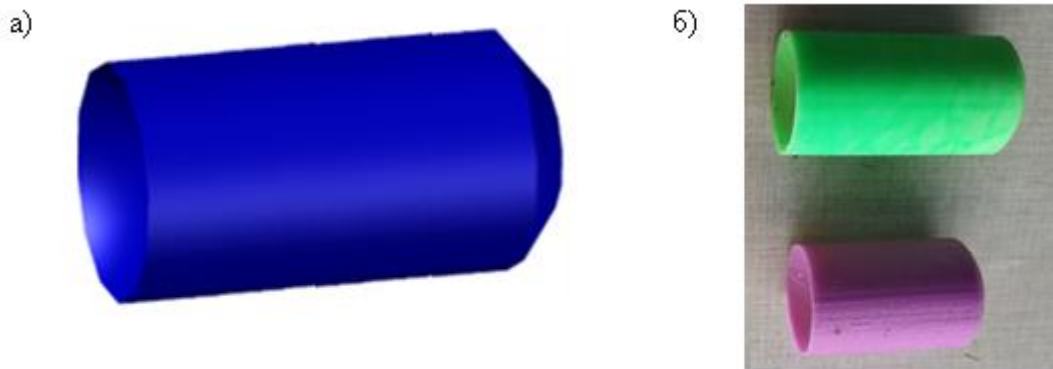


Рисунок 1 – Поршні для очищення трубопроводів
а) – геометрична модель; б) – експериментальні зразки

Властивості гіперпружного матеріалу, з якого виготовлено очисні поршні, під час чисельного моделювання описано моделлю потенціальної енергії деформації Муні-Рівліна, яка визначає величину накопиченої в матеріалі енергії деформації на одиницю його об'єму.

Контактну взаємодію поршня з внутрішньою стінкою трубопроводу модельовано контактом поверхня-поверхня. Контактною поверхнею задана зовнішня поверхня поршня, а спрямовуючою поверхнею – внутрішня стінка труби. Коефіцієнт динамічного тертя між заданими поверхнями залежить від матеріалу поршня та стану внутрішньої стінки труби (шорсткість, вологість) тому він був заданий рівним 0,2 та 0,4.

Для надання поршню руху внутрішньою порожниною трубопроводу задано переміщення заднього торця поршня в напрямку осі трубопроводу.

Результати моделювання візуалізовано побудовою тривимірних кольорових полів еквівалентних напружень за Мізесом на контурах поршня (рис. 2) для різних значень коефіцієнту тертя між бічною поверхнею поршня та внутрішньою стінкою трубопроводу.

Як видно з результатів моделювання виконання заднього торця поршня вгнутим призводить до суттєвого збільшення еквівалентних напружень біля задньої його частини, що свідчить про виникнення в цьому місці великих контактних сил між поршнем і внутрішньою стінкою труби. Тому якщо поршень містить вгнуту задню частину то перетікання через нього буде

мінімальним, а прохідна здатність великою. Зі збільшенням коефіцієнта тертя еквівалентні напруження біля заднього торця поршня збільшуються, а отже і збільшуються контактні сили і зменшується перетікання через поршень.

За результатами експериментальних досліджень динаміки руху поршнів різної геометричної форми трубопроводами встановлено, що поршні з вгнутою задньою частиною мають велику прохідну здатність, а перетікання через них є мінімальним, що підтвердило достовірність чисельного моделювання.

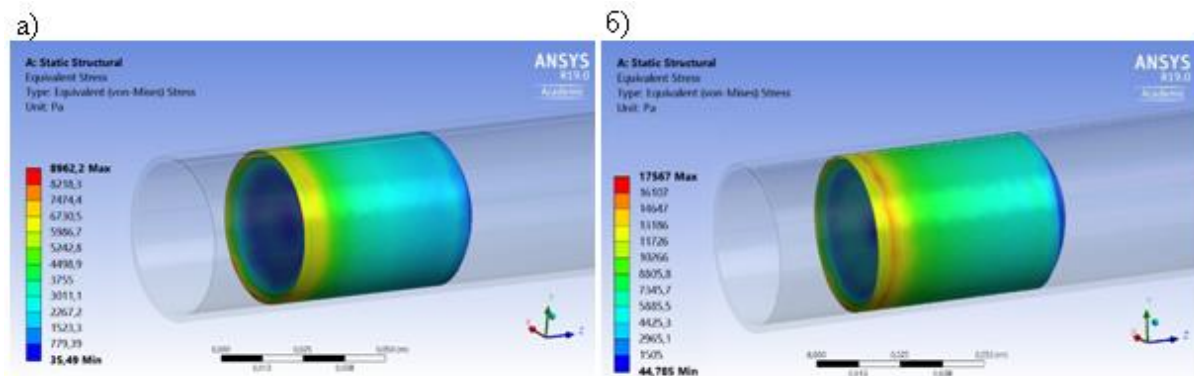


Рисунок 2 – Розподіл еквівалентних напружень Мізеса на контурах поршня

а) – коефіцієнт динамічного тертя рівний 0,2;

б) – коефіцієнт динамічного тертя рівний 0,4

Висновок. Для очищення внутрішньої порожнини трубопроводів систем збору газу газових родовищ, газових та теплових мереж від різноманітних забруднень очисні поршні потрібно виготовляти суцільнолитими із гіперпружних матеріалів. При цьому задній кінець поршня повинен бути вгнутим, що суттєво збільшує контактні сили між поверхнею поршня і внутрішньою стінкою трубопроводу, мінімізує перетікання через нього та підвищує його прохідну здатність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стецюк С. М. Експериментальні дослідження динаміки руху очисних поршнів із гіперпружних матеріалів відводами і перехідниками трубопроводів. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2022. № 4(85). С. 28 – 42.
2. Стецюк С. М. Експериментальні дослідження очищення внутрішньої порожнини трубопроводів поршнями із гіперпружних матеріалів. – 2022. Нафтогазова енергетика. № 2(38). С. 62 – 75.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE GEOMETRIC FORM OF PIGS ON THE EFFICIENCY OF CLEANING PIPELINES

Yaroslav Doroshenko, Serhii Stetsiuk, Oleksandr Filipchuk

Abstract. *The effect of the geometric shape of the pigs on their passage and pipeline cleaning efficiency was investigated by numerical modeling and experimentally. For this, a 3D geometric model was built and experimental samples with a convex front and a concave back part were made from silicone compound. The properties of the pigs material are described by the Mooney-Rivlin deformation potential energy model. The simulation results are visualized by constructing three-dimensional colored fields of equivalent Mises stresses on the contours of the pigs for different values of the friction coefficient between its side surface and the inner wall of the pipeline. It was found that making the rear part of the pigs concave leads to a significant increase in the contact forces between the pigs and the inner wall of the pipe, which has a significant impact on its passage and the efficiency of cleaning the internal cavity of the pipeline. Moreover, with an increase in the coefficient of friction, the equivalent stresses near the rear end of the pigs increase, and therefore the contact forces increase and the flow through the pigs decreases.*

Keywords: *pipeline, cleaning, pigs, efficiency, passage, numerical simulation.*

REFERENCE

1. Stetsiuk S. M. Experimental studies of cleaning the internal cavity of pipelines with pigs made of hyperelastic materials. Prospecting and Development of Oil and Gas Fields. – 2022. No 4(85). P. 28 – 42.
2. Stetsiuk S. M. Experimental studies of the dynamics of the movement of cleaning pigs made of hyperelastic materials through bends and reducers of pipelines. – 2022. Oil and Gas Power Engineering. No 2(38). P. 62 – 75.

DEVELOPMENT OF A FRAMEWORK FOR CONCEPTUAL DESIGN OF RTS (FCD_RTS)

Anatolii Kosolapov, Egorov Oleg, Parpolita Olexandr, Stepan Zhuk

Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine

Abstract. *The paper proposes new results in improving the CoDeCS framework for the conceptual design of complex systems. A new architecture consisting of a subsystem for generating variants of enterprise information architectures (GEntA) and a subsystem for conceptual analytics (ConAn) for characterisation of real-time computer systems (RTSCS) is considered. Both subsystems rely on a common intellectual knowledge bank consisting of a base of facts, a base of production rules and a base of goals formed on the basis of the known experience of conceptual design of complex information-management computer systems. The paper describes the information-technological structures of formalised production lines and presents the first results of subsystems development.*

Keywords: *Conceptual system design, it-architecture, GEntA, FCD_RTS, ConAn.*

Introduction

The problem of effective use of computer control systems operating in real time is currently topical. This applies to microprocessor-based control systems for unmanned aerial vehicles, in particular, as well as in critical technological processes in which strict time constraints on signal processing time (deadline) are set. For example, the launch of an American spacecraft was delayed due to a 20 ms mismatch in signal processing times. The effectiveness of weapon systems is determined by the minimum time to perform the procedures: signal input, decision making, and target engagement.

For conceptual design of real-time systems, the author developed a methodology of system design of structurally complex real-time systems [1]. To automate the design procedures, the CoDeCS framework was proposed, which is currently being improved to enable its use in the educational process by masters of specialty 123 during the course design of socio-technical or cyber-physical systems. These processes are sometimes referred to as real-time system of systems design.

The paper discusses the architecture of the new FCD_RTS framework and an example of fragments of software implementation of its analytical subsystem ConAn.

2. General architecture of the FCD_RTS framework

The general structure of the framework is presented in Fig. 1. It consists of two interconnected subsystems: the subsystem of generation it enterprise architectures GEntA and analytical subsystem ConAn. The basis of the unifying subsystem is an intellectual knowledge bank containing fact bases, a base of fuzzy rules of production type and a base of goals, system design tasks.

The analytical subsystem ConAn uses as input data the enterprise architecture generated by it, containing as technological objects a set of technological processes (TPi), a set of dispatching centres (DCj), where the production personnel of the enterprise is located.

Fig. 2 shows one technological line of the process consisting of separate technological sections (sections), which are equipped with sensors that generate signals about the state of the equipment and the occurrence of certain events (ISg). This is a set of input signals to the designed system. To control the automation devices in the section, the designed system forms and outputs a set of control signals in this section (CSg). To work with signals, each section is assigned a set of functional program blocks (FPBg). All FPBg are linked together in a φ -transaction [1].

The complexity of the FPBg functionality is determined by the number of machine operations of different complexity (example in Fig. 3). This allows us to estimate the average time of application processing, information flows between technological objects (Fig. 3, 4, 5).

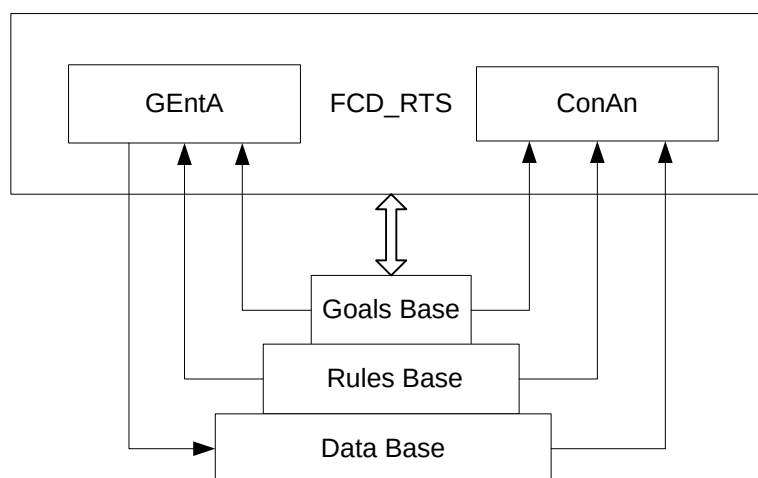


Figure.1 - General architecture of the FCD_RTS Framework
Knowledge bank

Fig. 1 General architecture of the FCD_RTS Framework

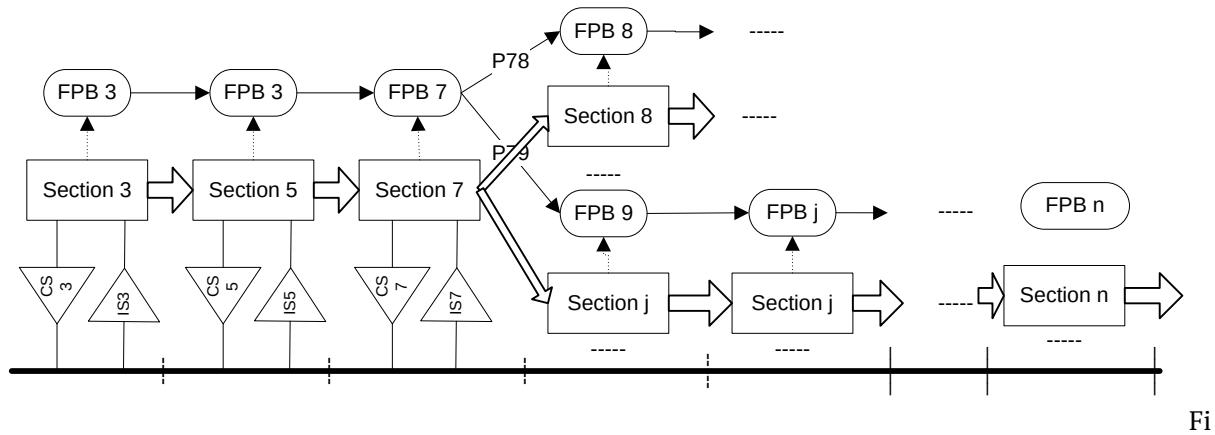


Figure 2 - Technological process line models

Addition	Multiplication	Division	Moving
6 899 365	2 404 689	1 183 523	12 746 454

Figure 3 - Calculating the number of operations per φ -transaction

TP1, Byte / s	DC1, Byte / s	DC3, Byte / s
	644.05	
3.00		202.52
		491.37

Figure 4 - Calculating the amount of data per φ -transaction

τ_{ap} , ms - Celeron Medocino	τ_{ap} , ms - Celeron Tualatin	τ_{ap} , ms - Intel Core 2 Kentsfield
8 650.80	2 452.99	1 313.70
8 514.39	2 414.24	1 292.94
9 251.51	2 618.61	1 402.40

Figure 5 - Calculation of the application processing time τ_{ap} by the processor

Conclusions

The software is currently being developed to take into account the specifics of φ -transaction processing in real-time computer systems [3]. Special attention should be focused on the development of the system of fuzzy production rules, you change them in conditions of incompleteness and inaccuracy of initial data in real projects to the design of complex cyber-physical systems.

REFERENCE / ЖИТЕПАТҮПА

1. Konceptual'noe Proektirovanie Komp'iuternyh Sistem Real'nogo Vremeni. CoDeCS - Zadachi, Modeli, Metody, Algoritmy, Programmy. Monografiia / Anatolij Kosolapov - Izd. Dom Lap Lambert Academic Publishing, Beau Bassin, Mauritius, 2019. - 189 s. (ISBN 978-620-0-08208-4).

2. Kosolapov, Anatolii; Busyrev, Igor SYSTEM DESIGN OF ENTERPRISES IT-ARCHITECTURES // International Scientific Conference. Innovative Technologies of Personnel Training for Industry and Transport (ITPTIT'2023). Збірник наукових праць міжнародної конференції. Вид. Дніпровська Політехніка, 2023, р.179-183.
3. Kosolapov A. (2020) Models and Method for Estimate the Information-Time Characteristics of Real-Time Control System. In: Borzemski L., Świątek J., Wilimowska Z. (eds) Information Systems Architecture and Technology: Proceedings of 40th Anniversary International Conference on Information Systems Architecture and Technology – ISAT 2019. ISAT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1050. Springer, Cham

РОЗРОБКА FRAMEWORK ДЛЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ (FCD_RTS)

Косолапов Анатолій, Єгоров Олег, Парполіта Олександр, Жук Степан

УДУНТ кафедра ЕОМ,

Анотація. У статті запропоновано нові результати в удосконаленні фреймворку CoDeCS для концептуального проектування складних інформаційних систем. Запропоновано нову архітектуру, що складається з підсистеми генерації варіантів АйТі-архітектур підприємств (GEntA) та підсистеми концептуальної аналітики (ConAn) для оцінки характеристик комп'ютерних систем реального часу (RTS_CS). Обидві підсистеми спираються на спільний інтелектуальний банк знань, що складається з бази фактів, бази продукційних правил і бази цілей, сформованих на основі відомого досвіду концептуального проектування складних інформаційно-управляючих комп'ютерних систем. У статті описано інформаційно-технологічні структури формалізованих виробничих ліній та представлено перші результати розробки підсистем.

Ключові слова: Концептуальне проектування систем, it-архітектура, GEntA, ConAn, FCD_RTS..

**ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ВІДПОВІДНОСТІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP32
МІЖНАРОДНИМ СТАНДАРТАМ З КІБЕРНЕТИЧНОЇ
БЕЗПЕКИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ**

Мазуренко В.Б.

Дніпровський національний університет, Україна

Анотація. *Досліджується захист мікроконтролера ESP32 від кібернетичних загроз шляхом аналізу відповідності платформи (мікроконтролер, ОС, API, підтримка виробника) вимогам міжнародних стандартів з кібербезпеки. Зокрема розглядаються: засоби керування звітами щодо вразливості, оновлення програмного забезпечення, надійне зберігання конфіденційних параметрів безпеки, безпечне спілкування та захист персональних даних. Отримано висновок, що мікроконтролер ESP32 в цілому відповідає стандартам з кібернетичної безпеки інтернету речей. Єдиний виняток, який було знайдено, полягає в тому, що виробник ESP32 не публікує свою політику розкриття вразливостей. Таким чином, рівень кібернетичної безпеки платформи ESP32 слід визнати достатньо високим для побудови звичайної, побутової системи IoT.*

Ключові слова: *інтернет речей, автоматизація, кібербезпека, мікроконтролер, комп'ютерно-інтегровані технології*

Вступ. Інтернет речей (IoT – Internet of Things) безперервно збільшує свою присутність в нашому житті. Цьому процесу розширення в першу чергу сприяє зменшення вартості сенсорів, мікроконтролерів, приладів мережевої інфраструктури вкупі з активним розвитком різноманітних хмарних сервісів. Сьогодні самі звичайні люди мають доступ до технологій, які дозволяють збирати інформацію з різноманітних джерел, створювати автоматизацію для роботи побутової техніки та реалізовувати потрібні сценарії взаємодії технічних об'єктів. Проте, як тільки користувач починає використовувати ці нові технології, відразу з'являється небезпека викрадання конфіденційних даних, підміни або знищення важливої інформації, появи спроб реалізації шкідливого функціонування системи та таке інше, – тобто всього того, що носить назву кібернетична загроза. Запобігти зазначеним загрозам можливо завдяки впровадженню в системах IoT стандартів з забезпечення кібернетичної безпеки.

Основний матеріал. Метою дослідження є аналіз можливостей одного з найбільш популярних мікроконтролерів, які використовуються для створення IoT, а саме – мікроконтролера ESP32, надавати потрібний рівень кібернетичного захисту. Дослідження проведено шляхом порівняння технічних характеристик, властивостей операційної системи (ОС) та специфікацій прикладного програмного інтерфейсу (API – Application Programming Interface), якими оснащується мікроконтролер ESP32, а також підтримки розробника з вимогами міжнародного стандарту ETSI EN 303 645.

Найбільш авторитетними організаціями, які створюють стандарти з кібербезпеки є такі: ETSI (European Telecommunications Standards Institute) – Європейський інститут телекомунікаційних стандартів; IoTSF (Internet of Things Security Foundation) – Організація з безпеки інтернету речей; GSMA (Groupe Speciale Mobile Association) – Асоціація «Спеціальна група мобільних технологій»; NIST (National Institute of Standards and Technology) – Національний інститут стандартів і технології, США; IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) – Інститут інженерів з електротехніки та електроніки; IEC (International Electrotechnical Commission) – Міжнародна електротехнічна комісія; ENISA (European Union Agency for Network and Information Security) – Агентство Європейського Союзу з питань мережевої та інформаційної безпеки. Зважаючи на те, що в даному разі розглядається бюджетний мікроконтролер, який використовується для потреб загального користування, таких, наприклад, як «розумний будинок», буде доцільним спиратися на стандарт ETSI, який має назву «Кібербезпека Інтернету речей користувачів: основні вимоги» [1]. Цей стандарт встановлює наступні основні положення забезпечення кібербезпеки інтернету речей:

- 1) не використовуйте універсальних паролів за замовчуванням;
- 2) впроваджуйте засоби керування звітами щодо вразливості;
- 3) постійно оновлюйте програмне забезпечення;
- 4) надійно зберігайте конфіденційні параметри безпеки;
- 5) спілкуйтеся безпечно;

- 6) зведіть до мінімуму відкритий простір для нападу;
- 7) забезпечте цілісність програмного забезпечення;
- 8) переконайтеся, що персональні дані захищені;
- 9) зробіть системи стійкими до збоїв; 10) перевіряйте дані системної телеметрії;
- 11) спростить для користувачів видалення даних користувачів;
- 12) зробіть установку та обслуговування пристроїв простими;
- 13) перевіряйте введені дані.

Не всі з цих вимог стосуються самого мікроконтролера, його ОС та API. Пункти 1, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13 – в першу чергу залежать від розробників та користувачів IoT. За належного програмування, вдалої конструкції та правильної експлуатації всі ці пункти можуть бути реалізовані практично на всіх популярних платформах. Всі інші пункти (2, 3, 4, 5, 7) також залежать від розробників та користувачів, але їх не вдасться виконати, якщо мікроконтролер, ОС, API та підтримка виробника (тобто – платформа) не мають відповідних інструментів. Розглянемо послідовно саме ці пункти.

Почнемо з другого пункту стандарту. Стосовно засобів керування звітами щодо вразливості стандарт потребує відкритої публікації політики виробника щодо виявлення вразливостей. Це перша вимога з якої витікають усі наступні. На жаль, виробник – фірма Espressif цього не зробила. Відповідно, й наступні вимоги стандарту щодо публікації та термінів усунення вразливостей наразі не заявляються фірмою Espressif як такі, що постійно виконуються. Проте в базі даних NIST [2] відслідковуються інциденти, пов'язані з продукцією Espressif, так само, як й Espressif публікує звіти, щодо виявлених вразливостей, однак це не можна сприймати, як виконання вимог стандарту.

Щодо третього пункту основних вимог зазначимо, що випуск оновленого програмного забезпечення для мікроконтролера ESP32 відбувається на постійній основі. Операційною системою реального часу, якою виробник оснащує ESP32 є FreeRTOS. Вона включає в себе ядро та бібліотеки. Останній реліз вийшов в грудні 2022 року. Засобом розробки програмного забезпечення від виробника є Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF). Найновішою

версією цього інструментального забезпечення на сьогодні є версія 5.1 від червня 2023 року. В кожній новій версії системного та інструментального програмного забезпечення проводиться оновлення засобів кібернетичної безпеки та усуваються виявлені, або потенційні вразливості. Тому в розробника системи IoT на базі ESP32 завжди є можливість виконати вимоги щодо виконання пункту 3 стандарту. Крім того ESP32 забезпечує механізм, відомий як Over the Air Update (OTA), який дозволяє проводити безпечне оновлення програмного забезпечення без зупинення робочих процесів. Таким чином, можна зробити висновок, що третій пункт основних положень забезпечення кібербезпеки інтернету речей стандарту ETSI по відношенню до платформи ESP виконується.

В мікроконтролері ESP32 надійне збереження конфіденційних параметрів безпеки (пункт 4 вимог стандарту) забезпечується шифруванням файлової системи (флеш-шифрування) за алгоритмом AES. Додатково відбувається шифрування енергонезалежної пам'яті, яке використовує стандартний алгоритм AES-XTS. Ключ зберігається в окремому розділі пам'яті, яка сама шифрується за допомогою звичайного шифрування.

Пункт 5 вимог стандарту («безпечне спілкування») передбачає використання криптографічного захисту під час передавання даних. Платформа ESP32 надає для цього необхідні інструменти у вигляді ESP-TLS, який є компонентом ESP-IDF і надає прикладний програмний інтерфейс для роботи з TLS – криптографічним протоколом захисту на транспортному рівні (Transport Layer Security). API надає функціональні можливості для перевірки сертифіката сервера, автентифікації сертифіката клієнта, підтримки попередньо спільних ключів PSK (pre-shared key) та протоколу переговорів прикладного рівня ALPN (Application-Layer Protocol Negotiation). На основі протоколу TLS реалізується протокол HTTPS, що дозволяє побудувати надійний зв'язок з хмарним сервером, так само, як й з IoT-пристроями.

Стандарт вимагає (пункт 7) наявності засобів забезпечення цілісності програмного забезпечення шляхом застосування механізму безпечної

загрузки, який передбачає використання цифрових підписів програмного коду. Такий механізм в ESP32 існує й він легко конфігурується.

Висновки. В результаті проведеного аналізу встановлено наступне:

1) Мікроконтролер ESP32 в цілому відповідає європейським стандартам з кібернетичної безпеки інтернету речей.

2) Невідповідність європейському стандарту ETSI EN 303 645 має місце лише стосовно засобів керування звітами щодо вразливості, оскільки виробник ESP32 не публікує своєї політики щодо виявлення вразливостей.

3) Для побудови звичайної, побутової системи IoT рівень кібернетичної безпеки мікроконтролера ESP32 слід визнати достатньо високим; умовою побудови захищеної IoT на базі цього мікроконтролера є використання всіх наявних в ESP32 інструментів кібернетичної безпеки та виконання вимог стандарту ETSI EN 303 645.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. ETSI EN 303 645 V2.1.1 «Cyber Security for Consumer Internet of Things: Baseline Requirements». Sophia Antipolis, Fr: ETSI, 2020. 34p
2. NATIONAL VULNERABILITY DATABASE. [Електронний ресурс]/Сайт NIST, URL: https://nvd.nist.gov/vuln/search/results?adv_search=true&isCpeNameSearch=true&query=cpe%3A2.3%3Ah%3Aespressif%3Aesp32%3A-%3A*%3A*%3A*%3A*%3A*%3A*

ASSESSMENT OF ESP32 MICROCONTROLLER COMPLIANCE WITH INTERNATIONAL STANDARDS OF CYBER SECURITY FOR INTERNET OF THINGS

Valeriy Mazurenko

Abstract. *The protection of the ESP32 microcontroller from cyber threats is studied by analyzing the compliance of the platform (microcontroller, OS, API, manufacturer support) with the requirements of international cybersecurity standards. In particular, the following topics are covered: means to manage reports of vulnerabilities, keeping software updated, securely storing sensitive security parameters, secure communication, and protecting personal data. Generally, it is concluded that the ESP32 microcontroller meets the cybersecurity standards of the Internet of Things. The only one exception that was found is the ESP32 manufacturer does not publish its vulnerability disclosure policy. Thus cybersecurity level of ESP32 platform should be considered as a quite high to produce a regular, household IoT system.*

Keywords: *Internet of Things, automation, cyber security, microcontroller, computer-integrated technologies*

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПРИПУСКУ ПРИ ФОРМОУТВОРЕННІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС.

Мельник В.Є¹, Филь Р.С¹., Микищенко О.А.²

¹Державний науково-дослідний інститут МВС України

²Інститут надтвердих матеріалів ім.В.М. Бакуля НАН України

Анотація. При формоутворення циліндричних зубчастих коліс застосовують декілька операцій обробки. На операції обробки можуть встановлюватись припуски. Для розрахунку розроблені методики і програми по теоретичному формоутворенню циліндричних зубчастих передач, з різними параметрами вихідних контурів, як стандартних так і не стандартних, а також з модифікацією. Представлено теоретичне формоутворення, по схемі рейка формоутворює колесо для різних коефіцієнтів зміщення від $x=-0,3$ до $x=+0,3$. Таким чином для створення необхідної величини і форми припуску, при проектуванні інструменту для обробки зубчастого колеса необхідно, вирішувати пряму і обернену задачу теоретичного формоутворення.

Ключові слова: Формоутворення, вихідний контур, головна бічна поверхня, припуск, циліндрична зубчаста передача, зубчасте колесо, коефіцієнт зміщення.

Від якості виробництва зубчастих коліс залежить функціонування та працездатність механізму або машини в цілому. Циліндричні зубчасті колеса, одні з небагатьох деталей, які задаються формоутворенням. Під формоутворенням зубчастих коліс розуміється метод теоретичного завдання повної поверхні зубчастих вінців зубчастих коліс, за винятком вершинної поверхні. При формоутворенні за методом обкатки необхідно вирішувати наступну задачу – за вихідним формоутворюючим контуром розраховувати контур формоутвореного зубчастого колеса. При формоутворенні можуть мати місце підрізання профілю, коли в процесі обробки зрізується частина матеріалу зуба зубчастого колеса, або зворотне явище, коли частина припуску залишається не зрізаною [1,2]. Особливістю проектування та виготовлення зубчастих коліс, на відміну від інших деталей машин, є необхідність розглядати питання спільно для сполученої пари зубчастих коліс. В Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України розроблені методики і програми по розрахунку теоретичного формоутворенню циліндричних зубчастих передач, з різними параметрами вихідних контурів, як стандартних

так і не стандартних, а також з модифікацією. Програми можуть виконувати розрахунок для різних схем формоутворення: рейка-колесо, колесо-колесо, колесо-рейка, для внутрішнього і для зовнішнього зачеплення, а також для прямого і оберненого формоутворення.

Для виробництва циліндричних зубчастих коліс застосовують декілька операцій обробки, наприклад: зубофрезерування, зубошевінгування, термообробка, зубошліфування або зубохонінгування. Для низького ступеня точності може застосовуватись одна операція – зубофрезерування. На операції обробки можуть встановлюватись припуски. Особливістю обробки циліндричних зубчастих коліс є те що припуск знімається не рівномірно по профілю зуба зубчастого колеса. Покажемо це на прикладі формоутворення шестерні модулем $m=2,625$ мм і числом зубців $z=12$, для різних зміщень рис.

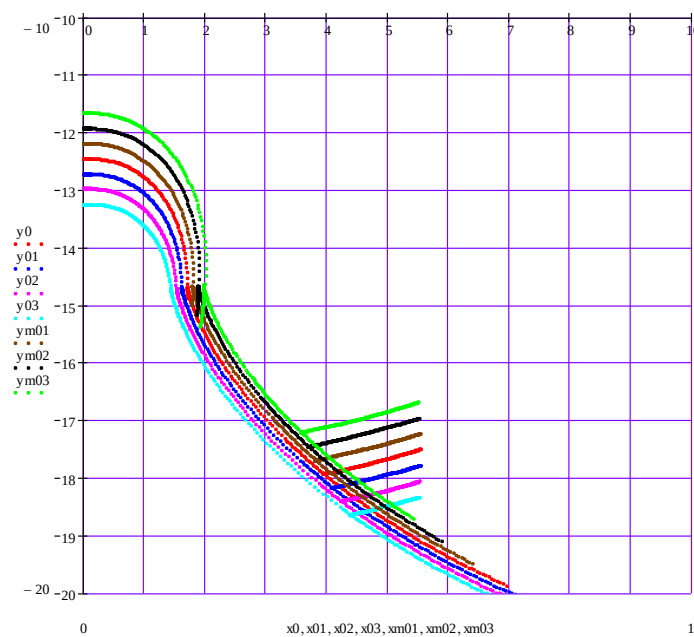


Рисунок 1 - Порівняння величини припуску по поверхнях зуба зубчастого колеса.

На рис 1. представлено теоретичне формоутворення, по схемі рейка формоутворює колесо, половини профілю зуба зубчастого колеса для різних коефіцієнтів зміщення від $x=-0,3$ до $x=+0,3$. Для математичного моделювання був узятий вихідний контур за ДСТУ ISO 53-2001 «Передачі зубчасті циліндричні для загального і важкого машинобудування. Стандартний вихідний контур». Профіль нормального перерізу черв'ячних фрез відповідає

вихідному формотворчому контуру, який є контршаблоном вихідного контуру з відповідним радіальним зазором.

Як видно з рисунку величина припуску по головній бічній поверхні відрізняється від поверхні западин і діаметру вершин, співвідношення складає 1 до 3. Відповідно до зміни величини припуску, необхідно змінювати траєкторію руху, наприклад при обробці дисковим інструментом.

Таким чином для створення необхідної величини і форми припуску, при проектуванні ріжучого інструменту для обробки зубчастого колеса необхідно, вирішувати пряму і обернену задачу теоретичного формоутворення. Така задача теоретичного формоутворення особливо актуальна при фінішній обробці циліндричних зубчастих коліс з урахуванням зносу інструментів для зубошліфування, зубохонінгування, тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Родин П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием. – К: Выща шк. 1977. – 192 с.
2. 3D-моделирование инструментов, формообразования и съема припуска при обработке резанием / А. И. Грабченко, Е. Б. Кондусова, А. В. Кривошея, Н. С. Равская, П. Р. Родин; ред.: П. Р. Родин; Нац. техн. ун-т Украины "Киев. политехн. ин-т", Нац. техн. ун-т "Харьк. политехн. ин-т", Харьк. гос. акад. ж.-д. трансп, Ин-т сверхтвердых материалов НАН Украины им. В.Н.Бакуля. - Х., 2001. - 304 с.

MODELING OF ALLOWANCE DISTRIBUTION DURING FORMING OF CYLINDRICAL GEAR WHEELS

Volodymyr Melnyk, Ruslan Fyl, Oleksandr Mikishchenko

Abstract. *When forming cylindrical gears, several processing operations are used. Allowances may be applied to processing operations. Methods and programs for the theoretical shaping of cylindrical gears with various parameters of the output contours, both standard and non-standard, as well as with modification, have been developed for the calculation. Theoretical forming is presented, according to the scheme of the rail forming the wheel for different displacement coefficients from $x=-0.3$ to $x=+0.3$. Thus, in order to create the required size and shape of the allowance, when designing a tool for processing a gear wheel, it is necessary to solve the direct and inverse problem of theoretical forming.*

Keywords: *Forming, output contour, main side surface, allowance, spur gear, gear wheel, displacement ratio.*

REFERENCE.

1. Rodyn P. R. Osnovy formoobrazovanyia poverkhnosti rezanyem. – K: Vyshcha shk. 1977. – 192 s.
2. 3D-modelyrovanye ynstrumentov, formoobrazovanyia y syema prypuska pry obrabotke rezanyem / A. Y. Hrabchenko, E. B. Kondusova, A. V. Kryvosheia, N. S. Ravskaia, P. R. Rodyn; red.: P. R. Rodyn; Nats. tekhn. un-t Ukrainy "Kyev. polytekhn. yn-t", Nats. tekhn. un-t "Khark. polytekhn. yn-t", Khark. hos. akad. zh.-d. transp, Yn-t sverkhtverdykh materyalov NAN Ukrainy ym. V.N.Bakulia. - Kh., 2001. - 304 c.

МЕТОДИКА ПРОТОТИПУВАННЯ ПРИСТРОЇВ КЕРУВАННЯ НА БАЗІ ДОДАТКУ OPENPLC

Поляков О. М.¹, Жураковський Б. Ю.²

¹ Інженер-програміст компанії LineUp, студент, Національний технічний
університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

² Професор, кафедри «Інформаційні системи та технології», Національний
технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

Анотація. *Проблемою проектування пристроїв керування на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК) є їх висока вартість і, як правило, недоступність на початковому етапі проектування. Метою дослідження є скорочення часу та вартості проектування системи шляхом створення прототипів блоків керування з програмною реалізацією алгоритмів керування мовами стандарту МЕК 61131-3 та виконанням програм у платі Ардуїно. Метод дослідження полягає в декомпозиції проектних моделей операційних та керуючих автоматів пристрою керування та їх реалізації в програмному середовищі додатку OpenPLC у вигляді компонентів організації програм (POU) на мовах Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD), Sequential Function Chart (SFC), Structured Text (ST) та Instruction List (IL). Результатом дослідження є методика створення типових POU операційних та керуючих автоматів системи керування, які виконуються у платі Arduino. Наведено приклад застосування запропонованої методики для проектування прототипу системи керування температурою об'єкту. Розроблений прототип пройшов випробування з використанням логічного ПЛК та фізичної прототипу, що підтвердило їх функціональну відповідність оригіналу та зниження вартості обладнання як мінімум на порядок.*

Ключові слова: *програмовані логічні контролери, мови програмування контролерів, прототипування систем керування.*

Вступ. Для керування обладнанням та виробничими процесами широко та ефективно застосовуються ПЛК, які є досить дорогим обладнанням [1]. Тому на ранніх стадіях проектування системи доцільно застосування прототипів ПЛК – функціональних аналогів реального ПЛК на базі більш дешевих мікроконтролерів, наприклад плат Ардуїно. Але для програмування ПЛК використовуються спеціальні мови за стандартом МЕК 61131-3 [2], а найбільш

поширені середовища програмування, наприклад Arduino IDE підтримують мову програмування C і тому не застосовні при прототипуванні завдань керування систем з ПЛК.

Відомі програмні продукти для трансформації програм, написаних мовами стандарту MEK 61131-3 в код виконаний у мікроконтролері плати Ардуїно. Наприклад, середовище програмування OpenPLC, що вільно розповсюджується [3]. Компонент цього середовища OpenPLC Editor призначений для введення, редагування, компіляції програмного коду мовами стандарту MEK 61131-3 та симуляції виконання цього коду в логічному ПЛК. Компонент OpenPLC Runtime транслює код, створений в OpenPLC Editor у здійснений код і завантажує його в реальний ПЛК, який підключений до комп'ютера через USB-порт.

Водночас використання OpenPLC для прототипування систем керування утруднене через відсутність методики трансформації проектних моделей системи керування в компоненти POU у цьому середовищі. Таким чином, створення методики прототипування систем керування на основі ПЛК за допомогою мікроконтролерних плат типу Ардуїно є актуальним не вирішеним науково-технічним завданням.

Основний матеріал. Під прототипом зосередженої системи управління на основі ПЛК розумітимемо її функціональний аналог, в якому ПЛК заміщений спрощеною мікроконтролерною платою, при цьому:

- Вихідний код керуючої програми, яка виконується в мікроконтролері плати, написаний мовами програмування за стандартом MEK 61131-3 та функціонально повторює програмний код системи оригіналу.

- До входів та виходів мікроконтролерної плати підключено всі датчики та виконавчі механізми об'єкта керування, які підключені до ПЛК у реальній системі. У прототипі системи сигнали від датчиків та до виконавчих механізмів узгоджені за рівнями та полярністю з каналами мікроконтролерної плати.

- Є таблиця відповідності входів/виходів ПЛК, каналів мікроконтролерної плати та їх адреси у програмі.

- Тимчасові константи у програмі мікроконтролерної плати залежні від тактової частоти процесора узгоджені з константами керуючої програми ПЛК.

- Зв'язку мікроконтролерної плати з персональним комп'ютером через віртуальний СОМ-порт достатньо для перевірки функціональності системи за допомогою її прототипу.

У разі невиконання хоча б однієї з перелічених вимог, говоритимемо про не повну функціональну відповідність прототипа оригіналу. Але, у багатьох випадках, це також корисно, наприклад при навчанні програмуванню ПЛК.

Можливо два варіанти використання прототипування системи керування:

- Спроектowano систему керування на базі ПЛК, але обраний ПЛК фізично не доступний. У цьому випадку прототипування спрощує перевірку правильності алгоритму керування реальним об'єктом чи його макетом.

- Спроектований та протестований прототип системи керування на базі мікроконтролерної плати та макета об'єкта керування. Ця робота спрощує вибір ПЛК.

Вихідними даними для прототипування системи керування є електрична схема системи та моделі операційних та керуючого автоматів, які треба реалізувати у програмно-апаратному комплексі прототипу.

На першому етапі проводиться вибір мікроконтролерної плати з урахуванням необхідної кількості цифрових та аналогових каналів введення/виводу, каналів з ШІМ, оцінюється потреба у додаткових вузлах, які відсутні у платі прототипу. Це можуть бути, наприклад, вузли узгодження входів/виходів прототипу за рівнем та потужністю, додаткові джерела живлення. Багато ПЛК працюють у діапазоні напруги 24 В, а мікроконтролерні плати – у діапазоні 5 В.

На другому етапі проводиться вибір структури та елементів ROU для проекту прототипу керуючої програми. Програма є типом ROU на верхньому рівні організації проекту прототипу. У проекті може бути кілька програм. Операційні автомати реалізуються як функції чи функціональні блоки, а управляючі – як функціональні блоки. Для зв'язку компонентів програми з апаратною частиною мікроконтролерної плати використовуються змінні класів

«вхід» та «вихід». Функціональні блоки описуються у програмі як локальні класи.

На третьому етапі обираються мови програмування для ROU проекту прототипу програми, що управляє. Різні мови стандарту МЕК 61131-3 мають різні ефективності при реалізації компонентів проекту прототипу системи керування. При виборі мови слід перевірити її доступність у планованому ПЛК. Якщо є можливість вибору, то реалізації ОА вибираються ефективні мови ST, FBD, рідше – мова IL. У той же час, КА простіше реалізувати мовою SFC, але можливо і іншими мовами. Таким чином, типова керуюча програма для прототипу системи є мультимовною.

Розглянемо приклад прототипування найпростішої дискретної системи стабілізації температури об'єкта. Об'єкт системи містить датчик температури та нагрівач. За відсутності нагрівання об'єкт остигає, передаючи теплову енергію у зовнішнє середовище. Зовнішнє середовище формує завдання I_1 на температуру об'єкта. Операційний автомат ВхОА порівнює фактичну I_2 і задану I_1 температури та формує події (входи X): «температура менша за завдання», «температура більша за завдання». Ці входи визначають поточний стан керуючого автомата («нагрів» або «охолодження»), в якому формується вихід Y . Операційний автомат ВихОА перетворює цей вихід сигнал керування нагрівачем.

Проект *Prototype* включає функціональні блоки ОА і КА, які виконуються в програмі *LimTemp*. Ця програма реалізує алгоритм керування нагрівом об'єкта системи за якого нагрівання відбувається за умови, що температура об'єкта менша за граничну. Графічне уявлення функціональних блоків ОА, КА та програми *LimTemp* наведено на рис. 1.

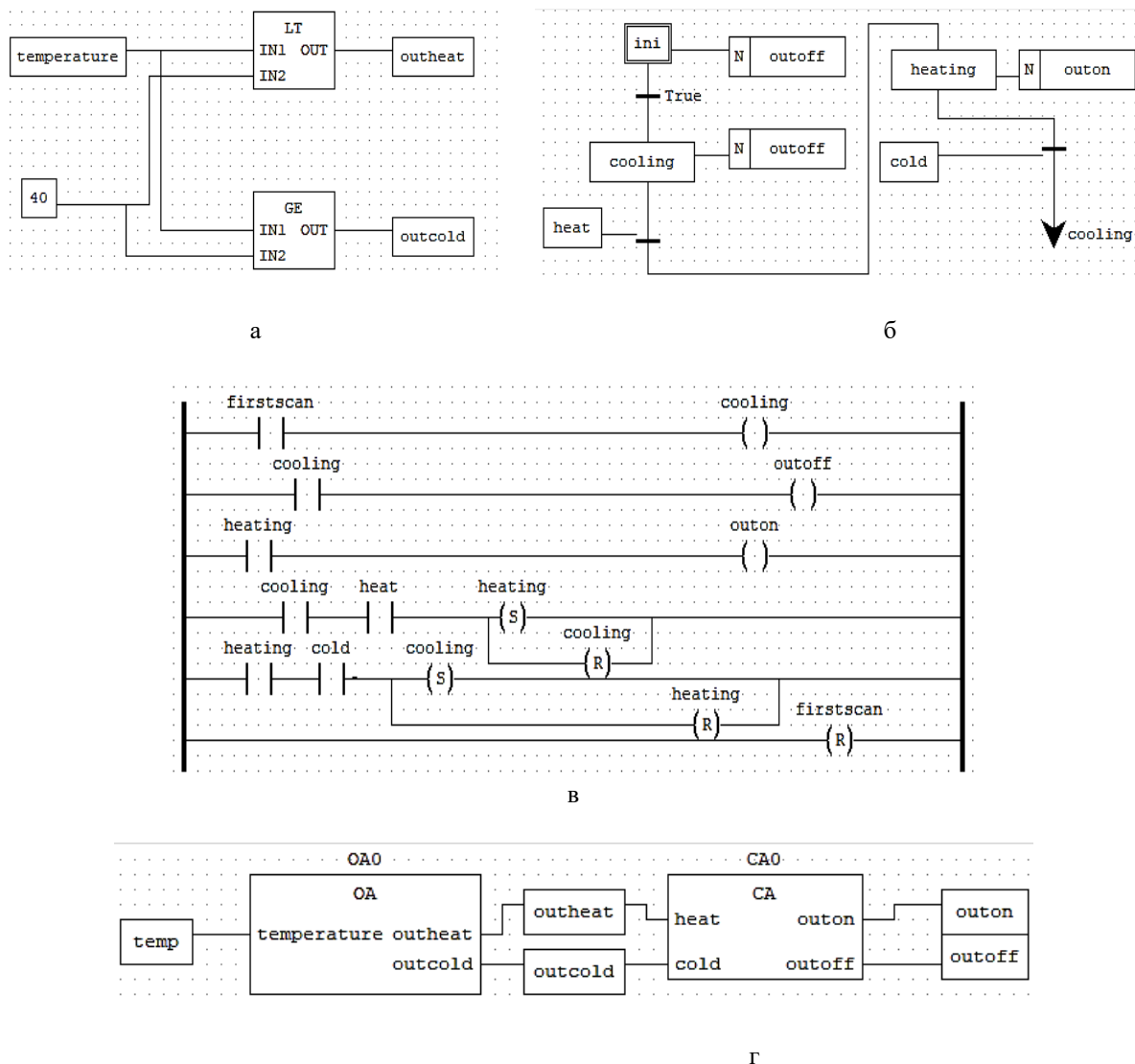


Рисунок 1 – Графічне уявлення POU: а – ОА; б – КА мовою SFC;
в – КА мовою LD; г – програми *LimTemp*.

Перевірка проекту Prototype у середовищі додатку OpenPLC Editor з використанням логічного ПЛК для обох версій автомата КА підтвердила відповідність проекту вимогам системи керування. Бажане значення змінної *temp* встановлювалося у налагоджувачі у вікні "форсувати значення змінної".

Перевірка проекту *Prototype* із виконанням програмного коду в платі Ардуїно, до якої підключено прототипи датчика температури та нагрівача проводилася з використання програм OpenPLC Editor та OpenPLC Runtime. Фактична температура задавалася шляхом нагрівання датчика. При цьому сигнали керування нагріванням індикували світлодіодами і відповідали вимогам системи керування.

Висновки. Основні проблеми проектування та навчання проектуванню систем керування на базі ПЛК – висока вартість та недоступність ПЛК на початковому етапі проектування.

Запропонована методика прототипування дозволяє трансформувати операційні та керуючі автоматів проектних моделей системи керування у компоненти організації програм проекту прототипу системи.

Додаток OpenPLC дозволяє ефективно розробляти та тестувати проекти прототипів у мультимовному середовищі мов програмування ПЛК за стандартом MEK 61131-3.

Приклад прототипування системи обмеження нагріву виконано з використанням доступних мікроконтролерних плат Ардуїно та реалізації операційних та керуючих автоматів графічними мовами LD, SFC, FBD. Проведене тестування розробленого прототипу за допомогою логічного ПЛК та фізичного макета підтвердило його функціональну відповідність оригіналу та зниження, як мінімум, на порядок витрат на обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Parr, E. A. Programmable Controllers. An engineer's guide / E. A. Parr. 3rd ed. – Oxford: Newnes, 2003. – 429 p.
2. IEC 61131-3, Revision 3.0, February 2013 - Programmable controllers – Part 3: Programming languages. Published By: International Electrotechnical Commission (IEC). – 468 p.
3. OpenPLC Overview – Autonomy (autonomylogic.com) [Electronic resource]– Access mode: <https://autonomylogic.com/docs/openplc-overview/>

METHOD OF PROTOTYPING CONTROL UNITS BASED ON THE OPENPLC APPLICATION

Oleksii Poliakov, Bohdan Zhurakovskiy

Abstract. *The problem of designing control devices based on programmable logic controllers (PLCs) is their high cost and, as a rule, unavailability at the initial design stage. The purpose of the research is to reduce the time and cost of designing the system by creating prototypes of control units with the software implementation of control algorithms in the languages of the MEK 61131-3 standard and the execution of programs in the Arduino board. The research method consists in the decomposition of project models of operating and control automata of the control device and their implementation in the software environment of the OpenPLC application in the form of program*

organization components (POU) in Ladder Diagram, Function Block Diagram, Sequential Function Chart and Structured Text languages. The result of the study is a method of creating typical POU operating and control automata of the control system, which are executed in the Arduino board. An example of the application of the proposed methodology for the design of a prototype of the facility's temperature control system is given. The developed prototype was tested using a logical PLC and a physical prototype, which confirmed their functional compliance with the original and a reduction in the cost of the equipment by at least an order of magnitude.

Keywords: *programmable logic controllers, controller programming languages, control system prototyping.*

REFERENCE

1. Parr, E. A. Programmable Controllers. An engineer's guide / E. A. Parr. 3rd ed. – Oxford: Newnes, 2003. – 429 p.
2. IEC 61131-3, Revision 3.0, February 2013 - Programmable controllers – Part 3: Programming languages. Published By: International Electrotechnical Commission (IEC). – 468 p.
3. OpenPLC Overview – Autonomy (autonomylogic.com) [Electronic resource]– Access mode: <https://autonomylogic.com/docs/openplc-overview/>

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРИНГУ ЗМІН ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Кавац О.О.¹, Кавац Ю.В.¹, Рой Д.М.¹

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. Поверхневі води є частиною екосистемних послуг різних країн світу, переважно призначених для побутового, промислового та сільськогосподарського використання, виробництва продуктів харчування, електроенергії (гідроенергетики), отримання лікарських речовин та інших матеріалів з біоти, організації місць відпочинку та рекреації. Сезонний моніторинг рівня поверхневих вод дозволяє отримати якісну характеристику та кількісну оцінку змін гідрологічної екосистемної служби внаслідок змін клімату, антропогенних впливів. У цьому зв'язку важливу роль грають технології оперативного моніторингу динаміки змін водних об'єктів.

Ключові слова. водні об'єкти, динаміка змін, супутниковий моніторинг, геопросторові зображення, методи ДЗЗ.

Вступ. Сучасні методи обробки та аналізу супутникових даних дозволяють вирішувати в тому числі і прикладні задачі екологічного супутникового моніторингу. Глобальні кліматичні зміни, що спричиняють більш часті та тривалі «теплові хвилі», а також зміни кількості опадів та сезонності можуть суттєво вплинути на баланс водних ресурсів у різних країнах. Повені є одними з найбільш руйнівних стихійних лих. Згідно з базою даних «Історичний аналіз небезпечних природних катастроф в Європі» (HANZE), раптові повені спричиняють 56% усіх стихійних лих, пов'язаних із погодою. Ще однією проблемою є зміна водного балансу річок та їх часткове пересихання. В Україні через глобальне потепління вперше за 120 років спостережень у 2020 році не настала метеорологічна зима. З 2014 року опадів випадає в середньому на 10% менше норми. Через нестачу опадів в осінньо-зимовий період зменшуються запаси вологи в ґрунті. У результаті водність річки під час весняної повені є такою ж, як і мала б бути в літні місяці – в середньому на 20% нижчою. Спекотна погода вимагає посиленого зрошення сільськогосподарських культур поблизу річок. За даними Всесвітньої ділової ради зі сталого розвитку (WBCSD) і Продовольчої та сільськогосподарської

організації ООН (FAO), на сільськогосподарський сектор припадає приблизно 70% загального водозабору в усьому світі. В Україні втрати води через неефективні технології поливу становлять до 80%. Надмірний забір поверхневих вод для зрошення сільськогосподарських угідь, а також незаконне будівництво дамб має різноманітні наслідки. Стік річки порушується, дно річки замулюється, водойма перетворюється на болото.

Основна частина. Стан річок в Україні з кожним роком погіршується, катастрофічно обмілили річки в басейні Дніпра. Рівень води в Десні досяг мінімуму за 140 років спостережень. Річка Случ була знищена будівництвом міні-ГЕС, що перетворило її на ланцюг стоячих ставків. Сучасна тенденція до зниження водності Дніпра призведе до втрати половини його ресурсів за 50 років. В даний час через низький рівень води в Дніпрі слабшає стік, вода застоюється і заболочується на прибережних мілководдях, заростає рослинністю, під якою через нестачу розчиненого кисню гине підводна фауна. Саме тому оцінка динаміки змін поверхневих водних об'єктів є актуальною. За допомогою даних дистанційного зондування Землі можна швидко отримувати інформацію динаміки змін водних об'єктів. Основна перевага яку має супутниковий моніторинг, це своєчасно отримання інформації в важкодоступних місцях на великих територіях. Отже постає актуальна задача у розробці інформаційної технології моніторингу водних об'єктів за супутниковими даними.

Супутниковий моніторинг поверхневих вод на основі геопросторових зображень включає: отримання даних, класифікація даних, що відповідають водній поверхні, просторово-часовий аналіз виділених даних, оцінка точності виділення поверхневих вод на геопросторових зображеннях. Виділення даних водної поверхні з геопросторових зображень. Більшість методів виділення поверхневих вод з зображень базуються на відбивній здатності води, що є набагато меншою в порівнянні з іншими типами земного покриття в інфрачервоних каналах. Методи виділення змін водної поверхні з геопросторових зображень поділяють [1-3, 6] на три категорії: методи на основі спектральних діапазонів, методи контрольованої класифікація на основі

методів машинного навчання, методи неконтрольованої класифікації на основі індексів води. При проведенні аналізу часто використовується комбінація декількох методів, тому використання методів не є взаємовиключними. Методи на основі спектральних діапазонів визначають водні об'єкти шляхом застосування порогових значень до однієї або кількох спектральних смуг, легко реалізувати, але часто неправильно класифікують гірські тіні, міські райони або інший фоновий шум [2-6]. Методи на основі спектральних індексів поєднують два або більше спектральних діапазонів, використовуючи різні алгебраїчні операції, щоб збільшити розбіжність між поверхнями води та ґрунту. Використання індексів води є простим та ефективним способом виділення поверхні води, що розраховуються з використанням даних двох або більше колірних діапазонів, для диференціювання водних та неводних територій [6].

Висновки. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку та валідацію інформаційної технології супутникового моніторингу динаміки змін водних об'єктів з використанням різномірних даних середнього просторового розрізнення. Залучення супутникових зображень середнього просторового розрізнення, дозволить проводити моніторинг з високою частотою та провести порівняльний аналіз змін за останні десять років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Lu D., Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of Remote sensing*. – 2007. – Т. 28. – №. 5. – С. 823-870
2. Su Z., Yacob A., Wen J., Roerink G., He Y., Gao B. Voogaard H., van Diepen C. Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. – 2003. – Т. 28. – №. 1-3. – С. 89-101.
3. Crétaux J.F., Jelinski W., Calmant S., Kouraev A., Vuglinski V., Bergé-Nguyen M., Gennero M.-C., Nino F., Del Rio Abarca R., Cazenave A. SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data. *Advances in space research*. – 2011. – Т. 47. – №. 9. – С. 1497-1507.
4. Andres L., Boateng K., Borja-Vega C., Thomas E. A review of in-situ and remote sensing technologies to monitor water and sanitation interventions. *Water*. – 2018. – Т. 10. – №. 6. – С. 756.
5. Jain S. K., Singh V. P. *Water resources systems planning and management*. – Elsevier, 2003.

6. Критська Я.О., Білобородова Т.О. Дослідження методів обробки та аналізу геопросторових зображень для віддаленого моніторингу поверхневих вод. - Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля No 1 (271) 2022, стр.11-17.

ANALYSIS OF METHODS OF SATELLITE MONITORING OF CHANGES IN WATER BODIES

Olena Kavats, Yurii Kavats, Dmytro Roi

Abstract. *Surface waters are part of the ecosystem services of various countries of the world, mainly intended for domestic, industrial and agricultural use, production of food, electricity (hydropower), obtaining medicinal substances and other materials from biota, organization of places of rest and recreation. Seasonal monitoring of the level of surface water allows obtaining a qualitative characteristic and quantitative assessment of changes in the hydrological ecosystem service as a result of climate changes and anthropogenic influences. In this regard, technologies for operational monitoring of the dynamics of changes in water bodies play an important role.*

Keywords: *water bodies, dynamics of changes, satellite monitoring, geospatial images, remote sensing methods*

REFERENCE.

1. Lu D., Weng Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. International journal of Remote sensing. – 2007. – T. 28. – №. 5. – C. 823-870
2. Su Z., Yacob A., Wen J., Roerink G., He Y., Gao B. Voogard H., van Diepen C. Assessing relative soil moisture with remote sensing data: theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. – 2003. – T. 28. – №. 1-3. – C. 89-101.
3. Crétaux J.F., Jelinski W., Calmant S., Kouraev A., Vuglinski V., Bergé-Nguyen M., Gennero M.-C., Nino F., Del Rio Abarca R., Cazenave A. SOLS: A lake database to monitor in the Near Real Time water level and storage variations from remote sensing data. Advances in space research. – 2011. – T. 47. – №. 9. – C. 1497-1507.
4. Andres L., Boateng K., Borja-Vega C., Thomas E. A review of in-situ and remote sensing technologies to monitor water and sanitation interventions. Water. – 2018. – T. 10. – №. 6. – C. 756.
5. Jain S. K., Singh V. P. Water resources systems planning and management. – Elsevier, 2003.
6. Kritska Ya.O., Biloborodova T.O. Research of methods of processing and analysis of geospatial images for remote monitoring of surface waters. - Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl No. 1 (271) 2022, pp. 11-17.

AUTOMOTIVE PARTS DESIGN SOFTWARE

Rudyk O., Banashko A., Lynnyk R.

Khmelnytskyi National University, Ukraine

Abstract. *The informative and programmatic providing of processes of проектування details of cars is the application of computer-aided design considered on an example for automation of works of industrial enterprise on the stages of designer and technological preproduction of SolidWorks and her addition of SolidWorks Simulation for possibility of replacement of expensive and scarce steel of 18HGT for making of cog-wheel of billow of back bridge of car UAZ-31512 on more cheap and more accessible in repair shops steel 45. After reassignment of material to the cog-wheel of billow conducted her fixing and appendix of loading. Conducted dividing of model of cog-wheel of billow the repeated calculations into eventual elements; resulting forces and moments defined; built the matrix of inflexibility, carried out the synthesis of certainly-element model taking into account the terms of her fixing in key points and untied the got system of equalizations of algebra; components of the stress-deformation state of model defined.*

Keywords: *car, rear axle, gear shaft, material replacement, SolidWorks Simulation.*

Among all information technologies a computer-aided design occupies the special place. Next to the use of CAE-systems (Computer-aided engineering) automation of engineering calculations and analysis of CAD-systems (Computer-Aided Design) is used automated designing. Data from CAD-systems are sent to CAM-systems (Computer-aided manufacturing) of computer-assisted preproduction. The common name of such programs is automated design systems (ADS) or CAD/CAM/CAE-systems designs[1]. One of the most common tools used by ADS and 3D modeling is the SolidWorks software [2, 3]. The package allows you to create parts for future 3D printing. This protects the designer from errors that inevitably appear in the process of drawing product projections manually.

The main purpose of SolidWorks is to provide an end-to-end process of design, engineering analysis and preparation for the production of products of any complexity and purpose, including the creation of interactive documentation and the provision of data exchange with other systems.

One fully computer-integrated from SolidWorks the program there is the system of analysis of constructions of SolidWorks Simulation, which provides the decision of design linear and nonlinear static and dynamic analyses; to the analysis

of frequency, firmness, temperature, fatigue; tests on the shock loading, and also to the analysis of optimization.

As an example, the authors of the system [4] using SolidWorks Simulation conducted a static analysis of the gear-shaft (steel 18KHGT GOST 4543-71) of the rear axle of the UAZ-31512 car. DIN 1.7147 steel (20MnCr5 – analogue of 18KHGT steel) was selected from the SolidWorks library. When analyzing the simulation results, it was established that the minimum safety factor of the gear-shaft is $n_{\min} = 3.021$, which is much more than the permissible $[n] = 1.5$. Therefore, the purpose of this work was to determine the possibility of replacing this material with a cheaper and more accessible one in repair shops, for example, steel 45 (its analogue is AISI 1045 Steel, cold drawn).

After reassigning the gear-shaft material, the model was fixed and loads were applied to it (fig. 1). By repeated calculations in SolidWorks Simulation:

- split the gear-shaft model into finite elements (fig. 2);
- determined the resulting forces and moments (fig. 3);
- constructed a stiffness matrix, synthesized a finite-element model taking into account the conditions of its fixation at nodal points;

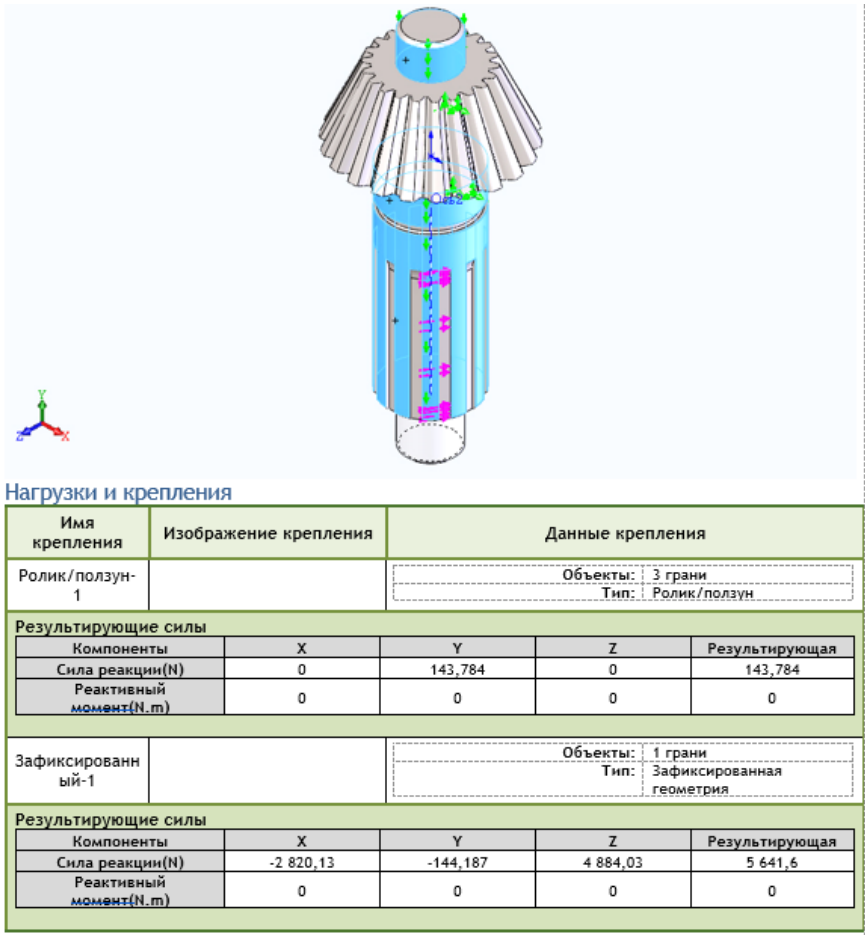


Figure 1 - Fixing the gear-shaft model and applying loads to it

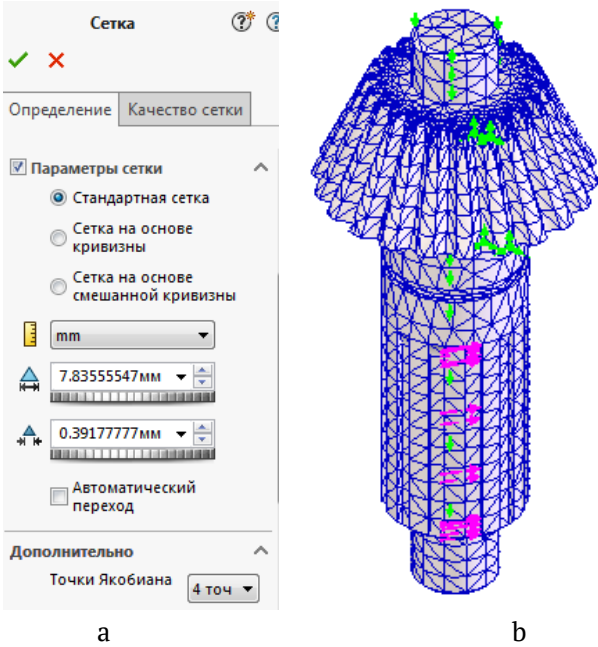


Figure 2 - Grid parameters (a) and its display on the gear-shaft model (b)

Силы реакции

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N	-2 820,13	-0,401657	4 884,03	5 639,76

Моменты реакции

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N.m	0	0	0	0

Силы свободных тел

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N	-0,749229	-0,088512	9,01292	9,04444

Моменты свободных тел

Выбранный набор	Единицы	Сумма X	Сумма Y	Сумма Z	Результирующая
всей модели	N.m	0	0	0	1e-33

Figure 3 - Resultant forces and moments

- solved the resulting system of algebraic equations;
- determined the components of the stress-strain state of the gear-shaft model (fig. 4).

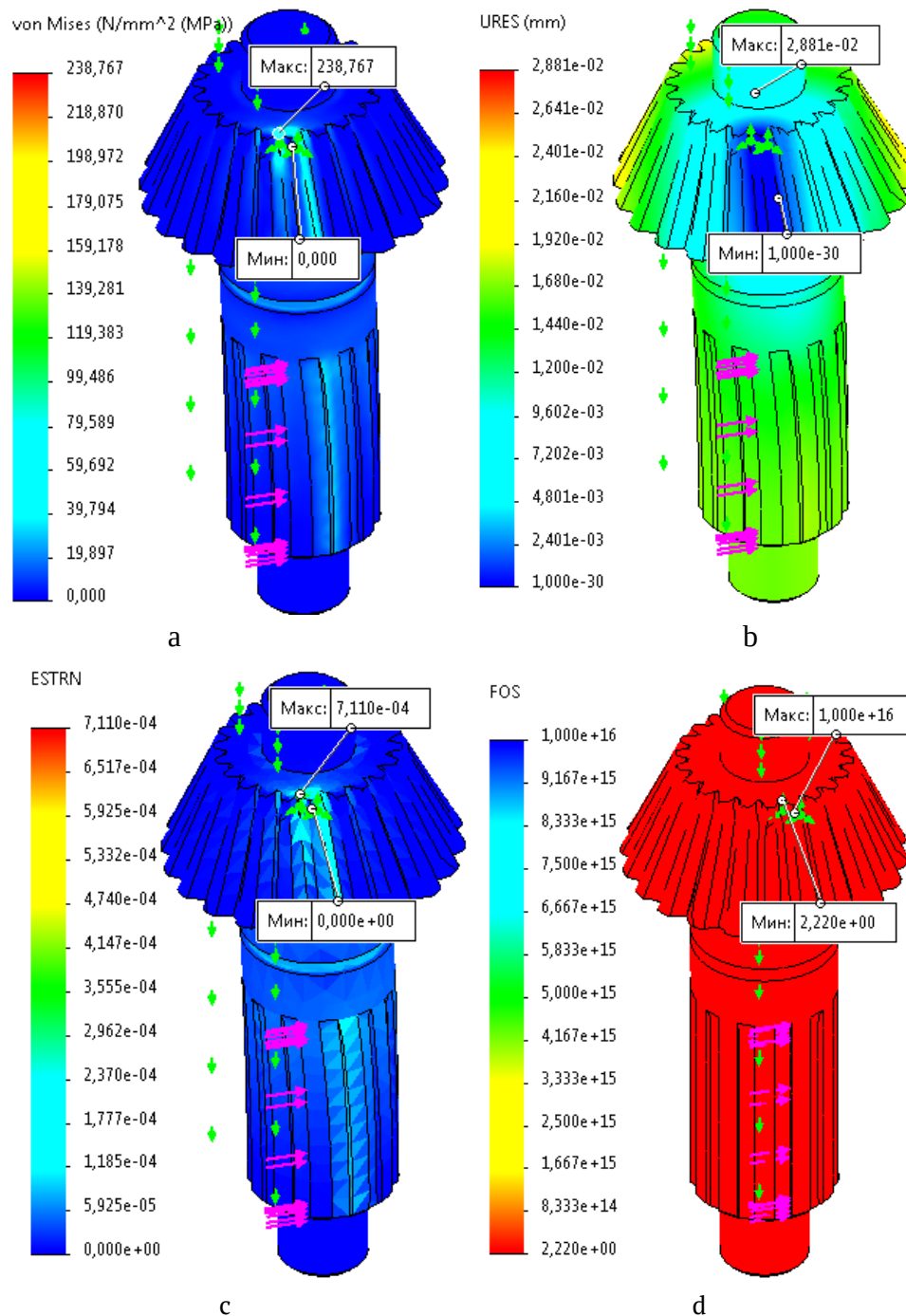


Figure. 4 - Plots of summary von Mises stresses (a), displacements URES (b), equivalent strains ESTRN (c), margin of safety FOS of the gear-shaft

Since the minimum margin of safety for a gearshaft made of steel 45 is $n = 2.22$, in the case of replacing steel 18KhGT with the manufacture of a gear shaft made of steel 45, the margin of safety is sufficient.

REFERENCES / ЛІТЕРАТУРА

1. Rudyk O.Yu. SolidWorks – CAD/CAE-система технічних вузів / O. Yu. Rudyk, P. V. Kaplun // Science, society, education: topical issues and development prospects. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. – Kharkiv, Ukraine, 2020. – Pp. 249-253. – URL: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8631>
2. Rudyk O. Yu. SolidWorks as an innovative means for studying the disciplines of automobile profile / O. Yu. Rudyk, O. V. Dykha // “System technologies” 3 (128) 2020. – Pp. 21-35. – URL: <https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st/article/view/178>
3. Rudyk O. The use of SolidWorks for the training of highly qualified specialists / O. Rudyk, P. Kaplun, V. Gonchar // Actual problems in the education system: general secondary education institution – pre-university training – higher education institution: coll. of science Proceedings of the VIII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference, February 17, 2022, Kyiv, National Aviation University. – K.: NAU, 2022. – P. 699-706. – URL: <https://jrnل.nau.edu.ua/index.php/APSE/issue/view/879>
4. Rudyk O. Yu. Application of information technologies in the study of vehicles / O. Yu. Rudyk, D. L. Pershko // Materials Vseukr. science and practice Internet Conf. "Resource-oriented learning in higher education: problems, experience, prospects" / incl. N. V. Kononets, V. O. Balyuk. – Poltava: AKUP PDAA, 2016. – С. 126-130. – URL: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8559>

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЄКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ

Рудик О.Ю., Банашко Андрій Володимирович Линник Роман Олександрович

Хмельницький національний університет, Україна

Abstract. Інформаційне та програмне забезпечення процесів проєктування деталей автомобілів розглянуте на прикладі застосування системи автоматизованого проєктування для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва SolidWorks та її додатка SolidWorks Simulation для можливості заміни дорогої та дефіцитної сталі 18ХГТ для виготовлення вал-шестерні заднього моста автомобіля УАЗ-31512 на дешевшу і доступнішу у ремонтних майстернях сталь 45. Після перепризначення матеріалу вал-шестерні провели її закріплення та прикладення навантажень. Повторними розрахунками провели розділення моделі вал-шестерні на скінченні елементи; визначили результуючі сили та моменти; побудували матрицю жорсткості, здійснили синтез скінченно-елементної моделі з урахуванням умов її закріплення у вузлових точках і розв'язали одержану систему алгебраїчних рівнянь; визначили компоненти напружено-деформівного стану моделі.

Keywords: *автомобіль, задній міст, вал-шестерня, заміна матеріалу, SolidWorks Simulation.*

РЕФАКТОРИНГ КРОС-ПЛАТФОРМНИХ ЗАСТОСУНКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Сирота О. А., Горячкін В.М.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. У сфері розробки програмного забезпечення продуктивність рефакторингу коду збільшується завдяки використанню штучного інтелекту (ШІ). У процесі рефакторингу можна використовувати такі методи ШІ, як машинне навчання (ML), обробка природної мови (NLP) та генетичні алгоритми (GA). Кожен з методів має певний вплив на процес, як позитивний так і негативний. Зважаючи на це робота, що виконується ШІ, вимагає ретельного управління, щоб уникнути ряду проблем, наприклад "галюцинацій". Дослідження продовжують вивчати нові методи, оцінювати порівняльну ефективність та оптимізувати моделі ШІ для конкретних фреймворків і мов.

Ключові слова: рефакторинг, розробка, код, крос-платформні застосунки, штучний інтелект, машинне навчання, обробка природної мови, генетичний алгоритм.

У сучасному світі взаємодія з різними додатками, розробленими для різних операційних систем і платформ, стала важливою частиною життя людей. Мова йде про додатки для Web, iOS, Android, MacOS, Windows і Linux, які використовуються користувачами в різних напрямках діяльності, таких як онлайн-покупки, замовлення доставки їжі, навчання, вирішення юридичних питань, керування "розумним" будинком або автомобілем і звичайно також розваги, такі як фільми і телепередачі. Розповсюдженим підходом до розробки таких додатків є використання крос-платформних технологій, що підтримують згадані платформи і переваги цього очевидні: швидка розробка, спільна база коду для різних платформ і порівняно нижчі витрати, ніж при нативній розробці. Даний підхід в розробці приваблює бізнес, бо задовольняє нагальні потреби.

Нажаль наведених переваг недостатньо для розробки насправді якісного програмного забезпечення. Існує багато факторів які в тій чи іншій мірі супроводжують процес розробки і негативно на нього впливають: недостатній рівень майстерності розробників, невдалий менеджмент, брак необхідних ресурсів, часта зміна вимог до майбутнього продукту, тощо. Слід мати на увазі,

що крос-платформні технології самі по собі також можуть мати певні недоліки як от помилки, проблеми в підтримці деякого функціоналу притаманного одній платформі та непритаманного іншій. Вище перераховані причини в результаті призводять до значного погіршення якості застосунку на виході. Можна виділити наступні проблеми:

- вихідний код поганої якості;
- недостатній рівень продуктивності програми, що виражається в повільній роботі інтерфейсу користувача, зависаннях, замалій кількості відрисованих кадрів за одиницю часу;
- надмірне використання пам'яті під час виконання, що призводить до екстреного завершення роботи;
- реалізація нового функціоналу займає непропорційно багато часу, через складнощі розуміння наявного коду;
- ріст команди розробників не достатньо впливає або майже не впливає на швидкість розробки в цілому;
- вартість реалізації програми невпинно зростає.

Розповсюдженням інструментом покращення внутрішньої структури коду без зміни бізнес-логіки є рефакторинг. Він поліпшує читабельність, спрощує обслуговування та розширення функцій, допомагає усунути технічні заборгованості, підвищує продуктивність і сприяє дотриманню стандартів кодування. В залежності від проекту застосування такого інструменту може бути досить складним процесом, особливо якщо мова йде про застарілий код та складний програмний продукт. Сприйняття великого обсягу коду для розробника є складною задачею, особливо коли це відбувається в процесі рефакторингу, бо крім розуміння всієї картини та утримання в розумі складного та запутаного коду необхідно думати яким чином та в яких модулях мають бути внесені зміни. Слід зазначити, що нерідко це може призвести до появи нових помилок в функціональності, проблем сумісності або створення нових неефективних структур коду. В якийсь момент це може стати непосильним завданням через те, що це потребує значних ресурсів у вигляді часу та кількості розробників. Враховуючи те, що обробка коду, виявлення проблем, їх виправлення виконується вручну і вимагає повторного тестування, а успішність процесу безпосередньо залежить від рівня професійності

програміста – це є додатковими витратами для бізнесу. В гіршому випадку проект може закритись. Проте поява штучного інтелекту знаменує зміну всієї парадигми і обіцяє більш ефективний підхід.

Штучний інтелект з його можливостями надшвидкого предиктивного аналізу та обробки великих обсягів даних може використовуватись, щоб значною мірою автоматизувати процес рефакторингу коду. Підхід на основі штучного інтелекту полягає в тому, що інструменти ШІ проводять аналіз різного за обсягом коду, виявляють архітектурні помилки, порушення загальноприйнятих принципів програмування, такі як повторювані шаблони та автоматично проводять рефакторинг або пропонують можливі рішення розробнику [0]. В залежності від налаштувань інструментарію залученість розробників може бути як мінімум двох видів:

- ітеративний контроль роботи ШІ – ознайомлення з варіантами рішень, запропонованих ШІ інструментом та погодження чи відхилення його використання;
- конфігурація вхідних та перевірка вихідних даних – надання проекту для рефакторингу та додаткових конфігурацій, що впливають на цей процес та огляд результатів роботи ШІ;

Незалежно від обраного варіанта відбувається заощадження ресурсів в значній мірі.

В даному дослідженні розглядається декілька методів ШІ, які можна використовувати в процесі рефакторингу. До них можна віднести машинне навчання (ML), обробка природної мови (NLP) і генетичні алгоритми (GA). ML – це важлива підгалузь ШІ, яка навчена на наявних даних та попередніх результатах для прогнозування потенційних можливостей та наслідків в процесі рефакторингу. Базуючись на минулих результатах, моделі ML можуть виявляти закономірності та робити обґрунтовані прогнози щодо того, де рефакторинг може знадобитися в майбутньому [0]. NLP – це технологія ШІ, яка використовується для розуміння семантики коду та генерації рекомендацій щодо його покращення в контексті читабельності. Це стає в нагоді коли розробникам доводиться працювати з застарілими або заплутаними системами, логіку коду яких дуже важко зрозуміти людині [0].

GA – це евристичний метод пошуку, який базується на принципах природної еволюції та вмiє генерувати сукупність рішень для рефакторингу, аналізувати їх і обрати найбільш оптимальне на основі попередньо визначених критеріїв. Це надає можливість забезпечити вибір найбільш коректного рішення, враховуючи такі критерії як ефективність, розуміння, зручність внесення змін до коду [0].

Гарними прикладами використання описаних вище методів слугують такі розробки як GitHub Copilot або SapFix. SapFix – це гібридний інструмент Facebook що, може скоротити час налагодження для інженерів і прискорити розгортання нового програмного забезпечення. Він може автоматично пропонувати виправлення помилок для затвердження і був використаний для прискорення оновлення коду в додатку Facebook [0]. GitHub Copilot – це асистент кодування зі штучним інтелектом, розроблений Microsoft та OpenAi, який надає підказки, допомагаючи вам писати код більш ефективно. Він може доповнювати рядки або блоки коду, надавати поради щодо вирішення проблем, пояснювати як працює наявний код та проводити рефакторинг [0].

Підсумовуючи можна сказати, що рефакторинг із застосуванням ШІ дійсно впливає на продуктивність та якість цього процесу, шляхом застосування різних алгоритмів та зменшення залученості розробників. Проте важливим є той факт, що даний інструментарій все ще має певні проблеми та помилки і вимагає контролю з боку програмістів. Існує така проблема, що зветься “ШІ-галюцинація”, яка є прикладом проблеми яку не можна ігнорувати [0]. Крім цього постають питання який з методів ШІ треба використовувати, як цей вибір залежить від типу проекту чи вимог до нього та як це впливає на кінцевий результат.

Дослідження в цьому напрямку зосереджене на вивченні можливостей нових методів рефакторингу, що формуються через появу ШІ, проведенні порівняльних досліджень для оцінки ефективності підходів та оптимізації моделей штучного інтелекту для певних фреймворків та відповідних мов програмування.

ЖИТЕПАТҮПА / REFERENCE

1. IBM. 9 ways developer productivity gets a boost from generative AI. URL: <https://www.ibm.com/blog/developer-productivity/>
2. IBM. What is machine learning (ML)? URL: <https://www.ibm.com/topics/machine-learning>
3. IBM. What is natural language processing (NLP)? URL: <https://www.ibm.com/topics/natural-language-processing>
4. Autoblocks. Genetic algorithm (GA). URL: <https://www.autoblocks.ai/glossary/genetic-algorithm>
5. Engineering at Meta. Finding and fixing software bugs automatically with SapFix and Sapienz. URL: <https://engineering.fb.com/2018/09/13/developer-tools/finding-and-fixing-software-bugs-automatically-with-sapfix-and-sapienz/>
6. GitHub Docs. About GitHub Copilot. URL: <https://docs.github.com/en/copilot/about-github-copilot>
7. IBM. What are AI hallucinations? URL: <https://www.ibm.com/topics/ai-hallucinations>

REFACTORING CROSS-PLATFORM APPLICATIONS

USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Oleksandr Syrota, Horiachkin Vadym,

Abstract. *In software development, the productivity of code refactoring is increased by the use of artificial intelligence (AI). AI methods such as machine learning (ML), natural language processing (NLP), and genetic algorithms (GA) can be used in the refactoring process. Each method has a certain impact on the process, both positive and negative. With this in mind, the work performed by AI requires careful management to avoid a number of problems, such as "hallucinations". Research continues to explore new methods, evaluate comparative effectiveness, and optimize AI models for specific frameworks and languages.*

Keywords: *refactoring, development, code, cross-platform applications, artificial intelligence, machine learning, natural language processing, genetic algorithm.*

ПРОБЛЕМИ МАСШТАБОВАНOSTІ В РОЗПОДІЛЕНІЙ ОБРОБЦІ ДАНИХ ДЛЯ ТУМАННИХ ІТ-ІНФРАСТРУКТУР

Цвіркун Л.І.¹ Соболевський І.О.²

¹ к.т.н., доцент, Національний технічний університет

«Дніпровська політехніка», Україна

² аспірант, Національний технічний університет

«Дніпровська політехніка», Україна

Анотація. У цій роботі розглядаються питання масштабованості в розподіленій обробці даних для туманних ІТ-інфраструктур. Аналіз визначив великі обсяги даних, перевантаження мережі, неоднорідність пристроїв і нестабільність мережі як ключові проблеми. Розглядаються можливі наступні кроки, такі як впровадження ефективних стратегій і використання новітніх технологій для вирішення цих проблем. Вносяться пропозиції щодо вдосконалення туманної ІТ-інфраструктури шляхом впровадження інноваційних рішень та досліджень у цій галузі. Наголошується необхідність інтегрованого підходу та співпраці між науковцями та практиками для подолання проблем масштабованості в туманних ІТ-інфраструктурах. Крім того, звертається увага на важливість безпеки даних у контексті туманної ІТ-інфраструктури та необхідність розробки відповідних заходів для її забезпечення.

Ключові слова: розподілена обробка даних, туманні обчислення, проблеми масштабованості, перевантаження мережі, управління ресурсами, гетерогенні пристрої, нестабільність мережі, проблеми збору даних, інноваційні рішення, технологічні досягнення, спільні дослідження, оптимізація ІТ-інфраструктури.

Вступ

Проблема масштабованості в розподіленій обробці даних для туманних ІТ-інфраструктур виникає у зв'язку зі зростанням обсягу даних, які обробляються та передаються у таких середовищах. Зі збільшенням кількості пристроїв, що забезпечують збір та обробку даних, стає необхідним розробляти ефективні стратегії та механізми керування ними.

Однією з ключових проблем є великий обсяг даних, який може призвести до перевантаження мережі та обчислювальних ресурсів. При великій кількості даних може виникати проблема недостатньої пропускної здатності мережі, а також високої завантаженості серверів, що може вплинути на їхню

продуктивність. Локалізована обробка даних на кожному пристрої в туманних мережах може призвести до нерівномірного розподілу навантаження та недостатньої ефективності обробки. При цьому можуть виникати проблеми з неоднорідністю в обробці даних на різних пристроях, що може призвести до втрати консистентності та недостовірності результатів. Управління ресурсами в таких інфраструктурах може бути складним завданням через велику кількість пристроїв та їхню гетерогенність. Для ефективного використання ресурсів необхідно розробляти розумні алгоритми та стратегії, які б враховували специфіку туманного середовища та потреби додатків. Збільшення кількості точок доступу та передачі даних у туманних інфраструктурах підвищує ризик компрометації конфіденційності та цілісності інформації. Нестабільність мережі та можливі збої у спробах розподіленої обробки даних можуть призвести до втрати даних та порушення сервісу [1, 2].

Розв'язання цих проблем потребує ретельного аналізу та розробки ефективних стратегій керування даними, вдосконалення мережевих технологій та засобів безпеки, а також розробки надійних механізмів моніторингу та управління для забезпечення стабільності та надійності розподіленої обробки даних у туманних IT-інфраструктурах.

Для вирішення проблеми масштабованості в розподіленій обробці даних для туманних IT-інфраструктур потрібно розглянути різноманітні підходи та стратегії. Один із можливих напрямів – це використання розподілених систем керування базами даних, які дозволяють ефективно керувати великим обсягом даних та розподіленістю обробки. Такі системи можуть автоматично розподіляти навантаження між серверами, оптимізувати запити та забезпечувати високу доступність даних. Додатковим рішенням може бути використання технологій контейнеризації та оркестрації, таких як Docker та Kubernetes. Вони дозволяють легко масштабувати і розгортати додатки в різних середовищах, а також автоматизувати процеси управління та моніторингу. Крім того, важливо розглянути можливості оптимізації мережевого трафіку та використання кешування даних для зменшення навантаження на мережу та сервери. Техніки стиснення даних та розподіленої обробки можуть допомогти

знизити обсяг передаваних даних та збільшити швидкість їхньої передачі. Важливим елементом є також забезпечення високого рівня безпеки даних. Для цього можна використовувати шифрування даних, аутентифікацію та авторизацію, а також моніторинг та аудит доступу до інформації [1, 3].

Великий обсяг даних та перевантаження мережі

Однією з головних проблем, що виникають у контексті масштабування розподіленої обробки даних для туманних IT-інфраструктур, є великий обсяг даних та його наслідки на роботу мережі. Зі зростанням кількості підключених пристроїв та обсягу збираємих даних збільшується навантаження на мережеву інфраструктуру.

Великий обсяг даних призводить до збільшення мережевого трафіку, що може викликати перевантаження комунікаційних каналів та мережевих вузлів. Це може призвести до зниження швидкості передачі даних, затримок у доставці інформації та загального погіршення продуктивності мережі.

Підвищення навантаження на мережу може також вплинути на якість обслуговування (Quality of Service – QoS) для окремих додатків або послуг. Велика кількість одночасних запитів на дані може призвести до конфліктів у використанні ресурсів мережі та затримок у відповіді на запити [1, 4].

Навантаження на сервери та його вплив на продуктивність

Підвищений обсяг даних, який обробляється в туманних IT-інфраструктурах, також може призвести до перевантаження серверів. Постійне збільшення обсягу даних, що обробляються, може вимагати додаткових обчислювальних ресурсів для їх ефективної обробки.

Перевантаження серверів може викликати збільшення часу відповіді на запити, зниження загальної продуктивності системи та збільшення ризику виникнення простоїв. Для подолання цих проблем необхідно розглянути можливості оптимізації роботи серверів, використання швидкодіючих обчислювальних систем та розподіл навантаження між різними вузлами мережі [2, 3].

Нерівномірний розподіл навантаження та неоднорідність в обробці даних

Однією зі складнощів, що супроводжують масштабування розподіленої обробки даних в туманних IT-інфраструктурах, є нерівномірний розподіл навантаження між пристроями та неоднорідність в обробці даних.

В туманних мережах можуть бути пристрої з різними характеристиками та рівнями продуктивності. Це може призвести до ситуації, коли деякі пристрої надзвичайно завантажені, тоді як інші можуть залишатися недостатньо використаними. Нерівномірний розподіл навантаження може призвести до перевантаження деяких пристроїв, що може вплинути на їхню продуктивність та знизити ефективність обробки даних [4, 5].

Крім того, неоднорідність у характеристиках пристроїв може вплинути на консистентність та надійність обробки даних. Різні швидкості обробки на різних пристроях можуть призвести до ситуацій, коли дані обробляються в різні моменти часу, що може порушити консистентність даних та призвести до втрати надійності результатів.

Проблеми управління ресурсами та гетерогенність пристроїв

Управління ресурсами в туманних IT-інфраструктурах може бути складною задачею через гетерогенність пристроїв та їхніх характеристик. З урахуванням того, що в мережі можуть бути пристрої різних виробників, з різними обчислювальними можливостями та мережевими характеристиками, важливо розробляти стратегії управління ресурсами, які б враховували цю гетерогенність.

Ефективне управління ресурсами передбачає розробку алгоритмів та стратегій, які б динамічно реагували на зміни у навантаженні та характеристиках пристроїв. Наприклад, можливе розроблення алгоритмів розподілу навантаження, які б враховували поточний стан мережі та характеристики пристроїв для ефективного використання ресурсів [1, 6].

Також важливо розглядати можливості автоматизації процесів управління ресурсами за допомогою інтелектуальних систем, що базуються на аналізі даних та машинному навчанні. Це може допомогти знизити навантаження на адміністраторів систем та забезпечити більш ефективне використання ресурсів у туманних IT-інфраструктурах [5, 6].

Вплив нестабільності мережі на збір даних

Нестабільність мережі є однією з ключових проблем у процесі збору даних в туманних середовищах. Ця проблема може виникати з різних причин, таких як переповнення мережі, втрати пакетів даних, а також непередбачені збої у роботі мережевих пристроїв. Внаслідок цього може страждати якість та достовірність зібраних даних.

Одним із можливих рішень для подолання цієї проблеми є розробка механізмів, що дозволяють виявляти та виправляти помилки з'єднання. Наприклад, можна використовувати протоколи, які забезпечують повторну відправку втрачених пакетів даних або автоматичне відновлення з'єднання після його втрати.

Також важливо розглядати можливості оптимізації мережевого трафіку для зменшення його впливу на збір даних. Це може включати в себе використання алгоритмів стиснення даних або розробку ефективних стратегій маршрутизації, які дозволяють уникати перевантаження мережі [2, 5, 7].

Роль безпеки в методах збору даних для туманних середовищ

Забезпечення безпеки даних є важливою складовою процесу збору інформації в туманних середовищах. З урахуванням розподіленості та гетерогенності пристроїв, які здійснюють збір даних, стає важливою задачею застосування механізмів, що гарантують конфіденційність, цілісність та доступність інформації.

Для досягнення цих цілей можуть застосовуватися різноманітні методи, включаючи шифрування даних, механізми аутентифікації та авторизації, а також моніторинг та аудит дій з даними. Крім того, важливо розглядати можливості розробки захищених протоколів передачі даних та механізмів виявлення та відхилення від несанкціонованого доступу до інформації [1, 3, 7].

Висновки

1. В результаті аналізу було виявлено, що проблеми масштабованості в розподілених обробці даних для туманних IT-інфраструктур потребують комплексного підходу та розробки ефективних стратегій. Для успішного

вирішення цих питань необхідно розробляти нові технології, використовувати інтелектуальні системи та стежити за останніми тенденціями в галузі ІТ.

2. Наступними кроками є реалізація запропонованих стратегій, впровадження нових технологій та продовження досліджень у цьому напрямку для постійного вдосконалення туманних ІТ-інфраструктур.

3. У підсумку, розробка інноваційних рішень та співпраця між науковцями та практиками є ключовими для подолання проблем масштабованості в розподілених обробці даних для туманних ІТ-інфраструктур.

ЛІТЕРАТУРА

1. R. Mayer, L. Graser, H. Gupta, E. Saurez and U. Ramachandran, "EmuFog: Extensible and scalable emulation of large-scale fog computing infrastructures," 2017 IEEE Fog World Congress (FWC), Santa Clara, CA, USA, 2017, pp. 1-6
2. Charles C. Byers and Patrick Wetterwald. 2015. Fog Computing Distributing Data and Intelligence for Resiliency and Scale Necessary for IoT: The Internet of Things (Ubiquity symposium). Ubiquity 2015, 12 pages.
3. F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, S. Addepalli. 2012. Fog computing and its role in the internet of things. In Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing (MCC '12). Association for Computing Machinery, New York, USA, 13–16.
4. R. Mayer, H. Gupta, E. Saurez and U. Ramachandran, "FogStore: Toward a distributed data store for Fog computing," 2017 IEEE Fog World Congress (FWC), Santa Clara, CA, USA, 2017, pp. 1-6
5. Shanhe Yi, Cheng Li, and Qun Li. A Survey of Fog Computing: Concepts, Applications and Issues. In Proceedings of the 2015 Workshop on Mobile Big Data (Mobidata '15). Association for Computing Machinery, New York, USA, 2015, pp. 37–42.
6. S. Yi, Z. Hao, Z. Qin and Q. Li, "Fog Computing: Platform and Applications," 2015 Third IEEE Workshop on Hot Topics in Web Systems and Technologies (HotWeb), Washington, DC, USA, 2015, pp. 73-78,
7. I. Stojmenovic and S. Wen, "The Fog computing paradigm: Scenarios and security issues," 2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, Warsaw, Poland, 2014, pp. 1-8.

SCALABILITY ISSUES IN DISTRIBUTED DATA PROCESSING FOR FOGGY IT INFRASTRUCTURES

Tsvirkun Leonid, Sobolevskiy Ivan

Abstract. *This paper addresses scalability issues in distributed data processing for fog IT infrastructures. The analysis identified large data volumes, network congestion, device heterogeneity, and network instability as key issues. Possible next steps are considered, such as implementing effective strategies and using the latest technologies to address*

these issues. Proposals are made to improve fog IT infrastructures through the introduction of innovative solutions and research in this area. The abstract emphasizes the need for an integrated approach and cooperation between scientists and practitioners to overcome scalability issues in fog IT infrastructures. In addition, attention is drawn to the importance of data security in the context of fog IT infrastructures and the need to develop appropriate measures to ensure it.

Keywords: *distributed data processing, fog computing, scalability issues, network congestion, resource management, heterogeneous devices, network instability, data collection challenges, innovative solutions, technology advancements, collaborative research, IT infrastructure optimization.*

REFERENCE

1. R. Mayer, L. Graser, H. Gupta, E. Saurez and U. Ramachandran, "EmuFog: Extensible and scalable emulation of large-scale fog computing infrastructures," 2017 IEEE Fog World Congress (FWC), Santa Clara, CA, USA, 2017, pp. 1-6
2. Charles C. Byers and Patrick Wetterwald. 2015. Fog Computing Distributing Data and Intelligence for Resiliency and Scale Necessary for IoT: The Internet of Things (Ubiquity symposium). Ubiquity 2015, 12 pages.
3. F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, S. Addepalli. 2012. Fog computing and its role in the internet of things. In Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing (MCC '12). Association for Computing Machinery, New York, USA, 13–16.
4. R. Mayer, H. Gupta, E. Saurez and U. Ramachandran, "FogStore: Toward a distributed data store for Fog computing," 2017 IEEE Fog World Congress (FWC), Santa Clara, CA, USA, 2017, pp. 1-6
5. Shanhe Yi, Cheng Li, and Qun Li. A Survey of Fog Computing: Concepts, Applications and Issues. In Proceedings of the 2015 Workshop on Mobile Big Data (Mobidata '15). Association for Computing Machinery, New York, USA, 2015, pp. 37–42.
6. S. Yi, Z. Hao, Z. Qin and Q. Li, "Fog Computing: Platform and Applications," 2015 Third IEEE Workshop on Hot Topics in Web Systems and Technologies (HotWeb), Washington, DC, USA, 2015, pp. 73-78,
7. I. Stojmenovic and S. Wen, "The Fog computing paradigm: Scenarios and security issues," 2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, Warsaw, Poland, 2014, pp. 1-8.

РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРЕСФОРМИ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ МОДЕЛІ УЩІЛЬНЮВАЧА УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРЕВЕНТОРА

Мосора Ю.Р., Дейнега Р. О., Михайлюк В. В, Фафлей О. Я.

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-
Франківськ, вул. Карпатська 15, 76019 Івано-Франківськ, Україна*

Анотація. Під час розроблення різноманітних конструкцій виробів іноді складно провести попередні випробування їх натурних моделей. На це впливає багато чинників, серед яких габарити виробу, вартість виготовлення, складність у розробленні спеціалізованих лабораторних установок тощо. Тому, для випробовувань використовують моделі виробів, які зменшені відносно натурального в декілька разів. Одним із таких виробів, який досить складно виготовити в натурну величину та провести його дослідження, є ущільнювач універсального превентора. Проте, для дослідження його характеристик створено зменшену модель. Для цього використано популярний сьогодні спосіб виготовлення виробів – 3D-друк, за допомогою якого виготовлено як вставки ущільнювача, так і пресформу для його виливання. Матеріалом, для виливання ущільнювача застосовано силікон SKR-788. В наступних дослідженнях конструкції ущільнювача універсального превентора планується проведення серії імітаційних моделювань фрагментів ущільнювача за різних геометричних форм і розмірів вставок з метою визначення оптимальних їх варіантів. Для підтвердження отриманих результатів імітаційного моделювання будуть проведені лабораторні випробування на установці для дослідження конструкції ущільнювачів універсальних превенторів.

Ключові слова: універсальний превентор, ущільнювач превентора, 3D-друк, 3D-принтер, пресформа

Сьогодні розроблення та удосконалення конструкцій нафтогазового обладнання вимагає новітніх підходів до проектування, імітаційного моделювання і використання для їх виготовлення нових технологій [1, 2]. Особливу увагу на даний час приділяють адитивній технології виготовлення різноманітних виробів – 3D-друку. Ця технологія дозволяє виготовляти деталі різноманітних форм [3] і її досить зручно застосовувати під час прототипування виробів, що дозволяє усунути конструктивні похибки ще на стадії їх проектування, знижуючи при цьому витрати [5, 6].

З метою відтворення всіх особливостей елементів ущільнювача превентора розроблено конструкцію пресформи (рис. 1). Особливістю цієї пресформи є те, вона містить у своїй конструкції не тільки деталі, які формують ущільнювач, але й циліндро-поршневу пару з ущільненням, за допомогою якої відбувається подача гумової (силіконової) суміші безпосередньо у внутрішню порожнину пресформи через отвори А та Б. Отвори Б циліндра 8 співпадають з отворами А, які виконані у втулці 2. Для зручності розбирання форми після виливання ущільнювача превентора верхній 1 та нижній 3 вкладиші виконані розрізними та складаються кожен із трьох частин. Для утримання форми у зібраному виді та сприйняття навантажень від дії тиску суміші, що створюється поршнем 6, використовується гайка 5, що безпосередньо нагвинчується ззовні на циліндр 8.

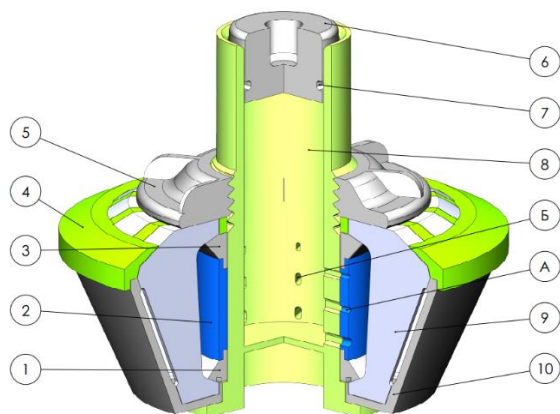


Рисунок 1 – Конструкція пресформи для виготовлення ущільнювача превентора 1 – вкладиш нижній; 2 – втулка; 3 – вкладиш верхній; 4 – кришка; 5 – гайка; 6 – поршень; 7 – ущільнення поршня; 8 – циліндр; 9 – вставка; 10 – корпус



Рисунок 2 – 3D-принтер CreatBot DX Plus

Слід зауважити, що при заповненні сумішшю форма повинна розміщуватись у вертикальному положенні. Об'єм суміші, що необхідний для заповнення порожнини форми визначається за допомогою спеціального інструменту програми SolidWorks, що дозволяє зменшити витрату підготовленої силіконової суміші.

Для виготовлення моделі пресформи та елементів ущільнювача превентора застосовано 3D-принтер CreatBot DX Plus (рис. 2) кафедри нафтогазових машин та обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

На рисунку 3 показано виготовлені на 3D-принтері всі елементи конструкції пресформи та деталі вставки універсального превентора.

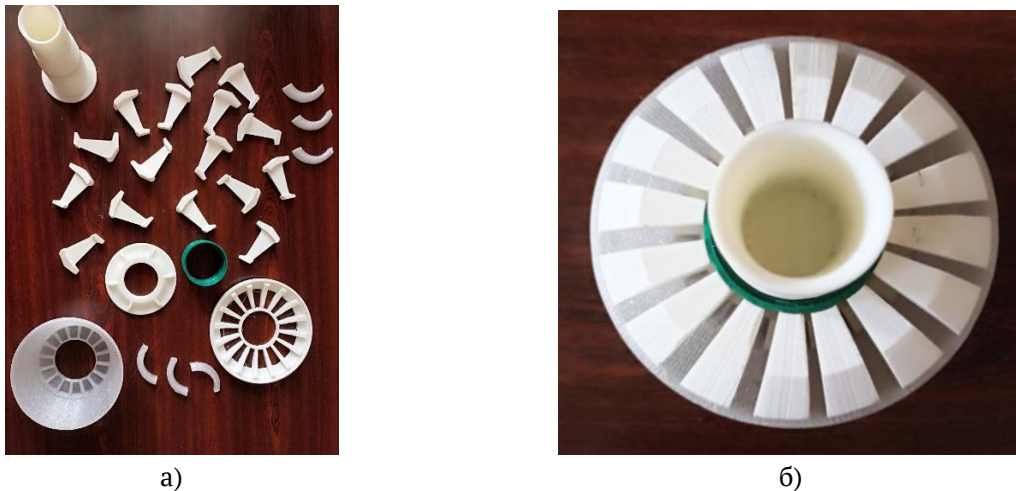


Рисунок 3 – Виготовлені на 3D-принтері елементи конструкції пресформи та деталі ущільнювача превентора

а) – деталі пресформи; б) – пресформа у зборі

Після заливання пресформи та витримки її певний час отримано модель ущільнювача універсального превентора, яка показана на рисунку 4.

Для подальших досліджень планується розробити програму та методику випробувань виготовленої моделі ущільнювача превентора та використати дослідну установку, загальний вид якої показано на рисунку 5.



Рисунок 4 – Виготовлена модель ущільнювача превентора



Рисунок 5 – Установка для дослідження конструкції ущільнювачів універсальних превенторів

Висновки

З метою проведення лабораторних випробувань дослідної моделі ущільнювача універсального превентора розроблено конструкцію пресформи для її виготовлення із силікону. Пропонована пресформа є простою за конструкцією, її легко і швидко виготовляється із пластику за допомогою 3D-принтера. Пресформа виконана розбірною та має змогу використовуватись повторно. При виготовленні моделі ущільнювача універсального превентора використано силікон SKR-788. В наступних дослідженнях конструкції ущільнювача універсального превентора планується проведення серії імітаційних моделювань фрагментів ущільнювача за різних геометричних форм і розмірів вставок з метою визначення оптимальних їх варіантів. Для підтвердження результатів імітаційних моделювань необхідним буде провести серію лабораторних випробувань пропонованих варіантів ущільнювача універсального превентора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мосора Ю., Костриба І., Бембенек М. Надійність противикидного обладнання – важливий чинник підвищення безпеки при спорудженні та освоєнні нафтогазових свердловин. Геотехнології. 2018. No 1. С. 65-71.
2. Дорохов М. А., Костриба І. В. Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану ущільнення свердловинних пакерів. Нафтогазова інженерія. 2016. No 1. С. 103–109
3. Михайлюк В., Ердей З., Джус А., Дічюк В., Родіч В. Проектування та 3D-прототипування: посібник. Івано-Франківськ: Фоліант, 2022. 124 с.
4. SKR-788 – Твердий силікон для форм. URL: <https://silikoni.com.ua/ru/skr-788-silikon-dlya-form> (дата звернення: 15.11.2023).
5. Bembenek, M.; Kowalski, Ł.; Kosoń-Schab, A. Research on the Influence of Processing Parameters on the Specific Tensile Strength of FDM Additive Manufactured PET-G and PLA Materials. Polymers 2022, 14, 2446. <https://doi.org/10.3390/polym14122446>
6. Bembenek M., Михайлюк В., Gazda W., Рудейченко О., Дейнега Р. Аналіз можливості вдосконалення 3D-друку обертових елементів методом FDM. Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, (1(52), 73–81. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1\(52\)-73-81](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1(52)-73-81)

DEVELOPMENT OF THE PRESS MOULD DESIGN AND MANUFACTURE OF THE SEAL MODEL OF THE UNIVERSAL PREVENTOR

Yurii Mosora, Ruslan Deineha, Vasyl Mykhailiuk, Oleh Faflei

Abstract. *During the development of various designs of products, it is sometimes difficult to conduct preliminary tests of their full-scale models. This is influenced by many factors, including the dimensions of the product, the cost of manufacturing, the complexity of developing specialized laboratory installations, etc. Therefore, product models are used for testing, which are several times smaller than the actual size. One of such products, which is rather difficult to produce in life size and to conduct its research, is the seal of the universal preventer (bag type preventor). However, a reduced model was created to study its characteristics. For this, a popular today's method of manufacturing products was used - 3D printing, with the help of which both the gasket inserts and the mold for its casting were made. Silicone SKR-788 is used as a material for pouring the sealant. In the following studies of the design of the seal of the bag type preventor, it is planned to carry out a series of simulations of the fragments of the seal with different geometric shapes and sizes of inserts in order to determine their optimal options. To confirm the obtained results of simulation modeling, laboratory tests will be conducted on the installation for researching the design of universal preventer seals.*

Keywords: *universal preventer, bag type preventor, preventer seal, 3D printing, 3D printer, mold*

REFERENCE

1. Mosora Yu., Kostriba I., Bembenek M. Nadijnist protivikidnogo obladnannya – vazhlivij chinnik pidvishennya bezpeki pri sporudzhenni ta osvoyenni naftogazovih sverдловin. Geotehnologiyi. 2018. No 1. С. 65-71.
2. Dorohov M. A., Kostriba I. V. Komp'yuterne modelyuvannya napruzhenno-deformovanogo stanu ushlnennya sverдловinnih pakeriv. Naftogazova inzheneriya. 2016. No 1. S. 103–109
3. Mihajlyuk V., Erdej Z., Dzhus A., Dichyuk V., Rodich V. Proektuvannya ta 3D-prototipuvannya: posibnik. Ivano-Frankivsk: Foliant, 2022. 124 s.
4. SKR-788 – Tverdij silikon dlya form. URL: <https://silikoni.com.ua/ru/skr-788-silikon-dlya-form> (data zvernennya: 15.11.2023).
5. Bembenek, M.; Kowalski, L.; Koson-Schab, A. Research on the Influence of Processing Parameters on the Specific Tensile Strength of FDM Additive Manufactured PET-G and PLA Materials. Polymers 2022, 14, 2446. <https://doi.org/10.3390/polym14122446>
6. Bembenek M., Mihajlyuk V., Gazda W., Rudejchenko O., Dejnega R. Analiz mozhlivosti vdoskonalennya 3D-druku obertovih elementiv metodom FDM. Naukovij visnik Ivano-Frankivskogo nacionalnogo tehnicnogo universitetu nafti i gazu, (1(52), 73–81. [https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1\(52\)-73-81](https://doi.org/10.31471/1993-9965-2022-1(52)-73-81)

РОЗРОБЛЕННЯ БАЗИ ДАНИХ ТА КЛІЄНТ – СЕРВЕРНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Мащенко Л.В., Юр'єв М.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Анотація. *Описаний у роботі електронний щоденник призначений для студентів та викладачів закладів вищої освіти і базується на клієнт-серверній архітектурі, використовуючи передові технології для забезпечення зручного доступу до навчальної інформації через локальну мережу. Основна мета цього проєкту полягає у покращенні взаємодії між студентами та викладачами, що слугує підвищенню продуктивності та якості навчання. Щоденник надає зручний доступ до навчальної інформації, сприяючи ефективному управлінню даними та поліпшенню комунікації між учасниками навчального процесу. Він дозволяє студентам відстежувати свої оцінки, розклад занять, а викладачам – виставляти оцінки та взаємодіяти зі студентами своєї групи, що сприяє більш ефективному та зручному навчанню.*

Ключові слова: *електронний щоденник, база даних, клієнт-серверний застосунок, автоматизація цифрових процесів, декілька груп користувачів.*

Зараз актуальною проблемою є необхідність удосконалення взаємодії між студентами та викладачами в закладах вищої освіти. Для її вирішення було поставлено за мету створення електронного щоденника, який спростить доступ до навчальної інформації та покращить комунікацію між учасниками навчального процесу. Як результат був розроблений проєкт, який ґрунтується на використанні клієнт-серверної архітектури та передових технологій, що дозволяє забезпечити зручний доступ до даних через локальну мережу. Щоденник сприяє підвищенню продуктивності і якості навчання, забезпечуючи покращення комунікації між студентами та викладачами.

Всеосяжне обстеження предметної області дозволило визначити потреби студентів та викладачів у зручному доступі до навчальної, особистої інформації, оцінок, рейтингу, вибірових дисциплін тощо. На основі результатів аналізу, враховуючи потреби користувачів, були визначені наступні ролі: гості, студенти, викладачі та декани факультетів. Для них були визначені основні запити, які виконують вибірку, редагування, додавання та видалення даних. Для запису та зберігання була розроблена база даних

засобами СУБД Microsoft SQL Server із 14 таблицями, які відображають інформацію про студентів, викладачів, дисципліни, оцінки та інші дані, що стосуються навчального процесу.

Розроблено клієнт-серверний застосунок, який створений засобами Visual Studio на мові C#. Для цього були розроблені клієнтська частина, з якою взаємодіє користувач для виконання та одержання відповідних результатів запитів, і серверна частина десктопному застосунку, яка слугує посередником між користувачем та базою даних.

Зв'язок між клієнтом та сервером здійснюється за допомогою локальної мережі, яка створена та налагоджена засобами LogMeIn Hamachi. Цей засіб забезпечує безпечне та надійне підключення користувачів до сервера, і дозволяє їм ефективно користуватися функціями застосунку та отримувати швидкий доступ до необхідної інформації.

Клієнтська частина містить у собі форми із наступними вкладками: з'єднання із сервером та авторизацією користувача, особистий кабінет, журнал викладача, обирання вибіркокових дисциплін, оцінювання студентів та перелік тематичних запитів. Клієнт надсилає запити на сервер та одержує від нього відповіді.

Користувач має можливість завантажити результати запитів у pdf-файли, що дозволяє зручно зберігати їх в обраній папці і ділитися необхідною інформацією з іншими користувачами. Це сприяє ефективному управлінню даними та забезпечує можливість зручного архівування результатів для подальшого використання або аналізу.

Серверна частина приймає запити від клієнта, формує відповідні SQL-запити до бази даних, одержує результати та надсилає їх назад до клієнта.

У результаті створення електронного щоденника студента та викладача для закладів вищої освіти була створена комплексна система, яка спрямована на полегшення та оптимізацію навчального процесу. Засоби та технології, використані у проєкті, дозволили вирішити ряд ключових завдань, зокрема, створити реляційну базу даних з таблицями та зв'язками між ними, розробити клієнтську та серверну частини десктопного застосунку, а також забезпечити

зручний доступ до інформації для різних типів користувачів через локальну мережу. Важливою особливістю щоденника є можливість зберігання результатів запитів у pdf-форматі, що сприяє зручному архівуванню та поширенню необхідної інформації. Реалізація проєкту відповідає поставленим цілям та відзначається високою функціональністю, що робить її корисним та ефективним інструментом для закладів вищої освіти у забезпеченні навчального процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бази даних у схемах (на основі фундаменталізованого підходу) : навч. посіб. / І. О. Бардус, М. І. Лазарєв, А. О. Ніценко. – Харків : Вид-во «Діса плюс», 2017.
2. Бази даних MySQL: Навчальний посібник. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2010.
3. Посібник з Windows Forms. URL: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/dotnet/desktop/winforms/?view=netdesktop-8.0&viewFallbackFrom=netdesktop-5.0>
4. Мулеса О.Ю. Інформаційні системи та реляційні бази даних. Навч. посібник. – Електронне видання, 2018. – 118 с. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/44979>
5. Довідка із застосування протоколів TCP/IP для створення Client/Server застосунку. URL: <https://foxlearn.com/articles/chat-tcp-ip-client-server-in-csharp-98.html>

DEVELOPMENT OF DATABASE AND CLIENT-SERVER APPLICATION FOR HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Leonid Mashchenko, Maksym Yuriev

Abstract. *The electronic diary described in the work is intended for students and teachers in higher education institutions and is based on a client-server architecture, using advanced technologies to provide convenient access to educational information via a local network. The main goal of this project is to improve the interaction between students and teachers, contributing to the increase in productivity and quality of education. The diary provides convenient access to educational information, contributing to effective data management and improving communication between participants of the educational process. It helps students keep track of their grades, class schedules, and teachers to grade and interact with their students, making learning more efficient and convenient.*

Keywords: *electronic diary, database, client-server application, digital process automation, multiple user roles.*

REFERENCE

1. Databases in schemes (based on the fundamental approach): teaching. manual / I. O. Bardus, M. I. Lazarev, A. O. Nitsenko. - Kharkiv: "Disa Plus" Publishing House, 2017.
2. MySQL databases: Tutorial. — Ternopil: Educational book - Bohdan, 2010.
3. Guide to Windows Forms. URL: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/dotnet/desktop/winforms/?view=netdesktop-8.0&viewFallbackFrom=netdesktop-5.0>
4. Mules O.Yu. Information systems and relational databases. Training manual. – Electronic edition, 2018. – 118 p. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/44979>
5. Help on the use of TCP/IP protocols to create a Client/Server application. URL: <https://folearn.com/articles/chat-tcp-ip-client-server-in-csharp-98.html>

РОЗРОБЛЕННЯ КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОГО ЗАСТОСУНКУ З МЕТОЮ КЕРУВАННЯ БАЗОЮ ДАНИХ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Мащенко Л.В., Юр'єв М.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Анотація. У доповіді презентується розробка ряду адміністративних функцій для клієнт-серверного застосунку, що спрямовані на оптимізацію та спрощення управління базою даних для покращення навчального процесу. Адміністратор, володіючи цими функціями, має можливість проводити різноманітні операції з базою даних, що включають архівування, розархівування, створення копій та відновлення інформації. Ці можливості дозволяють забезпечити надійність та безпеку даних, зменшуючи ризик втрати важливої інформації. Крім того, з впровадженням функціонала для завантаження даних з файлів Excel, процес керування даними стає ще простішим та продуктивним. Це відкриває нові можливості для швидкого і безперервного оновлення та обробки інформації, що дозволяє зробити процес керування даними більш ефективним та зручним для адміністратора.

Ключові слова: база даних, клієнт-серверний застосунок, автоматизація цифрових процесів, управління даними, адміністратор.

Робота описує розроблення адміністративних функцій для клієнт-серверного застосунку, спрямованих на полегшення управління базою даних. Адміністратор може архівувати, розархівувати, створювати копії та відновлювати базу даних для забезпечення безпеки та надійності даних. Додатково реалізована можливість завантаження даних з файлу Excel до бази даних, що робить процес керування даними ще більш зручним та ефективним.

Попередньо була створена база даних засобами СУБД Microsoft SQL Server із 14 таблицями, які відображають інформацію про студентів, викладачів, дисципліни, оцінки та інші дані, що стосуються навчального процесу.

Сам проєкт являє собою програмне забезпечення типу клієнт-сервер, що розроблене в середовищі Visual Studio з використанням мови програмування C#. Для цього були створені дві складові: клієнтська частина, яка призначена для взаємодії користувача з системою для виконання запитів та отримання відповідей, і серверна частина, що працює в складі десктопного застосунку і діє як посередник між користувачем та базою даних.

Були досліджені основні вимоги для керування базою даних. Так адміністратор має можливість архівувати та розархівувати базу даних для забезпечення безпеки та оптимізації простору, забезпечена можливість створення копії бази даних та відновлення її даних у разі втрати, а також адміністратор може завантажувати дані з файлу Excel до бази даних для зручного імпорту та оновлення інформації.

Архівації підлягають таблиці бази даних, в яких зберігається інформація про оцінки студентів, їхні активності та рейтинг. Адміністратор має можливість обрати період часу, за який потрібно заархівувати дані, після чого створюється нова база даних, в яку переносяться таблиці, які підпадають під обліковий період, і нарешті новостворена база даних архівується і зберігається на диску. Процес розархівування являє собою зворотний процес архівації.

Забезпечена можливість створення копії бази даних для здійснення резервного копіювання та відновлення даних у разі втрати. Крім того, реалізовано функцію відновлення бази даних з копії для забезпечення надійності та доступності даних у випадку виникнення непередбачених ситуацій.

Для завантаження даних з файлу Excel до бази даних обирається відповідний файл, в якому присутні листи із назвами та даними, які відповідають таблицям і їх полям в БД. Далі дані з кожного листа передаються на сервер, де вони замінюють собою вміст відповідних таблиць.

Розроблення адміністративних функцій для клієнт-серверного застосунка дозволяє покращити управління базою даних та забезпечити надійність та безпеку інформації. Вище згадані функції забезпечують адміністратору необхідні інструменти для ефективного управління даними та забезпечення коректного функціонування системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бази даних у схемах (на основі фундаменталізованого підходу): навч. посіб. / І. О. Бардус, М. І. Лазарєв, А. О. Ніценко. – Харків: Вид-во «Діса плюс», 2017.
2. Бази даних MySQL: Навчальний посібник. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2010.

3. Посібник з Windows Forms. URL: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/dotnet/desktop/winforms/?view=netdesktop-8.0&viewFallbackFrom=netdesktop-5.0>
4. Мулеса О.Ю. Інформаційні системи та реляційні бази даних. Навч.посібник. – Електронне видання, 2018. – 118 с. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/44979>
5. Довідка із застосування протоколів TCP/IP для створення Client/Server застосунку. URL: <https://foxlearn.com/articles/chat-tcp-ip-client-server-in-csharp-98.html>

DEVELOPMENT OF A CLIENT – SERVER APPLICATION FOR DATABASE MANAGEMENT

Leonid Mashchenko, Maksym Yuriev

Abstract. *This article presents the development of a number of administrative functions for a client-server application aimed at optimizing and simplifying database management. The administrator, having these functions, has the ability to perform various operations with the database, including archiving, unpacking, creating copies and restoring information. These capabilities allow you to ensure the reliability and security of data, reducing the risk of losing important information. In addition, with the introduction of functionality for loading data from Excel files, the process of data management becomes even simpler and more productive. This opens up new opportunities for fast and continuous updating and processing of information, making the process of working with data more efficient and convenient for the administrator.*

Keywords: *database, client-server application, digital process automation, data management, administrator.*

REFERENCE

1. Databases in schemes (based on the fundamental approach): teaching. manual / I. O. Bardus, M. I. Lazarev, A. O. Nitsenko. – Kharkiv: "Disa Plus" Publishing House, 2017.
2. MySQL databases: Tutorial. – Ternopil: Educational book – Bohdan, 2010.
3. Guide to Windows Forms. URL: <https://learn.microsoft.com/uk-ua/dotnet/desktop/winforms/?view=netdesktop-8.0&viewFallbackFrom=netdesktop-5.0>
4. Mules O.Yu. Information systems and relational databases. Training manual. – Electronic edition, 2018. – 118 p. URL: <https://www.uzhnu.edu.ua/en/infocentre/get/44979>
5. Help on the use of TCP/IP protocols to create a Client/Server application. URL: <https://foxlearn.com/articles/chat-tcp-ip-client-server-in-csharp-98.html>

СЕКЦІЯ 5

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧІ
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

SECTION 5

**INTELLIGENT INFORMATION AND CONTROL
SYSTEMS AND TECHNOLOGIES**

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ. ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ

Красношапка Н.С., Малієнко С.Є., Гуда А.І., Селівърстова Т.В.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

Анотація. Штучний інтелект (ШІ) стає невід'ємною частиною сучасної інженерії, обіцяючи трансформувати способи проектування, виробництва та управління системами. Його застосування варіюється від автоматизації процесів до оптимізації виробничих циклів, підвищуючи ефективність та надійність. Проте, незважаючи на переваги, існують виклики, такі як інтеграція ШІ в етап проектування, вимоги до безпеки та конфіденційності даних. Особливо в індустрії ЕРС, де кожен проект має унікальні вимоги, а високі стандарти безпеки ускладнюють впровадження ШІ. Також необхідність у кваліфікованих фахівцях та ефективних механізмах збору даних створюють додаткові перешкоди. Успішне впровадження ШІ вимагає інтеграції досвіду компаній, стратегічного підходу та підтримки вищого керівництва.

Ключові слова: штучний інтелект, інженерія, автоматизація, безпека, індустрія ЕРС, впровадження.

В останні десятиліття штучний інтелект (ШІ) став ключовим інноваційним інструментом, що проникає в різні сфери людської діяльності. У галузі інженерії він обіцяє революціонізувати способи проектування, виробництва та управління системами. Однак, незважаючи на явні вигоди, супутні застосуванню ШІ, існують і виклики, які потребують уваги та вирішення.

Використання штучного інтелекту в інженерії являє собою новий етап еволюції, який відкриває безліч можливостей. Від автоматизації процесів проектування до оптимізації виробничих циклів, ШІ обіцяє підвищити ефективність, точність і надійність інженерних рішень. ШІ вже спричинив суттєві зміни в охороні здоров'я, виробництві, транспорті, роздрібній торгівлі, медіа, фінансах, нафтогазовій галузі та трансформував правила конкуренції [3], [2], [4]. Наразі різні галузі розглядають можливість застосування машинного навчання та глибокого навчання (ML/DL) у своїх галузях, застосовуючи розпізнавання зображень, обробку природної мови, оптимізацію операцій, видобуток даних та виявлення знань [5]. Ця тенденція також активно підтримується багатьма урядовими ініціативами, такими як

"Індустрія 4.0" (Німеччина), "Розумна фабрика" (Південна Корея) та "Розумне виробництво" (США) [4].

Незважаючи на те, що багато компаній і експертів вважають, що можливо прискорити цифровізацію та покращити застосування інтелектуальних систем, керованих даними, для практичного проектування в майбутньому [8], підтримка штучного інтелекту на етапі проектування та будівництва виконання проекту в індустрії ЕРС була обмеженою. Хоча продукти штучного інтелекту вже впроваджені в роботу цих проектів. Наприклад, під час розвідки нафти та газу або великих установок (наприклад, операційних систем і систем керування заводом). Сьогодні компанії все більше цифровізують робочі моделі для автоматизації, де це можливо, робочих процесів, що допомагає скоротити години роботи інженерів і допомагає виконувати графік. Однак запровадити штучний інтелект на етапі розробки проектів складно через складність сектора та високі стандарти безпеки. Наприклад, згідно з ІЕС 61508 (міжнародний стандарт, опублікований Міжнародною електротехнічною комісією), показник рівня повноти безпеки для нафтохімічної промисловості є дуже високим, тобто ймовірність однієї небезпечної відмови за 100 000 годин - це мінімальна вимога безпеки [6]. Однією з головних проблем індустрії ЕРС є необхідність втиснути занадто багато заходів у стислий період проекту. Крім того, кожен проект має індивідуальну специфіку, і будь-яке рішення, яке має на меті скоротити ручну роботу, потребує великої експертизи в галузі. Крім того, галузі часто бракує відповідних механізмів збору даних для ефективного застосування ML/DL [7], [8]. Таким чином, зменшення ручної роботи є потенційною сферою, де ШІ може допомогти [6].

Ще одним істотним викликом є необхідність у наявності висококваліфікованих фахівців, що володіють експертними знаннями в області штучного інтелекту. Це може створити проблеми для компаній, які не готові до проведення важливих інвестицій у навчання персоналу чи найму спеціалістів.

Безпека та конфіденційність даних також є важливими аспектами, які слід враховувати при використанні штучного інтелекту в інженерії. Взлом або виток

конфіденційних даних може призвести до серйозних наслідків для компаній, особливо в галузях, пов'язаних з інтелектуальною власністю та чутливою інформацією.

Висновок

Виходячи з того, що кожен проект має індивідуальну специфіку. Тому будь-яке рішення, що передбачає скорочення ручної роботи, потребує значного досвіду в галузі. Тому дуже важливо, щоб прикладні рішення III враховували десятиліття досвіду компаній. Щоб розробити такі рішення штучного інтелекту та досягти успішного розгортання, практики повинні отримати практичний досвід управління проектами штучного інтелекту, щоб подолати обмеження бізнесу, розвитку та організації. Наука про дані та навички штучного інтелекту користуються попитом разом із новим способом мислення про проблеми, з якими стикаються компанії. Ініціативи штучного інтелекту зазнають невдачі не через погані алгоритми, а скоріше через відсутність бачення, пізні зміни або навіть відсутність змін в операційній та бізнес-моделі організації та погану співпрацю. Таким чином, стратегія та розуміння природи проекту ML/DL відіграють ключову роль, а також відданість вищого керівництва підтримці початку розробки проекту III шляхом надання ресурсів для запуску безвідмовних проектів, які потребують перед розгортанням інструментів III.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Massimo Bertolini, Davide Mezzogori, Mattia Neroni, Francesco Zammori, 2021. "Machine Learning for industrial applications: A comprehensive literature review, Expert Systems with Applications", Volume 175, 2021, 114820, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.114820>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095741742100261X>).
2. Dmitry Koroteev, Zeljko Tekic, Artificial intelligence in oil and gas upstream: Trends, challenges, and scenarios for the future, Energy and AI, Volume 3, 2021, 100041, ISSN 2666-5468, <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2020.100041>,
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546820300410>).
3. Andrei Paleyes, Raoul-Gabriel Urma, Neil D. Lawrence "Challenges in Deploying Machine Learning: a Survey of Case Studies", Cornell University, The ML-Retrospectives, Surveys & Meta-Analyses Workshop, NeurIPS 2020; v2, January 18, 2021, <https://arxiv.org/abs/2011.09926v2>.

4. Gartner, Stamford, Conn., January 21, 2019, Press Release STAMFORD, Conn., Gartner Survey Shows 37 Percent of Organizations Have Implemented AI in Some Form, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-01-21-gartner-survey-shows-37-percent-of-organizations-have>.
5. VentureBeat, July 8, 2019, “IDC: For 1 in 4 companies, half of all AI projects fail”, <https://venturebeat.com/2019/07/08/idc-for-1-in-4-companies-half-of-all-ai-projects-fail/>, based on IDC’s Artificial Intelligence Global Adoption Trends & Strategies report, July 2019.
6. Dotscience, “The State of Development and Operations of AI Applications 2019”, https://dotscience.com/assets/downloads/Dotscience_Survey-Report-2019.pdf.
7. Dimensional research (supported by ALEGION), “Artificial Intelligence and Machine Learning Projects Are Obstructed by Data Issues Global Survey of Data Scientists, AI Experts and Stakeholders”, May 2019, https://telecomreseller.com/wp-content/uploads/2019/05/EMBARGOED-UNTIL-800-AM-ET-0523-Dimensional-Research-Machine-Learning-PPT-Report-FINAL.pdf?_cf_chl_captcha_tk_=pmd_AwcVShnc7Fkq4MiTuEeqI0ljYQZkMULLHaNC0H4mIc0-1633021250-0-gqNtZGzNA5CjcnBszQdl.
8. Aiswarya Raj, Jan Bosch, Helena Holmström Olsson, Anders Arpteg, Björn Brinne, Raj, Aiswarya. (2020). “Data Management Challenges for Deep Learning”. Robert Feldt & Ana Magazinius, 2010. “Validity Threats in Empirical Software Engineering Research - An Initial Survey”. SEKE, (pp. 374-379)

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SOLUTION OF ENGINEERING PROBLEMS. ADVANTAGES AND CHALLENGES

Krasnoshapka Nykyta, Maliienko Stanislav, Guda Anton, Selivyorstova Tatjana

Abstract. *Artificial Intelligence (AI) is becoming an integral part of modern engineering, promising to transform the ways of design, production, and system management. Its application ranges from process automation to optimization of production cycles, enhancing efficiency and reliability. However, despite the advantages, there are challenges such as AI integration into the design phase, safety requirements, and data confidentiality. Especially in the EPC industry, where each project has unique requirements, and high safety standards complicate AI implementation. Additionally, the need for qualified professionals and effective data collection mechanisms create further obstacles. Successful AI implementation requires the integration of company experience, a strategic approach, and support from senior management.*

Keywords: *artificial intelligence, engineering, automation, safety, EPC industry, implementation.*

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.081

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ХОЛОДНОЇ ПІЛЬГЕРНОЇ ПРОКАТКИ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПРОЦЕСУ

Кучин Антон,

*Магістр за спеціальністю: 136 “Металургія” Український державний університет
науки і технологійм. Дніпро, Україна*

Анотація. Дослідження спрямоване на визначення оптимальних параметрів, що впливають на ефективність прокатки та якість виробу. Аналізується взаємозв'язок між різними параметрами такими як теплопередача, межа міцності, показник тертя та температурним режимом для покращення технологічних параметрів холодної пільгерної прокатки та підвищення якості виробів. Математичне моделювання процесів холодної пільгерної прокатки дозволяє не тільки глибше зрозуміти фізичні процеси, що відбуваються під час прокатки, але й надає можливість аналізувати вплив різних параметрів на температурний режим та загалом на якість кінцевого продукту.

Ключові слова. Температурний режим прокатки, межа міцності, показник тертя, теплопередача, холодна пільгерна прокатка.

Вступ. Холодна пільгерна прокатка є однією з ключових технологій в металургійній промисловості, яка відіграє вирішальну роль у виготовленні високоякісних сталевих виробів для різних галузей промисловості. Для проведення дослідження впливу параметрів, таких як межа міцності, тертя та теплопередача використовувалось програмне забезпечення QForm UK. Технологічний процес в контексті роботи в даній програмі розглядається як низка технологічних операцій, де заготовка та інструмент можуть бути передані між операціями зі спадковістю всіх розрахункових полів.

Ціль роботи. Загальною метою досліджень є оптимізація параметрів прокатки, щоб отримати вироби з бажаними механічними та структурними властивостями, зменшити відходи та підвищити продуктивність виробництва.

Виклад основного матеріалу. Дослідження і моделювання процесу холодної пільгерної прокатки труб допомагають зрозуміти анізотропію матеріалу, враховувати вплив температури, накопиченої деформації та інших факторів на силу прокатки і є важливими для підвищення ефективності та якості виробництва труб і металевих виробів.

Дослідження впливу режиму деформацій на температурний режим прокатки є важливою частиною металургійних процесів, оскільки вони визначають параметри прокатки, включаючи температуру, швидкість деформації та інші фактори, що впливають на якість і властивості металу чи труб [1].

Побудова математичної моделі процесу холодної пільгерної прокатки вимагає визначення граничних умов, включаючи параметри деформуючого інструменту, такі як конусність розгортки, ширина калібру та розподіл деформації на валках.

Для моделювання використовують два різних матеріали зі своїми хімічними складами та реологічними характеристиками, що дозволяє досліджувати вплив матеріалу на процес деформації. Це дозволяє проаналізувати різні параметри обробки, такі як геометрія виробу, сила деформації, температурний режим, і визначити їх вплив на кінцевий вигляд виробу та розподіл деформації.

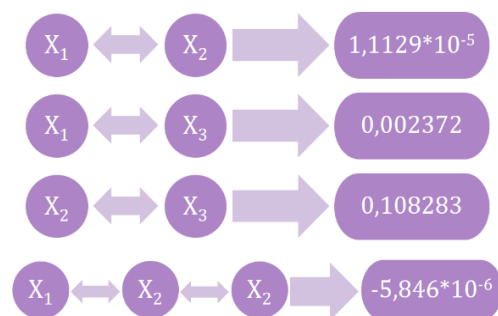


Рис.1 Взаємодія між факторами

Рівняння лінійної регресії:

$$Y = 399,74 - 0,00385 \times X_1 - 0,31883 \times X_2 + 41,95 \times X_3 \quad (1)$$

На основі проведених аналізів основних ефектів, взаємодії між факторами та лінійної регресії, можна зробити кілька ключових висновків: По-перше, розрахунок основних ефектів факторів показав, що X_1 (теплопередача) та X_2 (межа міцності) мають негативний вплив на результат, тоді як X_3 (показник тертя) демонструє позитивний вплив. Це означає, що збільшення X_1 (теплопередачі) та X_2 (межі міцності) призводить до зниження результату, тобто зменшення температури процесу, тоді як збільшення X_3 (показника тертя) сприяє його підвищенню.

Висновки. Аналіз лінійної регресії надав додаткове розуміння впливу факторів, підтвердивши і кількісно оцінивши їхній вплив на результат. Цей метод аналізу дозволив також робити прогнози результату на основі конкретних значень факторів. У сукупності, ці аналізи важливі для розуміння взаємодії факторів, оптимізації процесів та прийняття інформованих рішень у відповідному контексті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Фролов В. Ф. Холодна пільгерна прокатка труб : монографія / В. Ф. Фролов, В. М. Данченко, Я. В. Фролов. – Дніпропетровськ : Пороги, 2005. – 255 с
2. Холодна прокатка труб / З.А. Кофф, П.М. Соловейчик, В.А. Альошин, М.І. Грнишпун. – Свердловськ: Металургіздат, 1962. – 431
3. Сталеві холоднодеформовані труби. Металургійна та гірнича промисловість. URL: <https://www.metaljournal.com.ua/cold-formed-steel-pipes/> (дата звернення: 18.10.2023).
4. Analysis of tube deformation process in a new pilger cold rolling process / D. Pocięcha et al. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2014. Vol. 14, no. 3. P. 376–382. URL: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2014.01.001> (дата звернення: 18.10.2023).
5. Factors influencing thermal conductivity and mechanical properties in 319 Al alloy cylinder heads / E. Vandersluis et al. Materials Science and Engineering: A. 2015. Vol. 648. P. 401–411. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.09.091> (дата звернення: 18.10.2023).

Study of effect to cold pilger rolling parameters on the temperature regime of process

Kuchyn Anton

Abstract. *The research is aimed at determining the optimal parameters that affect the efficiency of rolling and the quality of the product. The relationship between various parameters such as heat transfer, ultimate strength, friction index and temperature regime is analyzed to improve the technological parameters of cold mill rolling and increase the quality of products. Mathematical modeling of cold mill rolling processes allows not only a deeper understanding of the physical processes occurring during rolling, but also provides an opportunity to analyze the influence of various parameters on the temperature regime and, in general, on the quality of the final product.*

Keywords: *Rolling temperature regime, strength limit, friction index, heat transfer, cold pilger rolling.*

REFERENCE

1. Frolov V. F. Cold pilger rolling of tubes: monograph / V. F. Frolov, V. M. Danchenko, Y. V. Frolov. – Dnipropetrovsk : Porogy, 2005. – P. 255
2. Cold rolling of tubes / Z.A. Koff, P.M. Soloveichyk, V.A. Alyoshyn, M.I. Grinshpun – Sverdlovs'k: Metallurgizdat, 1962. – P. 431
3. Cold-formed steel tubes. Metallurgical and mining industry. URL: <https://www.metaljournal.com.ua/cold-formed-steel-pipes/> (date of access: 18.10.2023).
4. Analysis of tube deformation process in a new pilger cold rolling process / D. Pocięcha et al. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2014. Vol. 14, no. 3. P. 376–382. URL: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2014.01.001> (date of access: 24.08.2023).
5. Factors influencing thermal conductivity and mechanical properties in 319 Al alloy cylinder heads / E. Vandersluis et al. Materials Science and Engineering: A. 2015. Vol. 648. P. 401–411. URL: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2015.09.091> (date of access: 24.08.2023).

ПРОБЛЕМА ПІДГОТОВКИ ДОДАТКІВ ДО ДИПЛОМУ ВИПУСКНИКІВ ЗВО В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Захаров М.В., Карпенко Н.В

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,

факультет фізики, електроніки та комп'ютерних систем, м. Дніпро, Україна

Анотація. Ця робота присвячена проблемі створення додатків до диплому випускників закладу вищої освіти. На сьогоднішній день кожна випускова кафедра готує самостійно дипломи і додатки до дипломів у електронному вигляді, щоб потім їх передати в типографію, де ці документи будуть надруковані. І лише невелика кількість закладів вищої освіти мають можливість купити комерційне програмне забезпечення або вже розробили його власними силами. Всі інші ЗВО вимушені працювати з великою кількістю паперових документів, які слід перевести в електронний вигляд і розташувати в документі про вищу освіту державного зразка відповідно до Закону України «Про вищу освіту». Саме за цієї причини виникає бажання автоматизувати процес заповнення додатків до диплому.

Ключові слова: додаток до диплому, ЗВО, ЄДЕБО.

Підготовка та виготовлення документів про вищу освіту державного зразка відповідно до Закону України «Про вищу освіту» покладені на заклади вищої освіти (ЗВО). При цьому використовується інформація про випускників, яка зберігається в Єдиній державній електронній базі з питань освіти (ЄДЕБО). Але наявної в ЄДЕБО інформації (персональних даних випускників, даних про здобуту кваліфікацію (ступінь вищої освіти, назву спеціальності, назву освітньої програми тощо), облікових даних документів про вищу освіту тощо) достатньо тільки для підготовки до друку дипломів про вищу освіту [1]. Але до диплому є додаток, який потрібно заповнювати інформацією, що знаходиться у різних документах (в освітньо-професійній програмі, індивідуальному плані студента, відомостях успішності за всіма дисциплінами, які вивчав студент тощо).

У попередній версії ЄДЕБО була спроба автоматизувати введення даних про навчальні плани та успішність здобувачів освіти, але з переходом до поточної версії ЄДЕБО ця функціональність була усунена. Таким чином, для підготовки додатків до дипломів про вищу освіту частина даних експортуються

з ЄДЕБО, а інша інформація про зміст та результати навчання, про академічні та професійні права та деякі додаткові дані вноситься іншим способом. Форму додатку до диплому про вищу освіту затверджено наказом Міністерства освіти і науки України [2].

У даний час більшість ЗВО в Україні не мають інформаційної системи (ІС) власної розробки, а отже при оформленні додатків до дипломів досі працюють з документами у паперовому вигляді та документами, які надаються окремо з різних джерел, які потім вручну конвертуються в електронні версії. Так, наприклад, підсумкові оцінки кожного студента містяться у паперових відомостях про успішність, які видає деканат ЗВО. Окрім цього, при занесенні оцінок у додаток до диплому, слід враховувати, що у кожного студента різні вибіркові дисципліни, а отже додатково слід поділити студентів на групи за однаковими вибірковими дисциплінами і тільки тоді занести ці дані у загальну таблицю. І це лише один з прикладів роботи з документами, які великим «інформаційним потоком» надсилаються відповідальним за додатки співробітникам. Як наслідок, це займає значний час та зусилля.

Враховуючи досить велику кількість випускників, різноманітність спеціальностей та освітніх програм, за якими навчаються студенти, для ЗВО є актуальною проблема автоматизації процесу підготовки додатків до дипломів про вищу освіту.

У відкритому доступі в мережі Інтернет були знайдені ІС комерційної розробки [3, 4]. Окрім цього була знайдена інформація про ІС власної розробки ЗВО, які знаходяться у закритому доступі, такі як Єдине інформаційне середовище Національного університету «Києво-Могилянська академія» та Електронна система управління навчальним процесом Львівського національного університету імені Івана Франка.

Кожні з цих ІС мають свої недоліки. Так, наприклад, ІС комерційної розробки мають платний доступ до свого функціоналу, а ІС власної розробки ЗВО знаходяться в закритому доступі, а отже ними неможливо буде скористатися. Окрім цього дані ІС потребують періодичного оновлення,

оскільки шаблон додатку до диплому може змінюватись. Також до недоліків вищезазначених ІС можна віднести надлишкову універсальність та складність налаштування.

У даній ситуації є сенс розпочати розробку власного програмного забезпечення, що дозволить:

- реалізувати функціонал, максимально пристосований до потреб випускової кафедри;
- суттєво зекономити власні кошти навчального закладу (ЗВО);
- швидко та ефективно підтримувати існуючі та розвивати нові модулі системи, орієнтуючись виключно на потреби конкретного навчального закладу.

Інформацію, яка потрібна для заповнення додатку до диплому можна умовно поділити на блоки, як показано на рис. 1.

До блоків з умовно-постійними даними належать:

- ✓ інформація про ЗВО;
- ✓ інформація про систему оцінювання;
- ✓ інформація про національну систему вищої освіти.

Ця інформація потенційно може змінюватись раз в декілька років під час реформи системи вищої освіти, отже, її можна внести у відповідні довідники.

Загальна інформація про кваліфікацію, спеціальність, здобуті результати навчання, перелік обов'язкових дисциплін та кількість кредитів по ним береться з освітньо-професійної програми, яка може корегуватись досить часто (кожні 1-2 роки), але вона є постійною для студента конкретного року набору. Тобто цю інформацію також можна зберігати у довідниках.

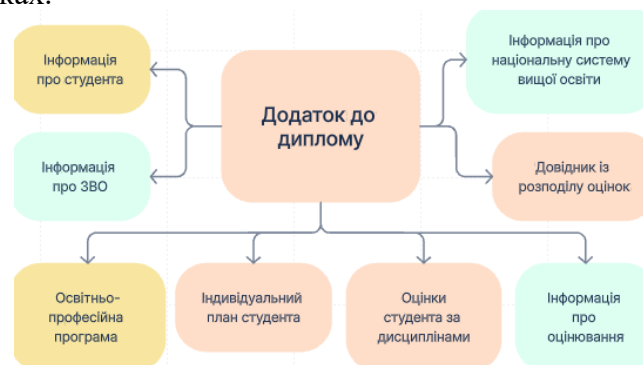


Рисунок 1. Аналіз наповнення додатку до диплому

Уся вищезазначена інформація є однаковою в додатках до диплому для усіх студентів одного року випуску. А далі йдуть відмінності, тобто інформація, яка належить конкретному студенту. Так блок «Інформація про студента» заповнюється інформацією із ЄДЕБО. Довідник із розподілу оцінок – це інформація про розподіл оцінок студента у відсотках, що є

найпростішим для автоматизації. А ось інформація про індивідуальний план студента та оцінки студента за дисциплінами – це потребує створення бази даних для накопичення вибірових дисциплін, які студенти повинні обрати за весь період навчання. Кількість дисциплін і послідовність їх вибору залежить від терміну навчання студента та його рівня (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл вибірових дисциплін по семестрам

Освітній рівень	Курс	Семестр 1, кількість дисциплін	Семестр 2, Кількість дисциплін	Усього дисциплін за курс
Бакалавр 3 роки 10 міс.	1	0	0	0
	2	2	2	4
	3	2	2	4
	4	3	1	4
Бакалавр 2 роки 10 міс.	1	0	1	1
	2	2	2	4
	3	3	1	4
Бакалавр 1 рік 10 міс.	1	0	2	2
	2	3	1	4
Магістр	1	0	5	5
	2	0	0	0
Аспірант	1	0	1	1
	2	2	0	2
	3	0	0	0
	4	0	0	0

Окрім цього, потрібно зберігати оцінки студента в кожному семестрі по кожній дисципліні. Однак якщо дисципліна викладається в двох семестрах, то у додаток до диплому слід ставити розрахунок середнього арифметичного балів за два семестри.

Вирішення цих задач дозволить значно спростити роботу осіб, відповідальних за формування дипломів та додатків до них. Результати цієї роботи в подальшому можуть бути використаними у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.

ЛІТЕРАТУРА

1. Реєстри ЄДЕБО, Про ЄДЕБО. Електронний ресурс: <https://info.edbo.gov.ua/about/>.
2. Наказ МОН України від 25.01.2021 р. № 102 «Про затвердження форм документів про вищу освіту (наукові ступені) та додатка до них, зразка академічної довідки», поточна редакція від 18.04.2023 р., підстава – з3438-23.

3. Інформаційно-виробнича система (IBC) «OCBITA».
Електронний ресурс: <https://osvita.net/ua/>.
4. WEB-сервіс компанії DIGI Solution «WebPPP».
Електронний ресурс: <https://www.webppp.in.ua>.

THE ISSUE OF PREPARING ADDENDUMS TO DIPLOMAS OF GRADUATES OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN MODERN CONDITIONS

Mukola Zakharov, Nadiia Karpenko

Abstract. *This work is dedicated to the issue of preparing addendums to diplomas of graduates of higher education institutions. Nowadays, each graduating department independently prepares diplomas and diploma addendums in electronic form to later send them to a printing house where these documents will be printed. Only a small number of higher education institutions have the opportunity to purchase commercial software or have already developed it themselves. All other institutions are forced to work with a large number of paper documents, which need to be converted into electronic form and placed in a state standard higher education document in accordance with the Law of Ukraine "On Higher Education." It is for this reason that there is a desire to automate the process of filling out addendums to diplomas.*

Keywords: *diploma supplement, HEI, EDEBO.*

REFERENCES

1. EDEBO registers, About EDEBO. Electronic resource: <https://info.edbo.gov.ua/about/>.
2. Order of the Ministry of Education and Culture of Ukraine dated January 25, 2021 No. 102 "On approval of forms of documents on higher education (degrees) and their annex, sample academic certificate", current version dated April 18, 2023, basis - z3438-23.
3. OSVITA information and production system (IPS). Electronic resource: <https://osvita.net/ua/>.
4. WEB service of the DIGI Solution company "WebPPP". Electronic resource: <https://www.webppp.in.ua>.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПОЇЗДІВ ІЗ СПІЛЬНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЇ З РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ

Єгоров О.Й.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. *З системами ідентифікації на залізничному транспорті тісно пов'язане створення інформаційно-диспетчерських систем, систем управління рухом окремих одиниць, як у межах станції, так і на прилеглих коліях. У даній роботі описана процедура методу ідентифікації, що дозволяє визначити поїзд зі списку можливих. При цьому використовуються дані контрольної ділянки та дані інформаційних систем верхнього рівня. Для досягнення поставленої мети використано метод моделювання та метод планування експерименту. Розроблена імітаційна модель методу ідентифікації дозволяє перевірити правильність роботи різних алгоритмів ідентифікації рухомих одиниць. Результати цієї роботи можуть бути використані для ідентифікації як окремих рухомих одиниць, так і всього поїзда.*

Ключові слова: *методи ідентифікації, ідентифікація рухомого складу, контрольна ділянка, міжосьова відстань, інформаційні системи.*

Одним із ключових аспектів функціонування автоматизованих систем управління на залізничному транспорті є безпосередньо інформація про об'єкти управління. Джерелами цієї інформації можуть бути різні підсистеми організації введення даних, як автоматизація, так і все ще використовують ручне введення.

Системи ідентифікації рухомих одиниць дозволяють автоматизувати введення деяких даних залежно від завдань ідентифікації. В основному можна виділити три напрями ідентифікації: визначення динамічних, статичних характеристик рухомих одиниць та номерів вагонів. У цій роботі розглядаються лише два останніх видів ідентифікації. Ідентифікація статичних характеристик рухомих одиниць включає визначення кількості осей, кількість рухомих одиниць, відстані між осями рухомих одиниць і, як результат, тип рухомих одиниць. Ідентифікація відбувається на спеціально обладнаних засобах залізничної автоматики ділянках залізниці. Для визначення номерів вагонів було зроблено спроби розробки та впровадження систем, що використовують різноманітні методи передачі на відстань. Найбільш вдалим

з них були системи, що використовують телевізійно-цифрові комплекси та RFID-системи. Перші з них, що використовують набори відеокамер і засобів розпізнавання зображення, не набули широкого поширення і в основному використовуються лише на деяких нечисленних станціях. Другі, що використовують вагонні датчики та пристрої зчитування з них інформації на відстані за допомогою мікрохвиль, виявилися дорогими та трудомісткими, з точки зору їх впровадження та супроводу. Сьогодні вони перебувають у «замороженому» стані.

Системи ідентифікації дозволяють отримати різну інформацію різних технологічних етапах обробки вагонопотоків. При прибутті та відправленні поїзда на станції сортування відбувається списування номерів кожної рухомої одиниці; постійно ведеться відстеження руху складів та окремих відцепів по коліях парків сортувальної станції за допомогою підлогового обладнання; при скочуванні відцепів із гірки відбувається визначення їх динамічних характеристик та контроль правильності розпуску складів.

Метою даної роботи є розробка процедури, яка дозволить ідентифікувати поїзд, зіставивши дані отримані з інформаційної системи верхнього рівня та дані, отримані при ідентифікації вагонів поїзда після проходження контрольної ділянки.

Метод ідентифікації складається з наступних етапів:

- визначення статичних характеристик вагонів поїзда;
- формування можливих комбінацій номерів кожного з вагонів;
- зіставлення даних отриманих з верхнього рівня та розрахованими комбінаціями номерів вагонів.

Визначення статичних характеристик вагонів поїзда та його локомотива виконується на стандартній триточковій контрольній ділянці.

Для апробації та перевірки правильності роботи запропонованого методу ідентифікації поїзда було обрано імітаційне моделювання. Розроблена імітаційна модель містить інформацію про більш ніж 50 поїздів. Результати імітаційного моделювання показали, що розроблена процедура для методу ідентифікації поїздів має високу надійність та правильність роботи.

За результатами застосування різних методів ідентифікації рухомих одиниць з використанням контрольних ділянок та встановлених на них засобів залізничної автоматики, було зроблено такі висновки:

- при розробці систем ідентифікації найбільш правильно розглядати питання щодо спільного використання на одній контрольній ділянці двох і більше методів ідентифікації, придатних для даної контрольної ділянки з урахуванням її конструктивних особливостей; подібна інтеграція призведе до підвищення вірогідності ідентифікації;
- розроблена процедура визначення відповідності даних інформаційних систем верхнього рівня та даних ідентифікації, отриманих на контрольній ділянці, повною мірою відповідає поставленим цілям та підвищує достовірність ідентифікації рухомих одиниць та поїзда загалом.

ЛІТЕРАТУРА

1 Жуковицький І.В., Єгоров О.І. Процедура ідентифікації поїздів з використанням інформації АСК ВП УЗ-Е / І.В. Жуковицький, О.І. Єгоров // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - Харків. - 2015.-№6(115).-С.61-66 (фахове видання).

IDENTIFICATION OF TRAINS FROM VARIOUS SOURCES OF INFORMATION

Yehorov O.

Abstract. *Creating of information and control systems, rolling unit traffic control systems, both within the station and on the adjacent tracks, is closely linked to the identification systems. This paper describes the procedure of the identification method allowing to determine a train from the list of possible. This uses a data of the control section and a data of the top-level information systems. To achieve the set purpose the simulation method and experiment planning method were used. The developed simulation model of the identification method allows you to check the correct operation of different algorithms for identifying rolling units. The results of this work can be used to identify both individual rolling units and the whole train.*

Keywords: *method of identification, rolling stock identification, control section, axle spacing, information systems.*

REFERENCE

1. Zhukovytskyi I., Yehorov O. The procedure for identifying trains using information from ASK VP UZ-E / I. Zhukovytskyi, O. Yehorov // Information and security systems in railway transport. – Kharkiv. – 2015.–№6(115).–P.61–66 (fahove vidannya).

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД У ПРОГНОЗУВАННІ ЧАСОВИХ РЯДІВ: ВІД ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ ДО НОВАТОРСЬКОЇ МОДЕЛІ TIMESFM

Перцев Ю.О.¹, Коротка Л.І.¹

¹ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Україна

Анотація: *Прогнозування часових рядів є важливим інструментом для компаній у сучасному світі. Воно дозволяє приймати обґрунтовані рішення на основі аналізу історичних даних та передбачень майбутніх тенденцій. У цьому контексті використовуються різні моделі, такі як ARIMA, LSTM, Prophet та XGBoost. Проте їх застосування часто вимагає значного часу для доналаштування. З метою вирішення цієї проблеми Google розробив модель TimesFM, яка забезпечує прогнозування часових рядів без потреби в навчанні. TimesFM показує високу продуктивність та точність на різних типах даних, що робить його потужним інструментом для бізнесу.*

Ключові слова: *Прогнозування часових рядів, ARIMA, LSTM, TimesFM*

В сучасному світі прогнозування часових рядів має важливе значення для компаній, оскільки воно дозволяє їм приймати рішення, використовуючи історичні дані про результати діяльності. Вони допомагають передбачити майбутні тенденції. Компанії та підприємці використовують фінансове прогнозування, щоб визначити, як розподілити свої ресурси, чи будуть очікувані витрати на певний період.

Інвестори використовують фінансове прогнозування, щоб визначити, чи вплинуть певні події на акції компанії. Інші аналітики використовують прогнози для екстраполяції того, як зміняться такі тенденції, як внутрішній валовий продукт чи безробіття наступного року. Що далі за часом, то менш точним буде прогноз.

Традиційний спосіб прогнозування часових рядів

На даний момент для прогнозування часових рядів існують різні підходи, які використовуються в промисловості та академічних дослідженнях. Обраний метод зазвичай залежить від характеристик даних і конкретного завдання прогнозування. На теперішній час найвідомішими моделями які широко поширені є:

1. ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average). Як відомо, ARIMA – це класична статистична модель, яка поєднує авторегресію (AR) та ковзне середнє (MA). Модель забезпечує хорошу продуктивність для даних часових рядів із сильною сезонністю або трендом.

2. Мережі LSTM (Long Short-Term Memory). Типом рекурентної нейронної мережі (RNN) є LSTM – це модель глибокого навчання, призначена для фіксації довгострокових залежностей у послідовних даних.

3. Бібліотека Prophet. FBProphet була розроблена Facebook. Інструмент прогнозування Prophet розроблений для даних часових рядів, які демонструють закономірності в різних часових масштабах; добре обробляє відсутні дані та викиди.

4. Високоєфективна бібліотека для машинного навчання XGBoost (Extreme Gradient Boosting). XGBoost є алгоритмом ансамблевого навчання, який використовує градієнтний бустинг для побудови моделей. Може використовувати прогнози з кількох слабких моделей та об'єднати результати для створення остаточного прогнозу. Для пошуку складних зв'язків у даних часових рядів це дуже добре [1].

Які моделі використовувати залежить від типу даних [2 - 4]. Однак варто зауважити, що під час використання цих моделей значний час витрачається на їх доопрацювання. Щоб вирішити цю проблему та використати останні досягнення в LLMs (generative AI), Google запустив нову модель TimesFM, яка є базовою моделлю декодера, яка може виконувати прогнозування часових рядів із нульовим навчанням.

Google TimesFM: базова модель декодера для прогнозування часових рядів

TimesFM розроблено як попередньо навчену модель прогнозування з 200 мільйонами параметрів, що використовує великий корпус часових рядів із 100 мільярдів реальних часових точок.

На відміну від великих мовних моделей (LLM), які зазвичай навчаються за допомогою декодера для обробки природної мови, TimesFM адаптує архітектуру декодера до прогнозування часових рядів. У моделі

використовуються складені трансформаторні шари, які розглядають суміжні моменти часу як маркери. Унікальною особливістю є використання багат шарового блоку персептрона із залишковими зв'язками для перетворення фрагментів часових рядів у токени. Під час навчання модель вчиться прогнозувати наступні часові точки, причому довжина вихідного фрагмента потенційно перевищує довжину вхідного фрагмента. Ця архітектура забезпечує ефективне прогнозування з меншою кількістю кроків генерації під час висновку.

Щоб підвищити продуктивність моделі, для попереднього навчання використовується комбінація синтетичних і реальних даних. Синтетичні дані допомагають досягнути фундаментальні часові закономірності, тоді як підібраний корпус із 100 мільярдів часових точок, включаючи дані з Google Trends і переглядів сторінок у Вікіпедії, надає відтінок реального світу, допомагаючи моделі узагальнювати різні домени.

Архітектура моделі

Трансформери показали багатообіцяючі результати в адаптації до іншої тривалості контексту. Під час навчання модель розбиває часовий ряд на кілька патчів. Патч часового ряду є природним аналогом токена в мовних моделях і покращує продуктивність. Крім того, це покращує швидкість висновку, оскільки кількість токенів, що подаються в трансформатор, зменшується на коефіцієнт довжини патча.

TimesFM – це модель лише для декодера, що означає, що для заданої послідовності вхідних патчів модель передбачає наступний патч як функцію всіх попередніх патчів. Має блок попередньої обробки у вигляді вхідних шарів, який перетворює часові ряди на вхідні токени.

Спочатку розбиваються дані на суміжні фрагменти, які не перекриваються. Потім кожен патч обробляється залишковим блоком у вектор розміру моделі. Бінарна маска заповнення постачається разом із вхідним шаром. Залишковий блок – це, по суті, блок багаторівневого персептрона (MLP) з одним прихованим шаром із з'єднанням пропуску.

Ця модель має ряд трансформаторних шарів, які розміщені один на одному. Кожен із цих рівнів має стандартну багатоголову самоувагу (SA), за

якою слідує мережа прямого зв'язку (FFN). Модель використовує причинну увагу (рис. 1), тобто кожен вихідний токен може відповідати лише вхідним токенам, які передують йому в послідовності (включаючи відповідний вхідний токен). Це можна описати рівнянням:

$$o_j = \text{StackedTransformer}((t_1, m_1), \dots, (t_j, m_j)), j \in [N] \quad (1)$$

Продуктивність

Для вимірювання прогнозу моделі використовується метрика MSE (середня квадратична похибка), яка кількісно визначає близькість між фактичними та прогнозованими значеннями.

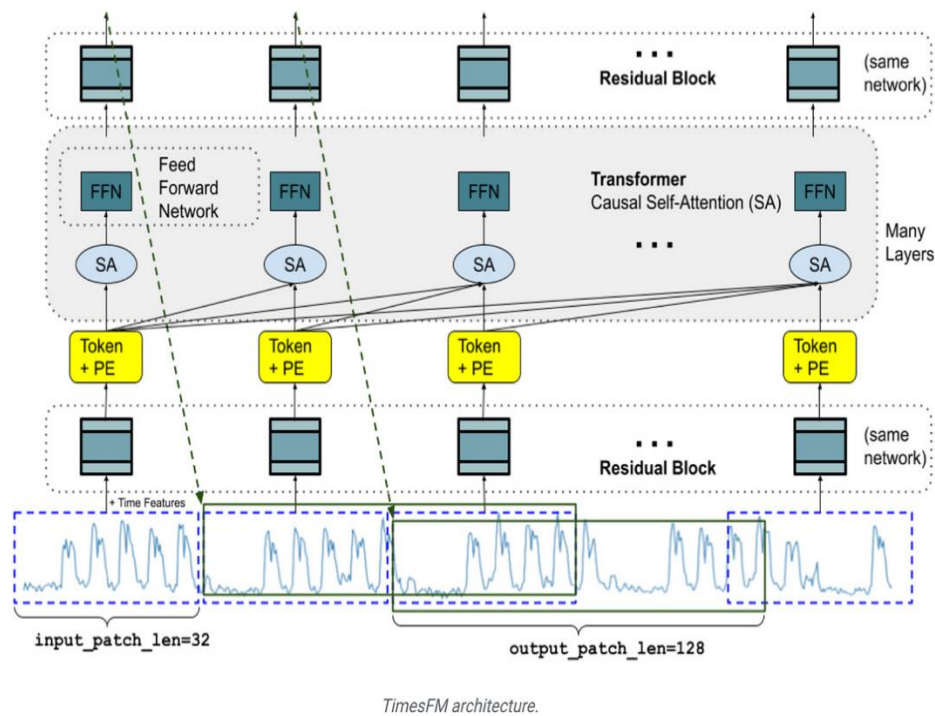


Рисунок 1 Архітектура мережі

TimesFM оцінюється шляхом нульового тестування на різних еталонних показниках часових рядів, демонструючи продуктивність, близьку до найсучаснішого рівня, порівняно зі статистичними методами, такими як ARIMA, і такими моделями DL, як DeepAR і PatchTST. Ефективність моделі продемонстрована в архіві прогнозів Монаша та популярних еталонних тестах для довгострокового прогнозування, перевершуючи як контрольовані, так і нульові підходи.

Запропонована архітектура TimesFM, незважаючи на свій менший розмір, виявляється потужним інструментом для точного та ефективного прогнозування в різноманітних програмах.

ЛІТЕРАТУРА

- 1.Перцев Ю. О., Коротка Л. І. Порівняння нейронних мереж RNN та LSTM типу при прогнозуванні цін на фондовому ринку. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (1-3 листопада 2023 року м. Дніпро, Україна). С. 124-127.
- 2.Abhimanyu Das, Weihao Kong, Rajat Sen, Yichen Zhou A decoder-only foundation model for time-series forecasting arXiv:2310.10688
3. [Electronic resource] - <https://blog.research.google/2024/02/a-decoder-only-foundation-model-for.html>
(Доступ 31.03.2024)
4. Зеленцов Д.Г. Технології обчислювального інтелекту в задачах моделювання динамічних систем: монографія / Д.Г. Зеленцов, Л.І. Коротка // - Дніпро: Баланс-Клуб, 2018. - 178 с.

Innovative Approach to Time Series Forecasting: From Traditional Methods to the Cutting-Edge Model TimesFM

Pertsev Y., Korotka L.

Abstract. *Forecasting time series is crucial for companies as it enables them to make informed decisions using historical data and future predictions. Various approaches exist for time series forecasting, each tailored to different data characteristics and forecasting tasks. Currently, widely known models include ARIMA, LSTM networks, Prophet, and XGBoost. However, these models often require significant preprocessing time. To address this issue and leverage recent advancements in generative AI, Google introduced TimesFM, a decoder-only model specifically designed for time series forecasting. TimesFM utilizes transformer layers and a multi-layer perceptron block to transform time series fragments into tokens, enabling efficient forecasting with minimal generation steps. Synthetic and real-world data are combined for pretraining to capture fundamental temporal patterns and enhance model generalization. Evaluation demonstrates TimesFM's competitive performance across various benchmark time series datasets compared to traditional statistical methods and DL models.*

Keywords: *Time series forecasting, ARIMA, LSTM, TimesFM*

REFERENCE

- 1.Pertsev Yu. O., Korotka L. I. Porivniannia neironnykh merezh RNN ta LSTM typu pry prohnzuvanni tsin na fondovomu rynku. Materialy VIII Mizhnarodnoi naukovو-

tekhnichnoi konferentsii kompiuterne modeliuvannia ta optymizatsiia skladnykh system (1-3 lystopada 2023 roku m. Dnipro, Ukraina). S. 124-127.

Abhimanyu Das, Weihao Kong, Rajat Sen, Yichen Zhou A decoder-only foundation model for time-series forecasting arXiv:2310.10688

3. [Electronic resource] - <https://blog.research.google/2024/02/a-decoder-only-foundation-model-for.html>

(Dostup 31.03.2024)

4. Zelentsov, D.G. and Korotkaya, L.I. (2018) Tehnologii vyichislitelnogo intellekta v zadachah modelirovaniya dinamicheskikh sistem: monografiya [Technologies of Computational Intelligence in Tasks of Dynamic Systems Modeling: Monograph], Balans-Klub, Dnepr, 178pp.

КОМПЛЕКСНІ ОНТОЛОГІЧНІ ТА НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ МОДЕЛІ ФОТОГРАФІЧНИХ ОБРАЗІВ

Галушка О.В., Шинкаренко В.І.

Український державний університет науки і технологій, Україна, Дніпро

Анотація. Ця стаття досліджує інноваційний підхід до розробки систем комп'ютерного зору, заснований на глибокій інтеграції онтологічних та нейромережових моделей для ефективного аналізу фотографічних зображень. У цій роботі пропонується новий гібридний метод у контексті сучасних викликів, пов'язаних з розпізнаванням зображень, таких як висока різноманітність класів та проблеми оклюзії об'єктів на фотографіях низької якості. Цей метод надає моделям комп'ютерного зору здатність до глибшого розуміння контексту та семантики зображень, використовуючи онтологічні структури для представлення візуального вмісту. Аналітичний процес включає ідентифікацію ключових об'єктів на зображенні та визначення їхнього онтологічного контексту, що дозволяє нейронним мережам ефективно виконувати градієнтну трансформацію вхідних даних для більш точного розпізнавання та класифікації. Запропонована модель демонструє потенціал для отримання переваги над традиційними методами у задачах комп'ютерного зору, відкриваючи нові можливості для розширення застосувань комп'ютерного зору у науковій, промисловій та побутовій сферах.

Ключові слова: Штучний інтелект, машинне навчання, глибоке навчання, нейронна мережа, онтологія, граф знань.

Основний матеріал. Системи та додатки, які використовують моделі машинного зору, відіграють все більшу роль в усіх аспектах життєдіяльності людини: в побуті, виробництві, науці, мистецтві та т.і.

Розробка та навчання моделей, здатних забезпечувати необхідну точність своєї роботи, ставлять перед інженерами штучного інтелекту серйозні виклики. Оглядаючи існуючі методики [1] в задачах комп'ютерного зору [2], ми стикаємося з рядом проблем, які впливають на ефективність та точність моделей.

Важливим аспектом є кількість та ступінь різноманітності класів, які модель може навчитись ефективно розпізнавати. Зі збільшенням кількості класів зростає складність моделі та потреба в більш різноманітних та об'ємних навчальних даних, що може ускладнити процес навчання. Досягнення високої

точності роботи моделі часто вимагає значних обчислювальних ресурсів. Це особливо актуально при роботі з великими наборами даних та складними моделями глибокого навчання [3].

Ще однією значною проблемою є частково закриті об'єкти. Коли об'єкти на зображенні перекриваються або закриваються іншими елементами сцени, це може значно знизити здатність моделі правильно їх розпізнати. Це вимагає від моделей глибшого розуміння контексту зображення та вміння виділяти корисну інформацію навіть з частково видимих об'єктів.

Фотографії поганої якості часто не можуть бути ефективно оброблені існуючими моделями. Це вимагає від розробників впровадження додаткових методів попередньої обробки зображень [4] або розробки більш розширених моделей, які здатні ефективно працювати з низькоякісними даними. Архітектурним прикладом таких моделей може бути сімейство нейронних мереж автоенкодерів [5].

Для підвищення ефективності моделей в задачах комп'ютерного зору, пропонується використання нового альтернативного підходу, який базується на гібридному методі, що інтегрує онтології [6, 7] з нейронними мережами. Цей підхід використовує онтологічну структуру як основу для семантичної контекстної структуризації зображення, що дозволяє моделі розуміти та інтерпретувати візуальний зміст на більш глибокому рівні.

Ініціалізація процесу аналізу починається з поділу вхідного зображення на регіони або субрегіони. Ці регіони називають «регіональними пропозиціями» або «регіональними кандидатами». Ця фаза аналізу відповідає за створення набору потенційних регіонів на зображенні, які ймовірно містять об'єкти. Гібридний підхід на основі онтологій та нейронних мереж сам не створює набір регіональних кандидатів, натомість він покладається на сторонні методи, такі як Selective Search [8] або Edge Boxes [9]. Виділення набору регіонів створює достатні умови для переходу до наступної фази аналізу – виявлення якірних об'єктів, як відправних точок для формування онтологічного контексту зображення.

Наступна фаза аналізу зображення полягає у попередній активації та виявленні об'єктів, які можуть бути ідентифіковані одразу без додаткових кроків. Їх розпізнавання дозволяє локалізувати онтологію та виділити певний її сегмент. Такий сегмент називається когнітивним контекстом зображення, який використовується для фокусування на концептах описаних в його межах. Цей контекст виступає базисом для нейронно-градієнтної трансформації зображення.

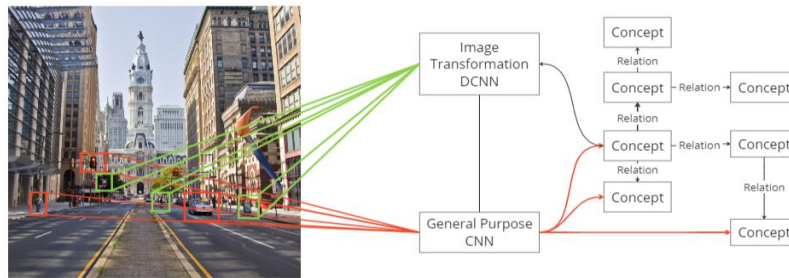


Рисунок 1 – Загальна структура онтологічної неймережевої моделі

Нейронно-градієнтна трансформація вхідного зображення – це наступна фаза аналізу, яку можна розуміти як складову механізму моделі. Суть методу полягає в частковій трансформації зображення використовуючи активації обраних нейронів моделі [10]. Механізм уяви призначений для комбінування та співставлення фактичних (зображених на вхідній фотографії) та еталонних образів об'єктів на основі локалізованого онтологічного сегменту.

Основна ідея такого підходу полягає у важливості врахування контексту того, що відбувається за аналогією з реальним світом. Кожна жива істота, яка сприймає цей світ за допомогою рецепторів будь-якого типу, завжди враховує контекст в комбінації з вхідними даними для формування остаточного виводу того, що вона зараз баче або чує, який смак або запах відчуває. При цьому контекст, як правило, не є однорідним за своєю природою, так як інформація поступає з різних органів чуття.

Висновок. Використання онтологічної структури в моделях глибокого навчання може значно покращити здатність моделей до розуміння контексту зображень, роблячи їх більш адаптивними та ефективними при роботі з різноманітними та складними візуальними даними. Онтології допомагають моделям встановлювати зв'язки між об'єктами та їх атрибутами, підтримуючи

більш глибоке семантичне розуміння зображень, що може виявитися особливо корисним у ситуаціях з перекритими об'єктами або нечіткими зображеннями. Таким чином, гібридний підхід, що поєднує онтології з нейронними мережами, відкриває нові перспективи для розвитку більш інтелектуальних та ефективних систем комп'ютерного зору.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Siwei, C. Analysis of object recognition trends based on deep learning. ACE (2023) Vol. 5: 292-299. DOI: 10.54254/2755-2721/5/20230582.
2. Snyder WE, Qi H. Fundamentals of Computer Vision. Cambridge University Press; 2017.
3. Farsal, W., Anter, S. & Ramdani, M. Deep learning: An overview. in Proceedings of the 12th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications 1–6 (ACM, 2018). DOI: <https://doi.org/10.1145/3289402.3289538>
4. Distantе A, Distantе C Image segmentation. In Handbook of image processing and computer vision. Springer, Cham (2020), pp 271–332. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-42374-2_5
5. Xinlin, Z., Yuanmeng, H., Li Z., Yajing, K., Xiang, G., Huajing, W. Review of Deep Neural Network Based on Auto-encoder. DEStech Transactions on Computer Science and Engineering. 2019, 10.12783/dtcse/iciti2018/29087.
6. Qiao, L., Yang, L., Hong, D., Yao, L., Zhiguang, Q. Knowledge Graph Construction Techniques[J]. Journal of Computer Research and Development, 2016, 53(3): 582-600. DOI: 10.7544/issn1000-1239.2016.20148228
7. Shynkarenko, V., Zhuchyi, L. Ontological suitability analysis of railway tracks for high-speed traffic. Computer Systems and Information Technologies, 2022, 3, 11-21. DOI: <https://doi.org/10.31891/csit-2022-3-2>
8. Uijlings, J. R., Van De Sande, K. E., Gevers, T., & Smeulders, A. W. Selective search for object recognition. International journal of computer vision, 2013, 104, 154-171.
9. Zitnick, C. L., & Dollár, P. Edge boxes: Locating object proposals from edges. In Computer Vision–ECCV 2014: 13th European Conference, Zurich, Switzerland, September 6-12, 2014, Proceedings, Part V 13 (pp. 391-405). Springer International Publishing.
10. Zeiler, Matthew D., Fergus, R.: Visualizing and understanding convolutional networks. In: Fleet, David, Pajdla, Tomas, Schiele, Bernt, Tuytelaars, Tinne (eds.) ECCV 2014. LNCS, vol. 8689, pp. 818–833. Springer, Cham (2014). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10590-1_53

COMPLEX ONTOLOGICAL AND NEURAL NETWORK MODELS OF PHOTOGRAPHIC IMAGES

Halushka O., Shynkarenko V.

Abstract. *This article explores an innovative approach to developing computer vision systems, based on the deep integration of complex ontological and neural network models for effective analysis of photographic images. This work proposes a novel hybrid method in the context of contemporary challenges associated with image recognition, such as a high diversity of classes and problems with the occlusion of objects in low-quality photos. This method provides computer vision models with a deeper understanding of the context and semantics of images, utilizing ontological structures to represent visual content. The analytical process includes the identification of key objects in the image and the determination of their ontological context, allowing neural networks to effectively perform a gradient transformation of the input data for more accurate recognition and classification. The proposed model demonstrates the potential for gaining an advantage over traditional methods in computer vision tasks, opening new possibilities for expanding computer vision applications in scientific, industrial, and domestic spheres.*

Keywords. *Artificial intelligence, machine learning, deep learning, neural network, ontology, knowledge graph.*

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПОТОКАМИ ПОВІДОМЛЕНЬ В ІНФРАСТРУКТУРАХ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Скалозуб В.В., Гасанов Р.З.

Український Державний Університет науки і Технологій. Україна.

Анотація. У доповіді розглянута одна з проблем, що виникає в розподілених інфраструктурах передачі даних - перевантаження мережевих вузлів при нестабільному зв'язку між вузлами. В якості рішення запропонований механізм керування інтенсивністю потоку повідомлень на основі нечіткої моделі. Розроблена модель нечіткого управління продемонструвала свою ефективність в мережі збору та передачі котировок фінансових інструментів з різних торговельних площадок до інформаційно-аналітичної системи фінансової компанії. Черги повідомлень на джерелах значно зменшилися, при цьому мінімізувалися втрати котировок на нестабільних каналах зв'язку. Також досліджена можливість більш гнучкого налаштування нечіткого управління шляхом розширення кількості метрик вхідних параметрів нечіткої моделі.

Ключові слова: нечітке управління, нечіткі моделі, прорідження потоку даних, інфраструктура передачі даних, програмне забезпечення, інтенсивність потоку повідомлень, час реакції приймача.

Завдання щодо керування потоками повідомлень являється одним із важливих у багатьох інфраструктурах передавання даних. У доповіді представлена і досліджується одна з проблем керування потоками таких повідомлень, яка полягає у наступному: при інтенсивному потоці повідомлень та нестабільному з'єднанні між джерелом та отримувачем на джерелі виникають черги повідомлень на відправку, що може призвести до аварійного завершення роботи вузла. При цьому «скидання» черги є надзвичайно небажаним рішенням, оскільки втрачається велика кількість даних. У якості рішення цієї проблеми запропоновано розріджування повідомлень, оскільки втрата невеликої кількості повідомлень цілком припустима. Однак постійно заданий інтервал може, з одного боку, призвести до необґрунтованого «скидання» повідомлень, у випадку якщо з'єднання швидке і дозволяє відправку більшого обсягу даних. З іншого боку, якщо з'єднання стає нестабільним, то жорстко заданий інтервал розріджування не забезпечить потрібного ефекту. Жорсткий інтервал також призведе до виникнення черг та

затримок і збільшить ризик аварійного завершення вузла та втрату накопичених даних у черзі. Для вирішення завдання обґрунтованого керування потоками повідомлень побудоване гнучке керування розміром розріджування повідомлень на вузлі. Керування залежить від характеристик з'єднання з такими вхідними параметрами: інтенсивність повідомлень (повідомлень на секунду, пов/с), час реакції отримувача (мс). Керованою величиною є інтервал розрідження повідомлень (мс).

У доповіді приведені рішення завдання керування потоками повідомлень в інфраструктурах передачі даних на основі формування нечіткої математичної моделі зазначених вище процесів. Модель дозволяє враховувати різноманітні умови та контексти, які можуть впливати на поведінку системи. Наприклад, в ситуаціях, де потрібне постійне налаштування параметрів, нечіткі правила можуть ефективно адаптуватися, базуючись на лінгвістичних змінних та їх нечітких множинах. Це робить управління більш гнучким і надійним, здатним адаптуватися до змінних умов середовища чи вимог.

Інфраструктура передачі даних складається з елементарних вузлів, які об'єднані в мережу. Принципи функціонування вузла: - кожен вузол може приймати повідомлення від будь-якої кількості інших вузлів та відправляти повідомлення на будь-яку кількість вузлів; - прийняте на вузол повідомлення розсилається всім приймаючим вузлам для даного вузла; - дані між вузлами передаються лише в одному напрямку; - у зворотньому напрямку вузол-отримувач відправляє лише відповідь на повідомлення контролю затримки (пінг), який з певною періодичністю відправляє вузол-джерело; - ініціатором з'єднання між вузлами виступає вузол-джерело; - джерело також контролює з'єднання: якщо вузол-отримувач недоступний, то вузол-джерело постійно намагається встановити з'єднання; - як тільки з'єднання встановлено, джерело починає передачу даних; - допускається розрідження потоку повідомлень, відправлених джерелом до отримувача. При цьому задається мінімальний інтервал часу між повідомленнями, а повідомлення що потрапляють всередину цього інтервалу відкидаються. Саме інтервал розрідження повідомлень (мс) являвся нечіткою керованою величиною.

У доповіді приведена нечітка модель керування потоками повідомлень при нечіткому інтервалі розрідження потоку, реалізована на основі методу Мамдані. Модель використовувала три лінгвістичні змінні: - інтенсивність повідомлень (Message Intensity, MI), $MI \in \{Low, Med, High\}$; - час реакції отримувача (Receiver Response Time, RRT), $RRT \in \{Fast, Med, Slow\}$; - інтервал розріджування (Throttling Interval, TI), $TI \in \{Short, Med, Long\}$. Нечіткі правила управління використовували нечіткі трикутні змінні. Дефазифікація результатів виконувалась за допомогою методу центру мас.

У доповіді також обговорюються питання щодо розширення приведеної нечіткої моделі за рахунок показника довжина черги відправлення. Обговорюються можливості впровадження нечіткого управління за типами повідомлень, коли правила визначаються окремо для кожного з передбачених типів повідомлень.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Siler W., Buckley J. Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning. — Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, Inc, 2005. P. 47-52
2. Sousa J.M., Kaymak U. Fuzzy decision making in modeling and control. — Danvers, USA: World Scientific Publishing Co, 2002. P. 60-67

Application Of Fuzzy Models To Control The Stream Of Messages In Data Transmission Infrastructures

Vladislav Skalozub, Rovshan Gasanov

Abstract. *The report presents one of the problems that arises in distributed data transmission infrastructures - node overload in data transmission when there is unstable communication between nodes. As a solution, a mechanism for controlling the message flow intensity based on a fuzzy model is proposed. The developed fuzzy control model has demonstrated its effectiveness in the network for collecting and transmitting quotes of financial instruments from various trading platforms to the information-analytical system of a financial company. Message queues at the sources have significantly decreased, while minimizing losses of quotes on unstable communication channels. Additionally, the possibility of more flexible adjustment of fuzzy control by expanding the number of metrics of input parameters of the fuzzy model has been explored.*

Keywords: *fuzzy control, fuzzy models, data stream thinning, data transmission infrastructure, software, message flow intensity, receiver reaction time.*

ОПТИМІЗАЦІЯ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕСУ ЗАСОБАМИ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Жульковський О.О.¹, Вохмянін Г.Я.¹, Жульковська І.І.², Пантейков С.П.¹

¹Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

²Університет митної справи та фінансів, Дніпро, Україна

Анотація. Традиційні методи оптимізації киснево-конвертерного процесу виробництва сталі базуються на досвіді та емпіричних правилах, але не завжди досягають максимальної ефективності. В рамках концепції Індустрії 4.0 застосування алгоритмів машинного навчання стає перспективним для оптимізації виробничих процесів. Вони дозволяють аналізувати великі обсяги даних, зібрані за допомогою безлічі різноманітних датчиків, які функціонують під час промислового процесу, і знаходити складні взаємозв'язки між параметрами для досягнення найкращих результатів. Створені моделі можуть працювати автоматично, аналізуючи дані в режимі реального часу і реагуючи на зміни у процесі. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє підвищити точність результатів і якість виробництва сталі шляхом оптимізації киснево-конвертерного процесу з урахуванням великої кількості параметрів та взаємозв'язків між ними.

Ключові слова: машинне навчання, BOF process, steelmaking, Індустрія 4.0, нейронні моделі.

Металургійна промисловість відстає від інших секторів економіки у застосуванні можливостей штучного інтелекту (Artificial Intelligence, AI). Лише 5-10% металургійних компаній прагнуть досягти високих результатів інвестування в основні напрями застосування AI, а саме прогнозування процесів, оптимізація параметрів, моніторинг та діагностика, автоматизація керування [1]. Для забезпечення надійності та злагодженості роботи металургійного обладнання увага акцентується на управлінні безперервними виробничими процесами. Тут відповідні алгоритми використовуються для підвищення ефективності та якості виробництва сталі, знижуючи витрати та ризики помилок. шляхом проведення аналізу накопичених даних.

Оптимізація киснево-конвертерного процесу (ККП), як найбільш прогресивного способу виробництва сталі, спрямована на забезпечення більш високих показників якості продукції, ефективного використання ресурсів і

зменшення витрат на виробництво. Традиційно оптимізація ККП здійснюється на основі раніше отриманого досвіду та емпіричних правил, що не завжди дозволяє досягти максимальної ефективності та якості готового продукту. Велика увага приділяється тут впровадженню інновацій у процес ККП. Зокрема, розвиток комп'ютерного моделювання дозволяє більш точно прогнозувати перебіг металургійних реакцій та оптимізувати параметри процесу [2, 3]. Використання AI і алгоритмів машинного навчання відкриває нові можливості для автоматизації й підвищення продуктивності сталеплавильних агрегатів. Поступово традиційні методи оптимізації поступаються місцем більш сучасним підходам, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності на світовому ринку.

Ефективне управління сучасним металургійним виробництвом передбачає постійний контроль за технологічними процесами. Для цього потрібні системи MES (Manufacturing Execution System) та SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), які дозволяють вирішувати різноманітні виробничі завдання, надаючи необхідну інформацію та рекомендації для управління процесами та обладнанням [4]. Промислові процеси широко використовують безліч різноманітних датчиків, генеруючи великі обсяги даних. Одна з цілей концепції Індустрії 4.0 – застосування методів обробки даних для оптимізації подібних процесів. З'являється можливість більш точного моделювання процесу та його оптимізації на основі аналізу великих обсягів даних.

Алгоритми машинного навчання здатні аналізувати багатовимірні та складні дані, які характеризують процеси, що протікають у кисневих конвертерах. За рахунок цього автоматичним чином визначаються складні взаємозв'язки між параметрами та оптимальні умови для досягнення бажаного результату. Процес оптимізації засобами алгоритмів машинного навчання здійснюється у декілька етапів. Першим є збір інформації про характеристики розплаву та основні технологічні параметри ККП. Далі зібрані дані аналізуються та готуються для навчання певної моделі. Другим етапом є вибір відповідної моделі машинного навчання. Серед існуючих виділяють

різноманітні види регресійних моделей та нейронних мереж. Наступним етапом проводиться навчання обраної моделі на раніше зібраних та підготовлених даних разом із налаштуванням параметрів навчального набору даних з метою мінімізації помилки передбачення. Після завершення етапу навчання моделі необхідно провести її валідацію на окремому тестовому наборі даних для здійснення оцінки точності та здатності до узагальнення на нові дані. Завершальним етапом є використання навченої моделі для оптимізації ККП у різноманітних задачах, наприклад, у прогнозуванні оптимальних параметрів процесу для досягнення заданих цілей, таких як мінімізація вмісту домішок, підвищення продуктивності, поліпшення якості продукції тощо.

Враховуючи велику кількість параметрів та взаємозв'язків між ними у ККП, моделі машинного навчання можуть досягати точніших результатів, ніж традиційні емпіричні методи [2]. Окрім цього, алгоритми машинного навчання можуть працювати автономним чином, швидко аналізуючи дані та реагуючи на умови, що змінюються з часом, проводячи при цьому оптимізацію в режимі реального часу. Це передумови для виявлення прихованих закономірностей, які допомагають краще зрозуміти фізичні процеси, що відбуваються у кисневих конвертерах. В цьому контексті, коли умови перебігу процесів не завжди є постійними, використання моделей машинного навчання є доцільним, оскільки вони мають здатність адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища та виробничого процесу. Вони автоматично коригують власні прогнози та рекомендації, враховуючи при цьому нові дані та умови, які з'являються у процесі виробництва. Ці фактори забезпечують стабільну якість продукції навіть при непередбачуваних змінах. Прогнозування відбувається на основі складних взаємозв'язків між різними параметрами процесу, які не завжди можуть бути виявлені людиною. Модель може автоматично виявляти неочевидні залежності між температурою, складом розплаву, продуктивністю конвертера, що дозволяє приймати оптимальніші рішення для підтримання високої ефективності виробництва.

На прикладі ККП доцільно використовувати алгоритм машинного навчання на основі даних для прогнозування кінцевої температури та концентрації хімічних елементів – фосфору, марганцю, сірки та вуглецю в розплаві. Цей підхід заснований на двох наборах даних. Перший набір містить статистичні ознаки, а другий охоплює часові ряди даних, які забезпечують більш точну оцінку кінцевої точки і дозволяють додатково налаштовувати, за необхідності, параметри процесу. Для обох підходів використовується модельний відбір ознак для фільтрації найбільш значущої інформації. Отримані результати порівнюються з метою отримання оцінки додаткової цінності включення аналізу часових рядів на продуктивність процесу ККП.

Таким чином, разом із розробленням інформаційно-моделюючих систем прогнозування стійкості металургійного обладнання на основі комп'ютерного моделювання процесів складного теплообміну у ККП, що є предметом наукових досягнень [5] авторів даної роботи, алгоритми машинного навчання можуть використовуватися для оптимізації ККП з метою підвищення його ефективності та якості конвертерної сталі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Як штучний інтелект застосовують у металургії. URL: <https://gmcenter.ua/opinion/yak-shtuchnij-intelekt-zastosovujut-u-metalurgii> (дата звернення: 20.03.2024).
2. Liu L. End-point Static Prediction of Basic Oxygen Furnace (BOF) Steelmaking Based on INPSVR and WOA / L. Liu, P. Li, M. Chu // 2021 33rd Chin. Control Decis. Conf. (CCDC). – 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/ccdc52312.2021.9601393>
3. Liu C. A Novel Dynamic Operation Optimization Method Based on Multiobjective Deep Reinforcement Learning for Steelmaking Process / C. Lui, L. Tang, C. Zhao // IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst. – 2023. – P. 1 – 15. DOI: <https://doi.org/10.1109/tnnls.2023.3244945>
4. MES vs SCADA in Industry 4.0. URL: <https://nexusintegra.io/mes-vs-scada> (дата звернення: 20.03.2024).
5. Zhulkovskii O. A. Information-modeling forecasting system for thermal mode of top converter lance / O. A. Zhulkovskii, S. P. Panteikov, I. I. Zhulkovskaya // Steel in Translation. – 2022. – Vol.52. – № 5. – P. 495 – 502. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0967091222050138>

OPTIMISATION OF THE BOF PROCESS USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Oleg Zhulkovskiy, Hlib Vokhmianin, Inna Zhulkovska, Serhii Panteikov

Abstract. *Traditional methods for optimising the BOF process in steelmaking are based on experience and rules of thumb, but do not always achieve maximum efficiency. As part of the Industry 4.0 concept, the use of machine learning algorithms is becoming a promising way to optimise production processes. They allow you to analyse large amounts of data collected by a variety of different sensors that operate during an industrial process and find complex relationships between parameters to achieve the best results. The created models can work automatically, analysing data in real time and responding to changes in the process. The use of machine learning algorithms can improve the accuracy of results and the quality of steel production by optimising the BOF process with a large number of parameters and their interrelationships.*

Keywords: *machine learning, BOF process, steelmaking, Industry 4.0, neural models.*

REFERENCE

1. Yak shtuchnyi intelekt zastosovuiut u metalurhii. URL: <https://gmkn.center.ua/opinion/yak-shtuchnij-intelekt-zastosovujut-u-metalurgii> (date of access: 20.03.2024).
2. Liu L. End-point Static Prediction of Basic Oxygen Furnace (BOF) Steelmaking Based on INPSVR and WOA / L. Liu, P. Li, M. Chu // 2021 33rd Chin. Control Decis. Conf. (CCDC). – 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/ccdc52312.2021.9601393>
3. Liu C. A Novel Dynamic Operation Optimization Method Based on Multiobjective Deep Reinforcement Learning for Steelmaking Process / C. Lui, L. Tang, C. Zhao // IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst. – 2023. – P. 1 – 15.
DOI: <https://doi.org/10.1109/tnnls.2023.3244945>
4. MES vs SCADA in Industry 4.0. URL: <https://nexusintegra.io/mes-vs-scada> (date of access: 20.03.2024).
5. Zhulkovskii O. A. Information-modeling forecasting system for thermal mode of top converter lance / O. A. Zhulkovskii, S. P. Panteikov, I. I. Zhulkovskaya // Steel in Translation. – 2022. – Vol.52. – № 5. – P. 495 – 502. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0967091222050138>

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНОГО ЕВОЛЮЦІЙНОГО МЕТОДУ НА ОСНОВІ РОЮ ЧАСТОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ ШТУЧНОЇ ІМУННОЇ СИСТЕМИ В ЗАДАЧАХ ОПТИМІЗАЦІЇ

Зіборов І.К., Желдак Т.А.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. Розглянуто гібридний еволюційний метод розв'язання задач умовної та безумовної оптимізації в неперервному просторі на основі рою частинок та моделювання штучної імунної системи HIPSO. За допомогою методу розв'язано 30 тестових задач у 25-вимірному дійсному просторі. Результати порівнюються з іншими відомими еволюційними методами. Показано, що метод надійно розв'язує 90% тестових задач, а в 67% випадків знаходить глобальний оптимум швидше, ніж конкуруючі методи. Експериментально доведено, що запропонований метод знаходить найкращий розв'язок з похибкою до 2,6% на широкому діапазоні реальних задач з ймовірністю, що перевищує 0,813. Translated with DeepL.com (free version).

Ключові слова: оптимізація, гібридний метод, еволюційний алгоритм, тестування, надійність, інформаційні технології

Раніше авторами був запропонований гібридний еволюційний метод розв'язання задач умовної та безумовної оптимізації в неперервному просторі на основі рою часток та моделювання штучної імунної системи HIPSO [1]. Він, на відміну від інших реалізацій методу рою часток, використовує принцип змагання підгруп рою та оператор стиснення популяції, властиві методу моделювання штучних імунних систем.

Для тестування та порівняння ефективності розробленого та відомих ефективних еволюційних методів оптимізації було використано два підходи. Спочатку запропонований метод порівнювався з аналогами – відомими еволюційними методами оптимізації при розв'язанні тестових задач з відомим глобальним оптимумом. Після чого запропонований метод порівнювався з тими ж відомими методами при розв'язанні реальних задач виробництва.

Для реалізації першого етапу тестування в базі тестових функцій [2] відібрано 30 функцій з різними властивостями за кількістю локальних екстремумів, роздільністю, масштабованістю та наявністю «долин».

В якості альтернативних методів для порівняння розглянуті: генетичний алгоритм (ГА) з турнірним оператором селекції, рівномірним схрещуванням та гаусівською випадковою мутацією [3]; метод імітації відпалу (simulated annealing, SA) [4]; класичний метод рою часток (particle swarm optimization, PSO) в нотації [5].

Для оцінки якості алгоритмів оптимізації традиційно використовуються наступні показники [6]:

- якість рішення (в сенсі значення цільової функції на просторі можливих рішень),
- повторюваність рішення (у відносному значенні при кількох послідовних запусках для однієї й тієї ж задачі),
- складність отримання рішення (у кількості ітерацій або звернень до цільової функції).

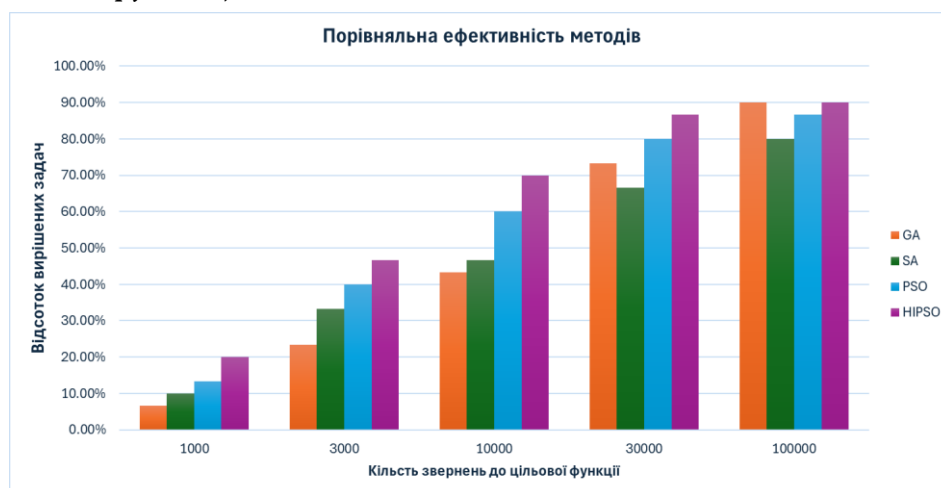


Рис. 1 Порівняльна ефективність методів за відсотком розв'язаних задач

Оскільки алгоритми, що порівнюються надалі, мають суттєво різну структуру і фізичний час виконання однієї ітерації у них може відрізнятися на порядки, надалі пропонується використовувати саме показник кількості звернень до цільової функції, необхідних для обчислення значення, що є рішенням тієї чи іншої оптимізаційної задачі. Також важливо, наскільки цей показник стабільний, тому будемо оцінювати також його дисперсію.

При порівняльному тестуванні кожна з тестових задач вирішувалась у 25-вимірному просторі кожним з методів по 50 разів. При цьому фіксувалися як проміжні, так і підсумкові розв'язки, отримані кожним методом. Результати порівняльного тестування ілюструють рис. 1 та рис. 2.

На рис. 1 показано, який відсоток тестових задач хоча б раз вдало вирішував кожен з методів, витративши на це певну кількість звернень до цільової функції. Фактично це означає кількість обстежених точок простору до першого потрапляння в глобальний оптимум із заданою точністю (в даному тесті – 10^{-6}). Як видно, запропонований гібридний метод HIPSO вирішує таку ж або більшу кількість задач за однаковий час, як і методи-конкуренти.

Хоча в підсумку перевага методу HIPSO над іншими методами пошукової оптимізації здається не суттєвою (79,8% знайдених глобальних оптимумів проти 76,6% у класичного методу рою часток та 74,4% - у генетичного алгоритму), графік на рис. 1 показує іншу сильну сторону цього метода, добре ілюстровану рисунком 2.

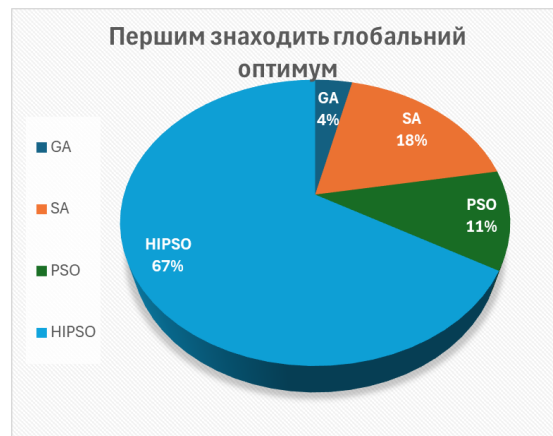


Рис. 2 – Порівняння методів за швидкістю знаходження глобального оптимуму

На ньому відображений розподіл між методами випадків знаходження глобального оптимуму для всіх задач по всіх запусках. Враховані лише запуски і задачі, де глобальний оптимуму було знайдено.

Як видно з рисунку 2, на всьому масиві тестових задач, метод HIPSO витрачає на пошук оптимального рішення менше звернень до цільової функції, ніж решта алгоритмів приблизно у 2/3 випадків. Швидкість знаходження рішення в багатовимірному дійсному просторі є важливою перевагою при супроводі прийняття рішень у прокатному виробництві. В складі інформаційної технології супроводу управлінських рішень в прокатному виробництві розглядаються наступні оптимізаційні задачі [7]:

- Оптимізація шихти при конвертерному виробництві;

- Відновлення функцій математичних моделей сертифікації готової продукції;
- Оптимізація використання феросплавів при розкисленні сталі.
- Виходячи з викладеного, крім відомих тестових функцій для дослідження ефективності запропонованого методу було розглянуто наступні задачі з повсякденної практики прокатного виробництва:
- Шихта1 - Шихта 4 - шихтування плавки сталі різних марок при різних початкових умовах (наявність складових шихти, якість чавуну);
- Відновлення1 - Відновлення4 – відновлення залежності різних механічних властивостей сортового прокату від параметрів ведення плавки для різних марок сталі.

Всі задачі передбачають мінімізацію певної цільової функції. Для задач шихтування вона вимірюється у гривневому еквіваленті вартості готового металу за тону; для задач відновлення залежностей цільова функція має сенс мінімуму помилки апроксимації при використанні мінімальної кількості невідомих.

Порівняльні результати вирішення цих задач згаданими методами при 50 повторних запусках з однаковими початковими даними зведені в таблицю 1. В таблиці використані наступні умовні позначення: $M\{F\}$ – математичне очікування кількості звернень до цільової функції для отримання рішення, що не покращується в подальшому, разів; $\sigma\{F\}$ – стандартне відхилення цієї кількості звернень, разів; $P, \%$ - повторюваність рішення, відносна частка однакових кращих рішень при повторних запусках; F_{best} – відносне значення кращого рішення, що забезпечує даний метод, у порівнянні з іншими методами. Останнє значення перераховане до однакової для всіх відносної шкали.

Таблиця 1

Результати експериментів

Задача	GA / PSO				Simulated Annealing				HIPSO			
	$M\{F\}$	$\sigma\{F\}$	$P, \%$	F_{best}	$M\{F\}$	$\sigma\{F\}$	$P, \%$	F_{best}	$M\{F\}$	$\sigma\{F\}$	$P, \%$	F_{best}
Шихта1	36485	1342	14	1.000	10811	233	34	1.022	15537	538	78	1.028
Шихта2	125013	1957	22	1.866	11077	409	4	1.184	15243	548	70	1.000
Шихта3	93100	6074	36	1.358	11548	409	32	1.227	18376	698	88	1.000
Шихта4	115859	11836	26	2.031	12324	568	42	1.884	25709	511	54	1.000
Відновлення1	16868	686	12	1.040	10450	41	88	1.040	16888	577	100	1.000
Відновлення2	19196	5393	16	1.088	10453	124	92	1.000	15849	1596	94	1.000
Відновлення3	18194	3525	20	1.000	10860	255	66	1.000	16292	1890	80	1.177
Відновлення4	21096	2811	24	1.040	10972	232	88	1.067	18810	1442	86	1.000
Середнє	55726	4203	21.3	1.303	11061	283	55.8	1.178	17838	975	81.3	1.026

Аналізуючи результати експериментів в таблиці 1, можна відзначити наступні особливості. По-перше, запропонований метод HIPSO має високу точність і повторюваність результатів при розв'язанні задач в дійсному просторі пошуку рішення. Лише для двох задач з 8 знайдене ним рішення виявилось не найкращим в порівнянні з рішеннями, знайденими іншими алгоритмами. Фактично з ймовірністю більше 0,813 запропонований алгоритм знаходить найкраще рішення з помилкою до 2,6%. По-друге, для пошуку рішення в дійсному просторі метод HIPSO використовує значно менше машинного часу ніж метод рою часток, поступаючись методу імітації відпалу.

Також до значних переваг методу розв'язання оптимізаційних задач HIPSO слід віднести мультиваріантність, адже завдяки механізму стиснення популяції і усування близьких геномів-рішень, підсумкова популяція містить набір субоптимальних рішень, відмінних між собою. Ця особливість дає змогу особі, що приймає рішення, переглянувши варіанти рішень, обрати можливо й не найкраще з точки зору глобального критерію оптимізації, але таке рішення, що є більш прийнятним з міркувань подальшого технологічного процесу.

Висновки. Підсумовуючи викладене, пропонується надалі в якості методу пошуку рішення в задачах оптимізації шихти при конвертерному виробництві, оптимізації використання феросплавів та відновлення функцій математичних моделей сертифікації готової продукції застосовувати гібридний еволюційний метод на основі рою часток та моделювання штучної імунної системи.

Експериментально доведено, що запропонований метод знаходить найкраще рішення з помилкою до 2,6% на широкому колі реальних задач з ймовірністю більше 0,813.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зіборов, І.К., Желдак, Т.А. Еволюційний метод пошукової оптимізації на основі рою часток та моделювання штучних імунних систем. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security, №4, 2023. с. 3–12
2. Jamil M., Yang X. S. A literature survey of benchmark functions for global optimisation problems, International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation, 2013, Vol. 4, No. 2, pp. 150–194. DOI: 10.1504/IJMMNO.2013.055204
3. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. (2009) Ітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія / Під заг. ред. С.О. Субботіна. - Запоріжжя: ЗНТУ. - 375 с.
4. Das A. and Chakrabarti B. K. (Eds.), (2005) Quantum Annealing and Related Optimization Methods, Lecture Note in Physics, Vol. 679, Springer, Heidelberg
5. Bratton, Daniel; Kennedy, James (2007). Defining a Standard for Particle Swarm Optimization. Proceedings of the 2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium (SIS 2007). pp. 120–127. doi:10.1109/SIS.2007.368035
6. Knuth D. (2015) The Art of Computer Programming. Vol. 4, Fascicle 6: Satisfiability. ISBN 978-0-134-39760-3.
7. Зіборов І.К., Желдак Т.А. Розробка інтелектуальної систем підтримки прийняття рішень з самонавчанням для керування технологічними процесами виробництва сталі / І.К. Зіборов, Т.А. Желдак // «Системні технології» 3 (140). 2022. – С. 35-46

APPLYING OF HYBRID EVOLUTIONARY METHOD BASED ON PARTICLE SWARM AND ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM SIMULATION IN OPTIMIZATION PROBLEMS

Illia Ziborov, Timur Zheldak

Abstract. *A hybrid evolutionary method for solving conditional and unconditional optimization problems in a continuous space based on a swarm of particles and simulation of the HIPSO artificial immune system is considered. Using the method, 30 test problems were solved in a 25-dimensional real space. The results are compared with other known evolutionary methods. It is shown that the method reliably solves 90% of test problems, while in 67% of cases it finds the global optimum faster than competing methods. It is experimentally proven that the proposed method finds the best solution with an error of up to 2.6% on a wide range of real problems with a probability greater than 0.813.*

Keywords: *optimization, hybrid method, evolutionary algorithm, testing, reliability, information technology*

REFERENCES:

1. Ziborov, I., Zheldak, T. (2023). The evolutionary method based on particle swarm optimization and artificial immune systems modelling. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 4, 3–12
2. Jamil M., Yang X. S. A (2013). literature survey of benchmark functions for global optimization problems, *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*, Vol. 4, No. 2, pp. 150–194. DOI: 10.1504/IJMMNO.2013.055204
3. Subbotin S.O., Oliinyk A.O., Oliinyk O.O. (2009) *Neiteratyvni, evoliutsiini ta multyahentni metody syntezy nechitkolyhichnykh i neiomerezhnykh modelei*. Zaporizhzhia: ZNTU. - 375 p.
4. Das A. and Chakrabarti B. K. (Eds.), (2005) *Quantum Annealing and Related Optimization Methods*, Lecture Note in Physics, Vol. 679, Springer, Heidelberg
5. Bratton, Daniel; Kennedy, James (2007). Defining a Standard for Particle Swarm Optimization. *Proceedings of the 2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium (SIS 2007)*. pp. 120–127. doi:10.1109/SIS.2007.368035
6. Knuth D. (2015) *The Art of Computer Programming*. Vol. 4, Fascicle 6: Satisfiability. ISBN 978-0-134-39760-3.
7. Ziborov, I., Zheldak, T. (2022). Development of self-learning intelligent decision-making support system to control steel production technological processes. *System technologies*. V.3(140). P. 35-64. DOI 10.34185/1562-9945-3-140-2022-04

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ

Купін А.І.¹, Косей М.П.¹

¹ Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна

Анотація. У цій роботі проведено огляд алгоритмів ройового інтелекту, висвітлюючи значний потенціал та перспективи розвитку мультиагентних систем та ройового інтелекту. Підкреслюється тривала дослідницьку активність у цій галузі та безперервне розширення сфер застосування. Вивчаючи різні дослідження та публікації, робиться висновок про важливість інтеграції підходів з різних наукових дисциплін для вирішення різноманітних і складних проблем за допомогою ройового інтелекту. Майбутні дослідження спрямовані на надання більш детального аналізу та порівняння різних алгоритмів ройового інтелекту у різних сферах застосування.

Ключові слова: штучний інтелект, інтелектуальний агент, мультиагентні системи, ройовий інтелект, алгоритми оптимізації ройового інтелекту.

В даний час, мультиагентні системи все частіше використовуються у широкому спектрі наукових та технічних областей, стаючи ключовим елементом в еволюції та розвитку сучасних технологій.

Це особливо актуально під час військових конфліктів, коли потреба в самостійних системах з розвиненими можливостями інтелектуального керування значно зростає, що підкреслює важливість та актуальність розвитку мультиагентних систем.

Ця технологія вже використовується в безпілотних літальних апаратах, які експлуатуються у військовій сфері, сільському господарстві, сферах пошуку та рятування, будівництві та екологічному моніторингу.

Аналітичні дані [Error! Reference source not found.] вказують на те, що обсяг ринку військових безпілотних літальних апаратах в 2022 році становив приблизно 12,55 мільярди доларів США, в 2023 - збільшився до 14,14 мільярдів доларів США в 2023 році і продовжить збільшуватися до 35,60 мільярдів доларів США до 2030 року, з середнім річним темпом зростання на рівні 14,10%.

Серед ключових гравців на цьому ринку вирізняються такі компанії, як Lockheed Martin, Northrop Grumman, General Atomics, і Boeing. Швидке зростання попиту на військові дрони свідчить про значну увагу та інвестиції в

дану область, а також про масове застосування дронів у військових цілях. Такий інтерес обумовлений сучасними військовими конфліктами (повномасштабне вторгнення Росії в Україну з 24 лютого 2022 року та терористичні атаки Хамасу проти Ізраїлю з 7 жовтня 2023 року), а також стрімким розвитком у галузі штучного інтелекту в останні роки.

Ройовий інтелект - це тип мультиагентних систем, надихнутих природою, де багато простих агентів працюють разом, імітуючи поведінку природних роїв, таких як рої комах, зграї птахів, та інших тварин. Ці агенти взаємодіють між собою та з оточенням за допомогою простих правил, що дозволяє їм разом вирішувати складні задачі.

Ройовий інтелект є однією з галузей штучного інтелекту, яка динамічно розвивається. Як попередників ройового інтелекту можна згадати три алгоритми: алгоритм стохастичного дифузійного пошуку (SDS - Stochastic Diffusion Search), мурашиний алгоритм (ACO - Ant Colony Optimization) та метод рою часток (PSO - Particle Swarm Optimization).

Сімейство алгоритмів ройового інтелекту продовжує розширюватися. У книзі Адама Словіка надано перелік 45 алгоритмів[**Error! Reference source not found.**] впорядкованих за датою створення (рисунок 1).

Алгоритми ройового інтелекту - приклад того, як природні процеси та поведінка можуть бути адаптовані для вирішення складних завдань у сферах оптимізації, пошуку та інших обчислювальних задачах.

Основними рисами цих алгоритмів є їх здатність до самоорганізації, гнучкість, масштабованість та робастність.

Структура алгоритму ройового інтелекту (рисунок 2) складається з таких етапів:

Визначення параметрів алгоритму: Налаштування початкових значень, які керують поведінкою алгоритму.

SI Algorithm (Year)	Biological inspiration
Stochastic Diffusion Search (1989)	Tandem calling mechanism employed by one species of ants
Ant Colony Optimization (1992)	Real ant colonies using pheromone as a means of chemical messenger
Particle Swarm Optimization (1995)	Social behavior of bird flocking or fish schooling
Bee System (2001)	Foraging behavior of bee colonies
Bacterial Foraging (2002)	Social foraging behavior of <i>Escherichia coli</i>
Fish-swarm Algorithm (2002)	Fish behaviors such as preying and swarming
Beehive (2004)	Communicative and evaluative methods and procedures of honey bees
Bacterial Colony Chemotaxis (2005)	Bacterium's reaction to chemoattractants
Bee Colony Optimization (2005)	Bee colonies in nature
Bee Swarm Optimization (2005)	Behavior of real bees in nature
Virtual Bees (2005)	Swarm of bees and interactions between them when they find nectar
Cat Swarm (2006)	Behaviors of cats and their skills such as tracing and seeking
Artificial Bee Colony (2007)	Natural foraging behavior of real honey bees
Fast Bacterial Swarming (2008)	Foraging mechanism of <i>Escherichia coli</i> and the swarming pattern of birds
Bumblebees (2009)	Collective behavior of social insects
Cuckoo Search (2009)	Brood parasitic behavior of some cuckoo species
FireFly Algorithm (2009)	Behavior of fireflies and their flashing light (process of bioluminescence)
Glowworm Swarm Optimization (2009)	Luciferin induced glow of a glowworm which is used to attract mates/prey
Artificial Fish School Algorithm (2010)	Fish behaviors such as preying, swarming, following
Bat Algorithm (2010)	Echolocation characteristics of microbats
Cockroach Swarm Optimization (2010)	Social behavior of cockroaches
Hunting Search (2010)	Group hunting of animals such as lions, wolves, and dolphins
Bacterial Colony Optimization (2012)	Five basic behaviors of <i>Escherichia coli</i> bacteria in their whole lifecycle
Blind-Naked Mole-Rats (2012)	Social behavior of the blind naked mole-rats colony
Krill Herd (2012)	Herding behavior of krill individuals
Lion's Algorithm (2012)	Lion's social behavior that aids to keep the mammal strong in the world
Wolf Search (2012)	Wolves search for food and survive by avoiding their enemies
Fruit Fly Optimization (2013)	Behavior of fruit flies
Social Spider Optimization (2013)	Cooperative behavior of social-spiders which interact with each other
Chicken Swarm Optimization (2014)	Behavior of chickens when they search for food
Dispersive Flies Optimisation (2014)	Swarming behavior of flies over food sources
Grey Wolf Optimizer (2014)	Mimics the social dominant structure of the grey wolves pack
Elephant Herding (2015)	Herding behavior of the elephant groups
Monarch Butterfly Optimization (2015)	Migration of monarch butterflies
Crow Search Algorithm (2016)	Intelligent behavior of crows
Dolphin Swarm Algorithm (2016)	Dolphin's echolocation, information exchanges, cooperation
Dynamic Virtual Bats Algorithm (2016)	Bat's ability to manipulate frequency/wavelength of the emitted sound waves
Whale Optimization Algorithm (2016)	Social behavior of humpback whales - the bubble-net hunting strategy
Swarm Dolphin Algorithm (2016)	Social behaviors of dolphins
Artificial Wolf Pack Algorithm (2016)	Social behaviors of the wolf pack in scouting, calling and besieging
Grasshopper Optimisation (2017)	Behavior of grasshopper swarms in nature
Spotted Hyena Optimizer (2017)	Social relationship between spotted hyenas and their collaborative behavior
Salp Swarm Algorithm (2017)	Swarming behaviour of salps when navigating and foraging in oceans
Emperor Penguin Optimizer (2018)	Mimics the huddling behavior of emperor penguins
Seagull Optimization Algorithm (2019)	Migration and attacking behaviors of a seagull in nature

Рисунок 1 – Перелік алгоритмів оптимізації ройового інтелекту.

Ініціалізація агентів: Створення початкової популяції агентів, де кожен агент представляє можливе рішення задачі.

Встановлення умови завершення: Задання критеріїв, за якими алгоритм зупинить виконання, наприклад, досягнення максимальної кількості ітерацій або задовільного рівня точності рішення.

Обчислення фітнес функції: Оцінка кожного агента з використанням функції пристосованості, яка вимірює, наскільки добре агент вирішує поставлену задачу.

Виконано умову завершення?: Перевірка, чи була досягнута умова завершення алгоритму. Якщо так, алгоритм завершує роботу; якщо ні, процес продовжується.

Оновлення агентів: Модифікація станів агентів на основі обміну інформацією між ними для покращення їх рішень.

Отримання оптимального результату: Вибір найкращого рішення з усіх агентів після завершення алгоритму або досягнення умови завершення.



Рисунок 2 – Загальна структура ройового алгоритму.

Але для конкретних алгоритмів послідовність та кількість етапів може відрізнятися від загальної структури.

Серед алгоритмів ройового інтелекту найбільш популярними є алгоритм оптимізації роєм частинок (PSO) та алгоритм мурашиного колонії (ACO).

PSO є привабливим через свою простоту у реалізації та здатність швидко знаходити рішення.

ACO, з іншого боку, надихнутий поведінкою мурашиних колоній при пошуку їжі та вирізняється своєю ефективністю у вирішенні задач маршрутизації та розкладу. Обидва алгоритми широко застосовуються в різних областях, включаючи логістику, робототехніку, енергетику, обробку даних, безпілотні літальні апарати демонструючи свою універсальність та силу в рішенні складних проблем [0,0,0,0].

ВИСНОВКИ

У даній роботі було проведено аналіз алгоритмів ройового інтелекту, демонструючи їхній потенціал та широке поле діяльності у сфері мультиагентних систем. Вказано на активне дослідження в цій галузі та наростання застосувань. Вивчення різних наукових робіт вказує на необхідність поєднання знань із різних областей для ефективного вирішення складних завдань за допомогою ройового інтелекту.

У майбутніх дослідженнях передбачається провести детальніший розгляд та порівняння алгоритмів ройового інтелекту, а також розглянути можливості їх інтеграції з іншими методами штучного інтелекту для покращення рішень у різних областях застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Military Drone Market to Hit USD 35.60 Billion by 2030 | Featuring a Detailed 200-Pages Research Report. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/military-drone-market-102181> (дата звернення 02.02.2024)
2. Adam Slowik. Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial. CRC Press, 2020. 348p.
3. Louis P. Walters. Applications of swarm intelligence. Nova Science Publishers, Incorporated, 2010. 234p.
4. Abhishek Kumar, Pramod Singh Rathore, Vicente Garcia Diaz, Rashmi Agrawal. Swarm Intelligence Optimization Algorithms and Applications. John Wiley & Sons, Inc, 2021. 364p.
5. Modestus O. Okwu, Lagouge K. Tartibu. Metaheuristic Optimization: Nature-Inspired Algorithms Swarm and Computational Intelligence, Theory and Applications. Springer Nature Switzerland AG, 2021. 196p.
6. Lewis M. Pyke www.frontiersin.org Craig R. Stark - Dynamic Pathfinding for a Swarm Intelligence Based UAV Control Model Using Particle Swarm (дата звернення: 15.03.2024)

ANALYSIS OF SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS

Kupin Andrey, Kosei Maksym

Abstract. *This paper conducts a comprehensive review of swarm intelligence algorithms, highlighting the significant potential and development prospects of multi-agent systems and swarm intelligence. It underscores the ongoing research activity in this field and the continuous expansion of application areas. By examining various studies and publications, the paper concludes the importance of integrating approaches from different scientific disciplines to tackle diverse and complex problems using swarm intelligence. Future research is aimed at providing a more detailed analysis and comparison of various swarm intelligence algorithms across different application domains, as well as exploring their integration with other artificial intelligence methods.*

This work points towards the growing relevance of swarm intelligence in solving real-world problems, showcasing its versatility and effectiveness across multiple sectors, including military, agriculture, search and rescue, and environmental monitoring.

Keywords: artificial intelligence, intelligent agent, multi-agent systems, swarm intelligence, swarm intelligence optimization algorithms.

REFERENCES

1. Military Drone Market to Hit USD 35.60 Billion by 2030 | Featuring a Detailed 200-Pages Research Report. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/military-drone-market-102181> (дата звернення 02.02.2024)
2. Adam Slowik. Swarm Intelligence Algorithms: A Tutorial. CRC Press, 2020. 348p.
3. Louis P. Walters. Applications of swarm intelligence. Nova Science Publishers, Incorporated, 2010. 234p.
4. Abhishek Kumar, Pramod Singh Rathore, Vicente Garcia Diaz, Rashmi Agrawal. Swarm Intelligence Optimization Algorithms and Applications. John Wiley & Sons, Inc, 2021. 364p.
5. Modestus O. Okwu, Lagouge K. Tartibu. Metaheuristic Optimization: Nature-Inspired Algorithms Swarm and Computational Intelligence, Theory and Applications. Springer Nature Switzerland AG, 2021. 196p.
6. Lewis M. Pyke www.frontiersin.org Craig R. Stark - Dynamic Pathfinding for a Swarm Intelligence Based UAV Control Model Using Particle Swarm (дата звернення: 15.03.2024)

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КРОКОВИМ ДВИГУНОМ НАВЧАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ ЛІНІЇ

Рибальченко М.О.¹, Єгоров О.П.¹, Маначин І.О.^{1,2}, Рибальченко С.С.³

¹Український державний університет науки і технологій, Україна

²Інститут чорної металургії імені З.І.Некрасова, Україна

³ДП «Сіменс Україна», Україна

Анотація: Крокові двигуни вже давно та успішно застосовуються у різноманітному промисловому і спеціальному обладнанні. Перевагою крокових двигунів є те, що можна досягти високого ступеню контролю за рухом. Управління кроковими двигунами здійснюється за допомогою мікропроцесорних систем. Однак у цьому випадку управління кроковим двигуном здійснюється за завантаженою в мікроконтролер програмою. Часто виникає потреба динамічно змінювати параметри роботи крокового двигуна - швидкість обертання, напрям і величину кута повороту та ін. Робота присвячена розробці системи керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії, що реалізована на кафедрі автоматизації виробничих процесів Українського державного університету науки і технологій. Система дозволяє динамічно змінювати параметри системи за допомогою або персонального комп'ютера (ПК), передаючи відповідні команди у систему через СОМ-порт, або за допомогою планшета, передаючи відповідні команди у систему через Bluetooth.

Така система може знайти застосування як у навчальному процесі для відпрацювання стандартних прийомів керування кроковими двигунами та навичок програмування мікроконтролерів, так і в промислових системах, які потребують керування положенням механізму з високою точністю.

Ключові слова: кроковий двигун, керування, СОМ-порт, Bluetooth, транспортна лінія, тестування

Підготовка магістрів з автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки вимагає формування у майбутніх фахівців базових компетентностей щодо здатності здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв. Матеріальне, інформаційне та методичне забезпечення такої підготовки стає наразі актуальною задачею українських технічних університетів, які активно

розгортають на своїй базі нові лабораторні робототехнічні комплекси. Одним з найбільш поширених компонентів цих комплексів є крокові двигуни, що успішно застосовуються у різноманітному промисловому і спеціальному обладнанні для високоточного переміщення об'єктів на задану відстань.

Виконаний аналіз робіт [1-4] показав, що управління кроковими двигунами здійснюється за допомогою мікропроцесорних систем, які, як правило, повинні дозволяти динамічно змінювати параметри роботи крокового двигуна: швидкість обертання, напрям руху, величину кута повороту тощо. Очевидно, незважаючи на певну схожість розглянутих систем, застосування крокових двигунів у різних об'єктах потребує індивідуального підходу до розробки системи дистанційного керування ними та відповідного програмного забезпечення.

У роботі ставилась задача розробки системи дистанційного керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії. Кроковий двигун у свою чергу забезпечує переміщення каретки у задану позицію. Тому метою роботи було розробити бюджетну та дієву систему керування кроковим двигуном, що дозволить динамічно змінювати параметри системи за допомогою персонального комп'ютера(ПК), передаючи відповідні команди у систему через СОМ-порт, або за допомогою планшета, передаючи відповідні команди у систему через Bluetooth.

Загальний вигляд навчальної транспортної лінії приведено на рис.1. Дана лабораторна установка реалізована на кафедрі автоматизації виробничих процесів Українського державного університету науки і технологій.

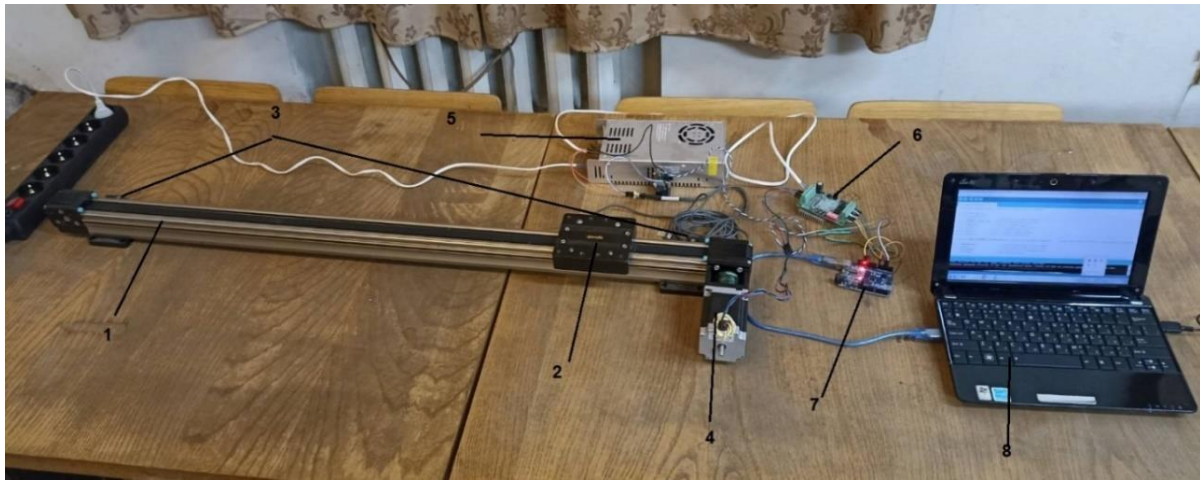


Рисунок 1 – Загальний вигляд навчальної транспортної лінії

1 – навчальна транспортна лінія, 2 – каретка, 3 – кінцеві вимикачі, 4 – кроковий двигун,
5 – блок живлення, 6 – драйвер крокового двигуна, 7 – мікропроцесорний контролер,
8 – персональний комп'ютер (ПК)

Завдання для крокового двигуна, а саме визначення кількості кроків для руху, швидкість та напрямок задається з ПК 8 (або планшета).

До складу навчальної транспортної лінії входить наступне обладнання:

- індуктивні датчики (кінцеві вимикачі) Omron;
- кроковий двигун FL57STH76-1006B;
- електромагнітні реле SRD-24VDC-SL-C;
- драйвер крокового двигуна TB5660.

Схема керування зібрана на основі плати Arduino Uno [5]. До складу керуючої системи також входить Bluetooth Module HC-05 – модуль широкого застосування для з'єднання пристроїв через Bluetooth-підключення. Bluetooth модуль управляється за допомогою UART, тобто, по суті, є UART-to-Bluetooth перетворювачем.

Одним з ключових етапів розробки системи управління є розробка програмного забезпечення. Для керування кроковим двигуном було розроблено бібліотеку DriverMotor. Бібліотека дозволяє працювати у паралельному процесі, не блокує виконання програми, підтримує кроковий, напівкроковий та мікрокроковий режими. Її основною відмінністю від стандартних бібліотек, що працюють з мікроконтролером Arduino, є можливість перевіряти стан індуктивних датчиків та керувати кроковим двигуном на підставі інформації від них.

Основна програма керування двигуном з використанням розробленої бібліотеки із введенням завдання по COM-порту написана із використанням середовища Arduino IDE . Такі програми прийнято називати скетчами.

Середовище розробки Arduino IDE включає у свій склад інструмент "Serial Monitor" («Монітор порта»). Даний інструмент відображає дані, що надходять від Arduino на комп'ютер за послідовним інтерфейсом. Даний інструмент було використано для введення завдання на переміщення крокового двигуна по COM-порту.

Тестування роботи системи показало її повну дієздатність.

В роботі також реалізовано керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії за допомогою смартфона або планшета. Зв'язок між смартфоном та модулем Arduino здійснено за технологією Bluetooth. Для створення додатку для планшета або смартфона використано можливості проекту MIT App Inventor.

Загальний вигляд додатку, що може бути встановлений на операційну систему Android, представлено на рис. 2.



Рисунок 2 – Встановлений додаток

Тестування роботи додатку показало, що він дозволяє дистанційно через Bluetooth керувати роботою крокового двигуна.

Таким чином, розроблена бюджетна та дієва система керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії, що дозволяє динамічно змінювати параметри системи за допомогою або персонального комп'ютера (ПК), передаючи відповідні команди у систему через COM-порт, або за допомогою планшета, передаючи відповідні команди у систему через Bluetooth.

Така система може знайти застосування як у навчальному процесі для відпрацювання стандартних прийомів керування кроковими двигунами та навичок програмування мікроконтролерів, так і в промислових системах, які потребують керування положенням механізму з високою точністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Димко С.С. Система керування кроковим двигуном на базі мікроконтролера та персонального комп'ютера. Доповіді за матеріалами Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Сучасні проблеми електротехніки та автоматики. Київ: «Політехніка», 2008. С. 308-311
2. Бакалин А. Р. Микропроцессорная система управления шаговым двигателем с помощью протокола UART / А. Р. Бакалин, В. В. Миронец, Л. П. Голубев. // Технологии та дизайн. 2016, № 3. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_7.
3. Дослідження комп'ютерної системи для дистанційного керування кроковим двигуном у системах "розумний дім" / Д. В. Стаценко, Б. М. Злотенко, Т. І. Кулік, М. В. Латко // Сучасні електромеханічні та інформаційні системи : монографія / за заг. ред. І. В. Панасюка. Київ : КНУТД, 2021. С. 9-14.
4. Шеремет А. І., Климченкова Н. В., Климченков О. Г. Математичний опис крокового електропривода та реалізація його системи керування на базі мікроконтролера Arduino// Науковий вісник ДДМА. № 3 (24Е), 2017. С. 87 - 96
5. Офіційна документація проекту Arduino [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>

DEVELOPMENT OF THE STEPPER MOTOR CONTROL SYSTEM OF THE TRAINING TRANSPORT LINE

Maria Rybalchenko, Oleksandr Egorov, Ivan Manachyn, Stanislav Rybalchenko

Abstract. *Stepper motors have long been successfully used in a variety of industrial and special equipment. The advantage of stepper motors is that a high degree of motion control can be achieved. Stepper motors are controlled using microprocessor systems. However, in this case, the stepper motor is controlled by the program loaded into the microcontroller. There is often a need to dynamically change the operation parameters of the stepper motor - speed of rotation, direction and magnitude of the angle of rotation, etc. The work is devoted to the development of the stepper motor control system of the*

educational transport line, implemented at the Department of Automation of Production Processes of the Ukrainian State University of Science and Technology. The system allows you to dynamically change system parameters using either a personal computer (PC) by sending the appropriate commands to the system via the COM port, or by using a tablet by sending the appropriate commands to the system via Bluetooth.

Such a system can be used both in the educational process to practice standard stepper motor control techniques and microcontroller programming skills, and in industrial systems that require high-precision mechanism position control.

Keywords: *stepper motor, control, COM port, Bluetooth, transport line, testing*

REFERENCE

1. Dymko S.S. Stepper motor control system based on a microcontroller and a personal computer. Reports based on the materials of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students. Modern problems of electrical engineering and automation. Kyiv: Polytechnic, 2008. C. 308-311
2. A. R. Bakalyn Microprocessor control system of a stepper motor using the UART protocol / A. R. Bakalyn, V. V. Myronets, L. P. Golubev. // Technologies and design. 2016, No. 3. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2016_3_7.
3. Research of a computer system for remote control of a stepper motor in "smart home" systems / D. V. Statsenko, B. M. Zlotenko, T. I. Kulik, M. V. Latko // Modern electromechanical and information systems: monograph / in general ed. I. V. Panasyuk. Kyiv: KNUTD, 2021. P. 9-14.
4. Sheremet A. I., Klimchenkova N. V., Klimchenkov A. G. Mathematical description of the stepper electric drive and realization of its control system based on the Arduino microcontroller// Scientific Bulletin of the DGMA. No. 3 (24E), 2017. P. 87 – 96
5. Official documentation of the Arduino project [Electronic resource]. Access mode: <https://www.arduino.cc/>

РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОНОМНОГО РОЗУМНОГО ГОРЩИКА ДЛЯ КВІТКИ

Сердюк К.О., Клименко С. В.

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

Анотація. Ця робота присвячена розробці та реалізації автономного розумного горщика для квітки, який нагадує власнику про полив рослини. Розробка автономного розумного горщика для квітки включає розробку системи з датчиками вологості ґрунту та рівня води, автоматичним поливом та сигналізацією через світлодіоди та динамік. Описано принципи роботи, які компоненти необхідні (датчики, елементи електроніки та динамік). Описано функціонал системи, яка містить вимірювання вологості ґрунту та рівня води, автоматичний полив, сигналізування стану за допомогою світлодіодів та динаміка, а також сукупність виняткових ситуацій при розрядженій батареї та малій кількості води в баку горщика. Розглянуті кроки розробки, спочатку розробка схеми на макетних платах. Після успішного тестування можна перейти до спаювання електронних компонентів на друкованій платі для першого етапу розробки проєкту.

Ключові слова: автоматизація, мікроконтролер, датчик, тестування, вологість, ґрунт.

На фоні популяризації теми систем розумного дому, навіть такі малі елементи декору, як горщики для квітів починають зазнавати певного ступеню автоматизації. Розробка і впровадження такого пристрою у повсякденне життя може надати наступні переваги для користувача:

зручність у догляді: забезпечення оптимальних умов для росту квітів, включаючи регулювання вологості ґрунту, рівня освітлення та температури, що полегшує догляд за рослинами для людей з різним рівнем досвіду в садівництві;

екологічність та енергоефективність: робота на основі відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, що дозволяє економити електроенергію та зменшувати вплив на навколишнє середовище;

технологічні можливості: моделі горщиків можуть бути оснащені додатковими функціями, такими як сповіщення про потребу в поливі через

мобільний додаток або автоматичний полив за розкладом, що робить їх вельми привабливими для зайнятих людей або тих, хто часто відсутній вдома;

декоративний елемент: сучасний дизайн додає естетичний аспект до будь-якого інтер'єру та робить їх популярними серед тих, хто цінує якість та елегантність.

Розумні горщики для квітів є зручним та ефективним способом забезпечити оптимальний догляд за рослинами, а їх технологічні можливості роблять їх бажаними для широкого кола користувачів.

Однією з найпоширеніших потреб у догляді за квіткою є вчасний полив. Це й лягло в основу створення розумного горщика в рамках проєкту інжинірингової школи (Noosphere Engineering School, Dnipro) – «SmartPot».

Для проєктування розумного горщика для квітів враховані наступні аспекти: розробка та розрахунок механіки, електроніки, живлення, зв'язку та дизайну.

На рис. 1 ми бачимо принципову схему електроніки горщика, на якій відображено зв'язки між компонентами схеми (датчик вологості ґрунту TR4056, датчик рівня води, динамік, світлодіоди, мікроконтролер Atmega328p, Mp3 player, акумулятори, BMS, система заряду Type-C, DC/DC перетворювач MT3608).

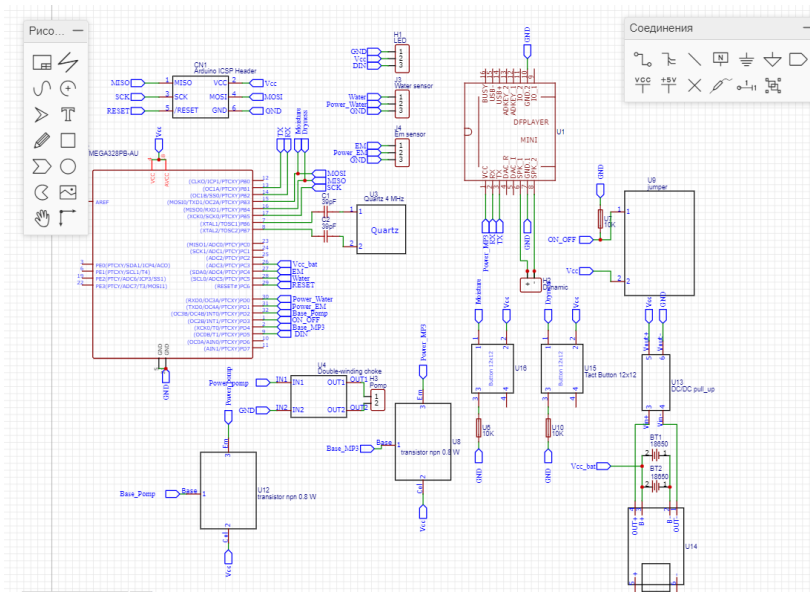


Рисунок 1 – Принципова схема.

Розглянемо більш детально основні компоненти та принцип роботи проекту «SmartPot»:

Ємнісний датчик вологості ґрунту: цей датчик вимірює вологість ґрунту, що дозволяє системі визначати потреби рослини в поливі.

Датчик рівня води: цей компонент визначає кількість води в баку для поливу та дозволяє ефективно запобігати випадкам нестачі води.

MP3 плеєр та динамік: для сповіщення користувача про стан ґрунту та у разі ситуацій: розрядженого акумулятора та нестачі води в баці. В таких випадках система використовує аудіо сигнал через MP3 плеєр, в якому вставлена SD картка, та динамік. Це забезпечує зручний спосіб комунікації з користувачем.

LED ws2812: світлодіоди змінюють колір залежно від стану вологості ґрунту. Коли ґрунт сухий вони світять червоним, коли вологий, то синім, колір змінюється по HSB формату. Це дозволяє користувачу легко визначити потреби рослини в поливі візуально. Також завдяки їм ми дізнаємося про нестандартні умови, коли один світлодіод блимає червоним кольором, це означає, що в нас нестандартна умова.

Помпа для поливу: ця помпа автоматично поливає рослину, коли виявляється нестача води в ґрунті. Це забезпечує стабільний рівень вологості для оптимального росту рослини.

Кнопка керування режимом сну: кнопка дозволяє вмикати та вимикати горщик, а також встановлювати його в режим сну. Це дозволяє зберігати енергію та ефективно використовувати систему.

Основні функції розумного горщика включають в себе вимірювання вологості ґрунту та рівня води, автоматичний полив, моніторинг стану рослини за допомогою світлодіодів та динаміка, а також виявлення нестандартних умов.

Один з ключових компонентів автономного горщика – це вимірювачі вологості ґрунту та рівня води. Вони забезпечують постійний моніторинг умов для рослини, що дозволяє системі автоматично регулювати полив та нагадувати про необхідність додаткового зволоження.

Розумний горщик для квітки, розроблений у Noosphere Engineering School, Dnipro, є інноваційним рішенням для автоматизованого догляду за рослиною. Він оснащений вимірювачами вологості ґрунту та рівня води, які передають дані до процесора для подальшої обробки. Також в горщику є помпа, світлодіоди та динамік, які керуються мікроконтролером. Горщик має кнопку вмикання/вимикання. При вмиканні горщик запускає світлодіоди та динамік, при його вимиканні процесор вимикає світлодіоди та динамік та входить в Deep Sleep, з якого виходить кожні 3 години та перевіряє вологість ґрунту, якщо він помічає малу вологість ґрунту, то він вмикає помпу, яка поливає квітку, після чого мікроконтролер знову входить в Deep Sleep. Щоб датчик вологості надав правильні дані, під час поливання помпа включається на 5 секунд, а потім є затримка у 25 секунд, щоб вода пройшла глибше в ґрунт. Після чого, якщо квітка полита недостатньо, то відбувається повторний полив тому ж режимі.

При вимкненому стані за допомогою світлодіодів та динаміка горщик інформує користувача про стан рослини та системи поливу. При нестачі води в ґрунті горщик автоматично запускає процес поливу за допомогою помпи. Також передбачено систему виняткових ситуацій для негайного реагування на нестандартні умови.

Обрано мікроконтролер Atmega328p, тому що цей процесор знаходиться на Arduino UNO, на якому легко налагоджувати програму.

Установка двох акумуляторів дозволила досягти автономності у роботі горщика без підзаряджання на 1 місяць. Додана ємність для води, з якої вона надходить в горщик з квіткою при сухому ґрунті. Також при роботі помпи та динаміка в електричній схемі починаються стрибки напруги, для вирішення цієї проблеми поставлено електролітичні конденсатори на вході живлення та керамічні конденсатори навпроти мікроконтролера, динаміка та помпи. Для аудіосупроводу встановлено MP3 плеєр з SD картою, де записано потрібні фрази.

Нестандартна ситуація можлива в двох випадках: в ємності мало води або мало заряду на акумуляторі. В цих ситуаціях починає блимати світлодіод та

говорити динаміком про те, що заряду не має або води мало в баці. Горщик періодично виходить із стану Deep Sleep для перевірки вологості ґрунту та виявлення нестандартної ситуації. У випадку, якщо нестандартна ситуація підтверджується показами з датчиків, то вмикається блимання світлодіоду для сповіщення користувача про неї. Для з'ясування у чому полягає нестандартна ситуація, користувач має спочатку вивести горщик зі стану Deep Sleep, щоб прослухати записане аудіоповідомлення.

Корпус приладу розділено на декілька частин. Перша частина, де зберігається електроніка горщика та друга частина - ємність для зберігання води. Тому в залежності від величини квітки та її потреби у волозі, ми можемо поміняти розміри як самого горщика, так і ємності з водою.

Акумулятор горщика заряджають завдяки блоку живлення та кабелю Type-c.

Цей проєкт має калібрування приладу, яке здійснюється завдяки двом тактовим кнопкам. Коли в вас горщик сухий, ви повинні натиснути на одну з кнопок, яка подає сигнал мікроконтролеру, який вже фіксує дані з датчика вологості, та запам'ятовує її в EEPROM, після чого при запам'ятовуванні цього показника помпа буде поливати квітку при досяганні цих параметрів. При достатньому рівні вологості ґрунту потрібно натиснути на другу кнопку, після того горщик буде поливати квітку тільки до цього стану вологи. EEPROM - це енергонезалежна пам'ять, в якій зберігаються дані при відключенні живлення, тому в ньому можна зберегти налаштування системи.

На рисунку 2 ми бачимо демо версію розумного горщика для квітів, який нагадує власнику про полив рослини.



Рисунок 2 - Демо версія розумного горщика.

Розроблена та реалізована автономна система «SmartPot», яка дозволяє підтримувати необхідний рівень вологості ґрунту у горщику з квіткою, надає можливість користувачеві горщика не забувати про вчасний полив квітки, за допомогою голосового сповіщення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Andrieiev A. M., Kulynych A. H. Vykorystannia aparatno-prohramnoho kompleksu Arduino v innovatsiinii diialnosti maibutnikh uchytelev fizyky ta uchniv. URL: http://ite.kspu.edu/webfm_send/943
2. Arduino [Elektronnyi resurs]. — URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino>
3. Бакало О.О. Дослідження автоматизованого контролю вологості ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур в теплиці / О.О. Бакало, Ю.М. Пилипенко // Технології та дизайн. – 2018. – № 3. – С. 1-9

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTONOMOUS SMART FLOWERPOT

Serdyuk K., Klymenko S.

Abstract. *This work is dedicated to the development and implementation of an autonomous smart flower pot. The development of an autonomous smart pot for a flower includes the development of a system with soil moisture and water level sensors, automatic watering and signaling through LEDs and a speaker. This work describes principles of operation, required components (sensors, electronic elements) and functionality of the system, which includes soil moisture and water level measurements, automatic watering system, LEDs and dynamic signaling, and also a set of fault situations when the battery is uncharged and the water quantity is low in the tank. The*

development process has been reviewed, first the development of the circuit on breadboards. After successful testing, you can proceed to soldering electronic components on a printed circuit board for the first stage of project development.

Keywords: *automation, microcontroller, sensor, testing, moisture, soil.*

REFERENCE

1. Andrieiev A. M., Kulynych A. H. Vykorystannia aparatno-programnoho kompleksu Arduino v innovatsiinii diialnosti maibutnikh uchytelev fizyky ta uchniv. URL: http://ite.kspu.edu/webfm_send/943.
2. Arduino [Electronic resources]: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino>
3. Bakalo O.O. Research of automated control of soil moisture in the cultivation of crops in a greenhouse / O.O. Bakalo, Y.M. Pylypenko // Technologies and Design. - 2018. - No. 3. - P. 1-9.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.092

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ КОНСЕНСУСУ У МЕРЕЖАХ БЛОКЧЕЙНУ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Ситник Р.С.¹, Гнатушенко Вік.В.^{1,2}

¹Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, м.
Дніпро, 49010, Україна

²Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра
Яворницького 19, м. Дніпро, 49005, Україна

Анотація. Ця робота містить огляд основних механізмів консенсусу в технології блокчейн. Розглядаються основні алгоритми консенсусу, такі як Proof of Work, Proof of Stake, Proof of Authority та інші, кожен з яких має свої унікальні особливості, переваги та обмеження. Автори аналізують ці механізми на основі таких критеріїв, як енергоефективність, безпека, масштабованість і децентралізація. Крім того, надаються рекомендації щодо вибору оптимального механізму консенсусу залежно від конкретних потреб і цілей проекту. Ця стаття є важливим ресурсом для дослідників, розробників і практиків, які цікавляться технологією блокчейн та її різними аспектами.

Ключові слова: блокчейн, децентралізовані системи, інформаційна система, механізм консенсусу, розподілений реєстр.

Алгоритм консенсусу в блокчейні – це механізм, який використовується для визначення того, які транзакції будуть додані в блок і який учасник мережі матиме право додати цей блок до ланцюжка блоків. Він відіграє ключову роль у забезпеченні узгодженості даних і безпеки мережі блокчейн.

У блокчейні алгоритм консенсусу необхідний з таких причин [1]:

- Запобігання подвійним витратам (Double Spending): завдяки алгоритму консенсусу можна гарантувати, що одна й та сама криптовалюта не буде витрачена двічі, що є фундаментальним аспектом блокчейн-технології.
- Забезпечення безпеки: алгоритм консенсусу допомагає запобігти атакам на кшталт 51%, що можуть статися, якщо зловмисник отримає контроль над більшістю обчислювальної потужності або стейкінговою силою мережі.
- Гарантування надійності та узгодженості: за допомогою алгоритму консенсусу учасники мережі доходять згоди щодо стану системи та послідовності транзакцій, що забезпечує її надійну роботу.

Різні алгоритми консенсусу пропонують різні підходи до досягнення цих цілей. Кожен із цих алгоритмів має свої переваги та недоліки і може бути придатним залежно від конкретного контексту та задачі використання блокчейна, таких, як наприклад, фінанси, управління логістикою, управління ідентифікацією та особистими даними, голосування тощо.

Опис найбільш популярних механізмів консенсусу:

Proof of Work (PoW) [2]:

Майнери вирішують криптографічні завдання, щоб створити блок, який потім потрібно додати до ланцюжка. Цей процес вимагає великої кількості енергії та обчислювальних потужностей. Система спеціально спроектована таким чином, щоб завдання ускладнювалося в міру зростання кількості блоків у ланцюзі. Коли майнер знаходить блок, він відправляє його в мережу для перевірки. Перевірка того, чи належить блок ланцюжку чи ні, є простим процесом. Переваги – безпека, розподіл монет. Недоліки – високе енергоспоживання, масштабованість, потенційні атаки 51%. Краще використовувати в мережах із високою стійкістю до атак і нечутливих до енергоспоживання. Приклади блокчейнів: Bitcoin, Litecoin, Monero, ZCash.

Proof of Stake (PoS) [3]:

Валідатори повинні блокувати деякі зі своїх монет як ставку. Після цього вони починають перевірку блоків. Коли вони виявляють блок, який може бути доданий у ланцюжок, вони підтверджують його, ставлячи на нього ставку. Якщо блок додається, то валідатори отримують винагороду, пропорційну ставці. Переваги – енергоефективність, знижене енергоспоживання, масштабованість, недоліки – можливість стейкера контролювати блокчейн залежно від його частки, проблеми з безпекою при довгій історії. Краще використовувати в мережах, де важлива енергоефективність і де немає проблем з нерівномірним розподілом монет. Приклади блокчейнів: VCash, BitBay, Qtum, Stratis.

Proof of Stake Time (PoST) [4]:

Доказ часу ставки використовує вік монети. Але замість того, щоб брати кількість монет для розрахунку віку, використовується період часу, протягом

якого монети утримувалися за конкретною адресою. До переваг можна віднести те, що облік часу володіння монетами може сприяти більш справедливому розподілу винагород, а до недоліків – складнощі в реалізації, потенційні проблеми з безпекою та управлінням часом. Приклади блокчейнів: Vericoin.

Delegated Proof of Stake (DPoS) [5]:

Значно доопрацьований алгоритм PoS. У DPoS токени не голосують за самі блоки, але голосують за обрання делегатів, які проведуть перевірку від свого імені. Делегати періодично переобираються, і система працює швидко. Якщо обрані вузли постійно пропускають блоки або публікують недійсні транзакції, ті, хто ставлять, голосують проти них і замінюють їх кращим варіантом. До переваг можна віднести більшу швидкість транзакцій, більш демократичне управління мережею. А до недоліків – меншу децентралізацію, можливість централізованих атак.

Краще використовувати в мережах, де важлива швидкість транзакцій і де існує довіра до делегатів. Приклади блокчейнів: Steemit, EOS, BitShares.

Proof of Elapsed Time (PoET) [6]:

Алгоритм поєднує переваги Proof of Work і Proof of Stake. Майнінг починається традиційним способом – майнери змагаються у розв'язанні задачі та отриманні нагороди. Різниця в тому, що видобуті блоки не містять транзакцій, а містять тільки відомості про заголовок та адресу для винагороди за майнінг.

Щойно цей майже порожній блок буде видобуто, система перемикається на протокол PoS. Інформація заголовка використовується для вибору випадкової групи валідаторів для підпису блоку. Їх називають власниками монет (стейкхолдери), і чим більша частка валідатора, тим більше шансів, що їх буде обрано для підписання нового блоку. Щойно всі обрані валідатори підписують блок, він стає частиною блокчейна.

Якщо блок залишається непідписаним деякими з обраних валідаторів після закінчення заданого часу, то він відкидається як неповний і використовується наступний виграшний блок. Знову вибираються валідатори, і

це триває доти, доки вирашаний блок не буде підписано всіма обраними валідаторами. валідаторами. Винагороду розподіляють між майнером, який переміг і валідаторами, які підписали блок. Приклади блокчейнів: мережа Ethereum Kovan.

Proof of Burn (PoB) [7]:

Майнер відправляє монети на випадкову адресу згенерованого хешу. Витратити кошти з цієї адреси практично неможливо, оскільки ймовірність підібрати до неї ключі прагне до нуля. За таке "спалювання" монет майнер отримує постійний шанс знайти PoB блок і отримати за нього нагороду. Шанси на майнінг збільшуються при збільшенні кількості "спалених" монет. До переваг можна віднести енергоефективність, розподіл монет, а до недоліків – втрата монет, що може викликати побоювання у власників за свої монети. Приклад блокчейну: Slimcoin.

Proof of Importance (PoI) [8]:

Значимість кожного користувача в мережі визначається як кількість коштів, наявних у нього на балансі, і кількість проведених транзакцій з/на його гаманець. В відмінну від PoS, який враховує тільки баланс наявних коштів у користувача, PoI враховує як кількість коштів, так і активність користувача в блокчейн-мережі. Такий підхід залучає користувачів не просто тримати кошти у себе на рахунку, а й активно використовувати їх. До переваг можна віднести сприяння активній участі, більш справедливий розподіл винагород, а до недоліків – складнощі у визначенні "важливості", потенційні атаки. Приклад блокчейну: NEM.

Proof of Authority [9]:

Усі транзакції та блоки перевіряються за допомогою схвалених акаунтів (валідаторів). Проведення транзакцій і створення блоків відбувається в автоматичному режимі за допомогою обчислювальних потужностей валідатора. До переваг можна віднести – швидкі транзакції, контрольовані та надійні учасники, а недоліки – централізація, залежність від довіри до валідаторів. Приклад блокчейну: VeChain.

Під час вибору алгоритму консенсусу також необхідно враховувати поточні та майбутні потреби мережі, а також ресурси, доступні для реалізації та підтримки обраного алгоритму. Наприклад, якщо проєкт має обмежені обчислювальні ресурси, то вибір алгоритму, який вимагає мінімальної кількості обчислювальної потужності, може бути пріоритетним. Крім того, важливо враховувати ступінь децентралізації, оскільки різні алгоритми консенсусу мають різні рівні децентралізації, що може бути критичним фактором для деяких проєктів, особливо в контексті безпеки та опору централізованим атакам. Таким чином, під час вибору алгоритму консенсусу необхідно враховувати як технічні, так і організаційні аспекти, щоб забезпечити найкращу відповідність цілям і потребам проєкту.

Проведене дослідження використовується при проєктуванні інформаційних децентралізованих систем із застосуванням технології блокчейн та алгоритмів консенсусу, що дає можливість підвищити надійність системи, забезпечити її стійкість до навантаження та атак, зменшити ризики виникнення конфліктів даних та забезпечити швидкість та ефективність обробки транзакцій. При цьому важливо враховувати особливості кожного конкретного алгоритму консенсусу, їхню масштабованість, витрати на обчислення та енергопотребу, а також специфіку застосування в конкретних умовах. Розуміння цих аспектів дозволить ефективно використовувати алгоритми консенсусу для досягнення поставлених цілей та покращення функціонування інформаційних систем у різних галузях та сферах діяльності.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Gramoli, V., 2020. From blockchain consensus back to Byzantine consensus. *Future Generation Computer Systems*, 107, pp.760-769.
2. Li, S.N., Yang, Z. and Tessone, C.J., 2020, August. Proof-of-work cryptocurrency mining: a statistical approach to fairness. In *2020 IEEE/CIC international conference on communications in China (ICCC workshops)* (pp. 156-161). IEEE.
3. Saleh, F., 2021. Blockchain without waste: Proof-of-stake. *The Review of financial studies*, 34(3), pp.1156-1190.
4. Pike, D., Nosker, P., Boehm, D., Grisham, D., Woods, S. and Marston, J., 2015. PoST White Paper. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cdn.vericonomy.com/documents/VeriCoin-Proof-of-Stake-Time-Whitepaper.pdf>.

5. Saad, S.M.S. and Radzi, R.Z.R.M., 2020. Comparative review of the blockchain consensus algorithm between proof of stake (pos) and delegated proof of stake (dpos). International Journal of Innovative Computing, 10(2).
6. Bowman, M., Das, D., Mandal, A. and Montgomery, H., 2021. On elapsed time consensus protocols. In Progress in Cryptology–INDOCRYPT 2021: 22nd International Conference on Cryptology in India, Jaipur, India, December 12–15, 2021, Proceedings 22 (pp. 559-583). Springer International Publishing.
7. Karantias, K., Kiayias, A. and Zindros, D., 2020. Proof-of-burn. In Financial Cryptography and Data Security: 24th International Conference, FC 2020, Kota Kinabalu, Malaysia, February 10–14, 2020 Revised Selected Papers 24 (pp. 523-540). Springer International Publishing.
8. Xiao, B., Jin, C., Li, Z., Zhu, B., Li, X. and Wang, D., 2021, December. Proof of importance: A consensus algorithm for importance based on dynamic authorization. In IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (pp. 510-513).
9. Manolache, M.A., Manolache, S. and Tapus, N., 2022. Decision making using the blockchain proof of authority consensus. Procedia Computer Science, 199, pp.580-588.

STUDY OF CONSENSUS ALGORITHMS IN BLOCKCHAIN NETWORKS IN THE DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS

Roman Sytnyk, Viktoriia Hnatushenko

Abstract. *This paper provides an overview of the major consensus mechanisms in blockchain technology. The main consensus algorithms are discussed, such as Proof of Work, Proof of Stake, Proof of Authority and other, and each has its own unique features, advantages and limitations. The authors analyse these mechanisms based on criteria such as energy efficiency, security, scalability and decentralisation. In addition, there recommendations provided for selecting the optimal consensus mechanism depending on the specific needs and goals of the project. This article serves as an important resource for researchers, developers, and practitioners interested in blockchain technology and its various aspects.*

Keywords: *blockchain, decentralised systems, information system, consensus mechanism, digital ledger.*

КОНЦЕПЦІЯ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ МЕНТАЛЬНОГО ЗДОРОВ'Я УКРАЇНЦІВ

Царик В.Ю., Бичкова Д.М., Кліщ С.М., Каліберда Ю.О.

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, України

Анотація. *Розробка мобільного застосунку для підтримки психічного здоров'я українців є актуальним завданням у сучасному світі, враховуючи зростання викликів у цій сфері. В даній роботі досліджуються стратегії та методи планування розробки такої програми, зосереджуючись на аналізі потреб користувачів, визначенні ключових функціональних вимог, виборі технологічних рішень і розробці методів оцінки ефективності та впливу на користувачів. Дослідження підкреслює важливість орієнтованого на користувача підходу, який забезпечує відповідність програми конкретним потребам і викликам, з якими стикаються українці щодо психічного здоров'я. Ретельно плануючи кожен етап розвитку та враховуючи культурний і соціальний контекст України, можна створити ефективний інструмент покращення психічного благополуччя українського населення.*

Ключові слова: *мобільний застосунок, психічне здоров'я, українці, планування розвитку, технологічні рішення, вплив на користувача, психічне благополуччя.*

Вступ. У сучасному світі питання психічного здоров'я є одним з найбільш актуальних. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 450 мільйонів людей по всьому світу страждають від різних психічних розладів, з яких багато можна попередити та вилікувати [1]. Україна, як і багато інших країн, не є винятком і стикається з проблемами у цій сфері. За даними МОЗ України, станом на початок листопада 2022 року за допомогою до психологів і психіатрів звернулися 650 тис. українців. Для порівняння, у 2019-му за психіатричною допомогою звернулося близько 302 тис. громадян. За останніми даними:

- 71% українців відчувають стрес або знервованість;
- лише 2% українців звертаються до фахівця.

Недостатність доступу до психологічної допомоги та підтримки є серйозним обмеженням для багатьох українців, особливо для тих, хто проживає у віддалених регіонах або має обмежені можливості для отримання кваліфікованої допомоги.

У зв'язку з цим, розробка мобільного застосунку для підтримки ментального здоров'я стає актуальним завданням. Такий застосунок може стати доступним та ефективним інструментом для покращення психічного стану українського населення. Проте, успішна розробка такого застосунку вимагає комплексного підходу та уваги до деталей.

Мета та завдання роботи. Метою даної роботи є дослідження стратегій та методів планування розробки мобільного застосунку для покращення ментального здоров'я українців. Конкретні завдання включають:

1. Аналіз потреб цільової аудиторії.
2. Визначення ключових функціональних вимог до застосунку.
3. Вибір технологічних рішень та платформи розробки.
4. Розробка методів оцінки ефективності та впливу на користувачів.

Стратегії планування розробки. Стратегія планування розробки мобільного застосунку для підтримки ментального здоров'я повинна бути насамперед спрямована на користувача. Важливо ретельно дослідити потреби та проблеми, з якими зіштовхуються українці у сфері ментального здоров'я, для того щоб застосунок був максимально корисним та ефективним.

Дослідження буде зосереджене на всіх аспектах цього застосунку, включаючи:

- Функціональні можливості: Які функції пропонуватиме застосунок? Це можуть бути вправи на усвідомленість, трекери настрою, дихальні вправи, поради експертів, навчальні матеріали, можливість спілкування з іншими користувачами тощо.
- Вміст: Який контент буде доступний у застосунку? Це можуть бути аудіозаписи медитацій, текстові описи вправ, відеоролики з поясненнями, статті про психічне здоров'я тощо.
- Дизайн: Як буде виглядати застосунок? Він повинен бути зручним, інтуїтивно зрозумілим і приємним для користування.
- Ефективність: Чи справді застосунок допомагає покращити психічне здоров'я користувачів? Це необхідно оцінити за допомогою досліджень.
- Доступність: Чи зможуть усі охочі користуватися застосунком? Він повинен бути доступний для людей з різними рівнями доходу, освіти та технічних можливостей.

Методи планування. Один з ключових методів планування є аналіз сучасних досліджень та розробок у галузі психічного здоров'я та мобільних додатків. Такий аналіз дозволяє визначити найефективніші підходи та інструменти, що можуть бути використані у розробці застосунку.

Етапи розробки застосунку. Розробка мобільного застосунку для підтримки ментального здоров'я українців може включати наступні етапи:

1. Аналіз потреб цільової аудиторії: Проведення дослідження для визначення потреб та проблем у сфері ментального здоров'я, з якими стикаються українці. Це може включати опитування, спостереження та інтерв'ю з потенційними користувачами.
2. Визначення функціональних вимог: Встановлення основних функцій та можливостей застосунку на основі аналізу потреб користувачів. Це може бути функція зі здоров'я, яка допомагає користувачам відстежувати своє емоційне становище, або можливість отримання доступу до порад психолога.
3. Технічне проектування: Вибір технічних рішень та платформи розробки, яка найкраще відповідає потребам застосунку. Наприклад, вибір між розробкою для iOS та Android або використання готових фреймворків та бібліотек.
4. Розробка і тестування: Створення прототипу та подальша розробка застосунку з урахуванням встановлених вимог. Після цього проводиться тестування, яке включає в себе тестування функціональності, сумісності та безпеки.
5. Впровадження та підтримка: Реліз застосунку в магазини додатків та його впровадження серед користувачів. Після випуску важливо забезпечити постійну підтримку, включаючи виправлення помилок та оновлення функціоналу.
6. Оцінка ефективності: Після випуску застосунку проводиться оцінка його ефективності та впливу на користувачів. Це може включати збір та аналіз даних про використання застосунку та його вплив на психічне здоров'я користувачів.

Переваги застосунку для ментального здоров'я.

1. Доступність/ Застосунок буде доступний для людей з будь-яким рівнем доходу, освіти, або місцем проживання.

- Зручність: Застосунок можна використовувати в будь-який час і в будь-якому місці, що робить його зручним для людей з щільним графіком.
- Простота використання: Застосунок буде мати простий і зрозумілий інтерфейс, що робить його доступним для людей з різними технічними навичками.

2. Конфіденційність:

- Захист даних: Застосунок буде гарантувати конфіденційність особистої інформації користувачів.
- Анонімність: Користувачі зможуть використовувати анонімні профілі, якщо вони цього бажають.
- Безпечне зберігання даних: Дані користувачів будуть зберігатися в безпечному місці з доступом лише для авторизованих осіб.

3. Персоналізація:

- Індивідуальний план: Застосунок буде створювати індивідуальний план для покращення ментального здоров'я на основі потреб та вподобань користувача.
- Рекомендації: Застосунок буде рекомендувати контент, вправи та практики, які найкраще підходять для користувача.
- Адаптація: Застосунок буде адаптуватися до прогресу користувача та змінювати план відповідно до його потреб.

4. Ефективність:

- Науково-обґрунтовані методи: Застосунок буде використовувати науково-обґрунтовані методи та практики для покращення ментального здоров'я.
- Дослідження та моніторинг: Ефективність застосунку буде постійно досліджуватися та моніторитися.
- Оновлення: Застосунок буде регулярно оновлюватися новими методами та практиками на основі останніх досліджень.

5. Зниження витрат:

- Доступність: Застосунок буде доступним за значно нижчою ціною, ніж традиційна психотерапія.
- Ефективність: Застосунок може допомогти людям швидше та ефективніше покращити своє ментальне здоров'я, що може призвести до економії коштів на лікуванні.

- Профілактика: Застосунок може допомогти людям запобігти розвитку серйозних проблем з ментальним здоров'ям, що може призвести до економії коштів на лікуванні та реабілітації.

Важливо зазначити, що мобільний застосунок не може замінити професійну допомогу психолога або психотерапевта. Однак, він може стати потужним інструментом для покращення ментального здоров'я людей та зміцнення стійкості суспільства в цілому.

Висновки. Успішна розробка мобільного застосунку для покращення ментального здоров'я українців вимагає глибокого розуміння потреб користувачів та впровадження сучасних технологій. Планування цього процесу є критичним етапом, на якому залежить успіх та ефективність майбутнього застосунку.

Впровадження такого застосунку може сприяти зміцненню стійкості суспільства та покращенню якості життя багатьох людей.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. World Health Organization. (2021). Mental Health. [Online]. Available: https://www.who.int/health-topics/mental-health#tab=tab_1

CONCEPT OF A MOBILE APPLICATION TO IMPROVE THE MENTAL HEALTH OF UKRAINIANS

Vladyslav Tsaryk, Daria Bychkova, Serhii Klishch, Yurii Kaliberda

Abstract. *The development of a mobile application to support the mental health of Ukrainians is a crucial task in the modern world, given the increasing challenges in this area. This paper explores the strategies and methods for planning the development of such an application, focusing on the analysis of user needs, defining key functional requirements, selecting technological solutions, and developing methods for evaluating effectiveness and user impact. The study emphasizes the importance of a user-centered approach, ensuring that the application meets the specific needs and challenges faced by Ukrainians regarding mental health. By carefully planning each stage of development and considering the cultural and social context of Ukraine, it is possible to create an effective tool to improve the mental well-being of the Ukrainian population.*

Keywords: *mobile application, mental health, Ukrainians, user-centered approach, development planning, technological solutions, user impact, cultural context, mental well-being.*

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ОБРОБКИ BIG DATA В МЕТАЛУРГІЙНІЙ ПРОМИСЛОВOSTI

Островська К.Ю.¹, Стовпченко І.В.¹

¹Український державний університет науки та технологій, Україна

Анотація: у роботі представлені основи технології Big Data, розглядаються перспективи використання систем обробки великих даних у металургійній промисловості.

Ключові слова: великі дані, машинне навчання, металургійна промисловість.

Великі Дані, на сьогодні, є одним із ключових драйверів розвитку інформаційних технологій. Цей напрямок, набуває широкого поширення в Україні. Це пов'язано з тим, що в епоху інформаційних технологій, особливо після буму соціальних мереж, по кожному користувачеві Інтернету стала накопичуватися значна кількість інформації, що, зрештою, дало розвиток напрямку Big Data [1].

У більшості випадків Big Data – це неструктуровані дані, які відрізняються не тільки обсягами, а й потребують особливих підходів до зберігання та обробки. На відміну від традиційних баз даних, де інформація зберігається відповідно до внутрішньої структури та алгоритмів програми, розрізнені об'єкти – документи, медіа файли, елементи електронної пошти, папки з файлами – важко консолідувати, організувати централізоване управління та забезпечити пошук, оскільки дані є неструктурованими. Поки обсяги зберігання таких даних невеликі, особливих проблем не виникає, але на межі сотень терабайт і числа об'єктів, що обчислюються мільйонами, з'являються складнощі в пошуку потрібного документа, повільно відкриваються файли, утруднюється навігація за великою кількістю папок, створюється багато інших проблем.

Парадигма Big Data визначає три основні типи завдань.

-Зберігання та керування обсягом даних у сотні терабайт або петабайт, які звичайні реляційні бази даних не дозволяють ефективно використовувати.

-Організація неструктурованої інформації, що складається з текстів, зображень, відео та інших типів даних.

-Аналіз великих даних, який порушує питання про способи роботи з неструктурованою інформацією, генерацію аналітичних звітів, а також впровадження прогностичних моделей [2].

Сфера використання технологій Великих Даних велика. Наприклад, за допомогою Великих Даних можна дізнатися про переваги клієнтів, ефективність виробництва або провести аналіз ризиків. Big Data – це вже усталена сфера технологій, навіть незважаючи на молодий її вік, що набула поширення в багатьох сферах бізнесу і відіграє важливу роль у розвитку компаній [3].

Не стали винятком і металургійні підприємства. Нині металургійні підприємства прагнуть скорочення витрат, що дозволить бути конкурентоспроможними на металургійному ринку. Використання технології Big Data може дозволити значний економічний ефект у вигляді скорочення витрат на обробку інформації у виробництві, логістиці та управлінні.

Сучасне металургійне виробництво є складним комплексом різних переділів, що базується на родовищах руд, коксівного вугілля, енергетичних потужностях. Металургійне виробництво включає наступні комбінати, заводи, цехи:

- шахти та кар'єри з видобутку руд та кам'яного вугілля;
- гірничо-збагачувальні комбінати для підготовки руди до плавки;
- коксохімічні заводи або цехи для підготовки вугілля, їх коксування та вилучення корисних хімічних продуктів;
- енергетичні цехи для одержання стисненого повітря, кисню, а також очищення газів металургійних виробництв;
- доменні цехи для виплавки чавуну та феросплавів;
- заводи для виробництва феросплавів;
- сталеплавильні цехи (конвертерні, мартенівські, електросталеплавильні) для виробництва сталі;
- прокатні цехи для одержання сортового прокату (листи, балки, рейки, прутки, дріт тощо) [4].

Автоматизовані системи управління металургійними комбінатами щомиті породжують дані про процеси:

- технологічних (АСУ ТП);
- логістичних (АСУ Транспортної логістики);
- управління (MES і ERP системи).

Системи АСУ ТП збирають дані з датчиків агрегатів про стан та режими технологічних процесів. З систем контролю якості можуть надходити відео зображення смуг прокатки та дефектів на смузі, карти ультразвукового контролю. АСУ Транспортної логістики містять дані про переміщення матеріалів. ERP та MES володіють інформацією про замовлення, планування, оперативне управління обробкою матеріалів, про стан запасів на складах.

Наприклад, лише ланцюжок виробництва від виплавки металу до випуску автолиста може містити від 7000 до 15000 джерел різномірних неструктурованих даних, що у реальному масштабі часу. Високий рівень автоматизації виробництва породжує в персоналу підприємств «ілюзію доступності даних».

Оснащення виробництва сучасними системами автоматизації призводить до оцифровування всіх даних, і це створює у персоналу підприємства ілюзію їх доступності. Але «оцифровано» - значить «доступно».

Дані про технологічні процеси є в АСУ ТП агрегатів, дані про виробництво в системах MES, дані про замовлення в ERP.

При аналізі ситуації на виробництві, пошуку причин браку та закономірностей, вирішенні оптимізаційних завдань необхідно зібрати та зіставити між собою звіти абсолютно різномірних систем. На зіставлення даних цих звітів може піти багато часу і поставлене завдання може виявитися вже не актуальною. Кількість даних, отриманих з різних датчиків, може досягати обсягів петабайти інформації. Весь цей величезний обсяг потрібно обробляти та аналізувати. На жаль, поточні методи обробки та аналізу інформації не мають можливості обробляти так великі обсяги даних. Однак у цій ситуації допоможе може прийти технологія Big Data.

У сучасних інформаційних технологіях склалася серія підходів, інструментів та методів обробки структурованих та неструктурованих даних величезних обсягів. В якості визначальних характеристик даних підходів відзначають «три V»:

- Volume (обсяг);
- Velocity (швидкість обробки та отримання результатів);

- Variety (різноманітність типів структурованих та неструктурованих даних) [4].

Ці характеристики добре підходять для структурованих та неструктурованих даних металургійного виробництва:

- безліч сигналів з датчиків контролю технологічних процесів,
- карти ультразвукового контролю,
- зображення смуг прокатки, що містять дефекти на смузі,
- дані про переміщення продукції та матеріалів,
- дані про замовлення та постачальників.

Технологія Big Data дозволить звести дані з АСУ ТП, АСУ Транспортної логістики та систем класу ERP та MES воєдино, витрачаючи на це в рази меншу кількість часу порівняно з традиційним підходом. Економія часу, відповідно, принесе економічний ефект, роблячи системи обробки великих даних вигідною справою для металургійного бізнесу в цілому.

У перспективі металургійні компанії, завдяки Великим Даним, матимуть можливість займатися предикативним аналізом, наприклад, з великою ймовірністю передбачати частку брака в металургійному переділі на основі технології Машинного навчання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Press G.A Very Short History Of Big Data / Gil Press // Forbes. - 2024 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2024/05/09/a-very-short-history-of-big-data/#125fecab65a1>.
2. Big Data and the History of Information Storage [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.winshuttle.com/big-data-timeline/>
3. Big Data [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/big-data-bolshie-dannye>
4. Технології Big Data: ключові характеристики, особливості та переваги [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://aiconference.com.ua/uk/news/tehnologii-big-data-klyuchevie-harakteristiki-osobennosti-i-preimushchestva-97883>

PROSPECTS FOR USING BIG DATA PROCESSING SYSTEMS IN THE METALLURGICAL INDUSTRY

Ostrovska Kateryna, Stovpchenko Ivan

Abstract: *The work presents the Big Data technology bases. Thanks to Big Data Analytics, you can quickly and efficiently interpret various information, find patterns and make forecasts. Today, Big Data helps solve various problems in many areas, including:*

retail, medicine, finance, industry, energy, tourism, ecology, entertainment. Thanks to the processing and analysis of a large array of data, representatives of government, business, science, developers and other interested parties improve the quality of goods and services and develop business. Big Data technologies make it possible to efficiently and quickly benefit from this array of information. With their help, government agencies and business representatives optimize various processes, and end consumers receive better services. The prospects for using systems for processing extensive data in the metallurgical industry are considered.

Keywords: *the Big Data, machine learning, steel industry.*

REFERENCE

1. Press G.A Very Short History Of Big Data / Gil Press // Forbes. - 2024 [Elektronnyy resurs]. - Rezhyim dostupu: <https://www.forbes.com/sites/gilpress/2024/05/09/a-very-short-history-of-big-data/#125fecab65a1>.
2. Big Data and the History of Information Storage [Elektronnyy resurs]. - Rezhyim dostupu: <http://www.winshuttle.com/big-data-timeline/>
3. Big Data [Elektronnyy resurs]. - Rezhyim dostupu: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/big-data-bolshie-dannye>
4. Технології Big Data: ключові характеристики, особливості та переваги [Elektronnyy resurs]. - Rezhyim dostupu: <https://aiconference.com.ua/uk/news/tehnologii-big-data-klyuchevie-harakteristiki-osobennosti-i-preimushchestva-97883>

СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГУ ОЦІНКИ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Кавац О.О.¹, Кавац Ю.В.¹, Дібрій Д.А.²

¹Кандидат технічних наук, Доцент кафедри інформаційних технологій і систем,
Українського державного університету науки і технологій, Україна

²Аспірант кафедри інформаційних технологій і систем, Українського державного
університету науки і технологій, Україна

Анотація. Супутниковий моніторинг є надійним інструментом отримання оперативної інформації про стан водних об'єктів та зміни в ньому із певною періодичністю, завдяки застосуванню широкого набору різномірних даних. А наявність архівних даних стає вагомою перевагою та відкриває можливість порівнювати отримані результати і аналізувати чинники впливу на стан водних об'єктів та навколишнє середовище. В роботі описано основні методи та набори даних, які можна використовувати для застосування методів дистанційного моніторингу на основі машинного навчання. В якості основного набору даних пропонується використання багатоспектральних датчиків Landsat, у тому числі TM (Thematic Mapper), MSS (Multispectral Scanner), ETM (Enhanced Thematic Mapper) і OLI (Operational Land Imager). Проаналізовано приклади застосування дистанційного підходу щодо оцінки ступеню забрудненості водойм на великих площах. Вказано перспективні методи машинного навчання для вирішення прикладної задачі.

Ключові слова. водні об'єкти, водойми, супутниковий моніторинг, оцінка стану забруднення, екологічне навантаження, методи ДЗЗ, машинне навчання, валідація, Landsat 8.

Вступ. В останні роки у світі спостерігається тенденція дефіциту прісної води, однією із глобальних причин виникнення якої є забруднення. В цьому контексті прісна вода є важливим ресурсом, який потребує моніторингу, оскільки сприяє розвитку економіки будь якої країни. Велика кількість прісної води зберігається у внутрішніх водоймах країни, так в Україні нараховують понад 63 тис. річок. Поверхневі води за своєю природою є динамічним об'єктом, зміни якого впливають на інші природні ресурси та навколишнє середовище. Це обумовлює важливість ефективного визначення обсягу поверхневих вод і відстеження їх динаміки. Відповідно до Водної рамкової директиви Європейського Союзу (ВРД ЄС), екологічний стан водойми

оцінюється на основі трьох основних груп параметрів: гідробіологічних, гідрохімічних і гідроморфологічних [1]. У рамках державної системи моніторингу довкілля України оцінювання якості поверхневих вод ведеться окремо за гідрохімічними й гідробіологічними показниками. Основний принцип оцінювання якості водного середовища, що використовується вже тривалий час у водоохоронній практиці нашої країни, полягає в визначенні в окремих точках водного об'єкта хімічного складу, фізичних властивостей і бактеріологічних показників води та зіставлення результатів з нормативними величинами відповідних показників [1-4]. Враховуючи дороговартість та складність отримання показників, постає актуальна задача по розробці інформаційної технології із залученням різнорідних даних дистанційного зондування Землі.

Основна частина. На сьогодні численні дослідження показали великий потенціал і корисність методів дистанційного зондування для покращення та оперативного отримання інформації про характеристики навколишнього середовища в різних часових і просторових масштабах. Супутники, обладнані різними оптичними та тепловими датчиками, є перспективними в порівнянні з вимірюванням на місці, оскільки забезпечують постійно зростаючий потік геопросторових даних, що охоплюють великі території з високою роздільною здатністю, а головне більш економічним [5].

Багато досліджень показало ефективність багатоспектральних датчиків Landsat, у тому числі TM (Thematic Mapper), MSS (Multispectral Scanner), ETM (Enhanced Thematic Mapper) і OLI (Operational Land Imager), для пошуку зміни якості води, цей параметри є дуже важливим при оцінці стану забруднення водного об'єкту. Отримання інформації за ним дозволяє оперативно реагувати та визначати чинники впливу на навколишнє середовище. Оскільки супутникові набори даних Landsat доступні та мають відповідну часову частоту та просторову роздільну здатність. Супутникові набори даних Landsat дозволяють здійснювати щомісячний моніторинг на невеликих ділянках внутрішніх водних об'єктів і надають ключову інформацію про стан водного середовища. Складові води, такі як хлорофіл, глибина диска

Секкі (SDD), загальна зависла речовина (TSM), кольорова розчинена органічна речовина (CDOM) та інші, визначені як оптично активні змінні, широко вивчається багатьма дослідниками [5]. Однак кілька інших важливих показників є не оптично активними, наприклад хімічне споживання кисню (COD), біологічне споживання кисню (BOD), загальний азот (TN), перманганат хімічного споживання кисню (CODMn), аміак ($\text{NH}_3\text{-N}$) і загальний фосфору (TP), не були добре вивчені та залишаються складним аспектом комплексної оцінки якості води. Крім того, більшість попередніх досліджень, які оцінювали стан якості води в закритих водних об'єктах, рідко зосереджувалися на конкретних сезонах або залежали від балових шкал із обмеженими лабораторними аналітичними даними. Це підкреслює необхідність ефективної оцінки, як оптично активних, так і неактивних змінних і вивчення їх просторово-часових моделей.

У дослідженнях дистанційного зондування оцінки стану забруднення та якості води впроваджуються різні підходи, щоб покращити знання про водну систему. Типова методологія інтерпретації та оцінки концентрацій різних змінних еволюціонувала від методів емпіричної регресії, включаючи просту лінійну регресію та не лінійну множинну регресію, до аналізу головних компонент (PCA) і нейронних мереж [14]. Тим не менш, деякі звичайні регресійні моделі можуть бути не оптимальними, особливо коли існують складні нелінійні зв'язки між поведінкою водної системи та факторами навколишнього середовища. В останні роки, замість того, щоб змінювати класичні підходи, використання інструментів і технологій великих даних у секторі оцінки стану забруднення та якості води, стало основним. Незважаючи на те, що деякі оцінки, засновані на машинному навчанні, показали багатообіцяючі результати у вирішенні проблеми низької точності часових рядів за допомогою простих емпіричних моделей, залишається проблемою глибоке розуміння складних двонаправлених взаємодій між складовими води та сонячним випромінюванням у часовому і просторовому контексті. Технології глибинного машинного навчання дають можливість вивчати більш складні статистичні характеристики, але іноді примусово відокремлюють

просторові або часові кореляційні характеристики. Недавні дослідження, присвячені оцінці екологічних факторів на основі даних, таких як вологість ґрунту, виявили, що новий підхід штучного інтелекту (AI) моделі згорткової довготривалої короткочасної пам'яті (ConvLSTM) значно перевершує класичні методи моделювання послідовностей у захопленні просторово-часові кореляції вхідних даних супутникових зображень. Однак спроби застосувати алгоритм ConvLSTM для визначення якості води все ще рідкісні, що підкреслює необхідність приділяти особливу увагу складному моделюванню якості води.

Висновки. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку та валідацію нової регресійної моделі на основі глибинного навчання для оптично активного та неактивного моделювання якості води. Використання супутникових зображень середнього просторового розрізнення, дозволить проводити моніторинг з високою частотою, що є потенційно потужніше у відображенні нелінійної просторово-спектральної інформації з відносно високою просторовою роздільною здатністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities, 22.12 2000. L 327/1. 118 p.
2. Бреус Д.С., Левченко М.В. Методи оцінювання та нормування якості природних водних ресурсів Таврійський науковий вісник Випуск № 110. Том 2 , 2019 р. Стр.126-131.
3. Berka C. Relationships between agricultural land use and surface water quality using a GIS. Sumas River watershed, Abbotsford, B.C.MSc thesis, Resource Management and Environmental Studies, University of British Columbia, Vancouver, B.C., 1996. 174 p.
4. EPA: 1996, Environmental Indicators of Water Quality in the United States. USEPA Rep. 841-R-96-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
5. Sun, X., Zhang, Y., Shi, K., Zhang, Y., Li, N., Wang, W., Huang, X., Qin, B. Monitoring water quality using proximal remote sensing technology. Sci. Total Environ. 2022, 803, 149805.

SATELLITE MONITORING OF WATER BODY POLLUTION ASSESSMENT BASED ON MACHINE LEARNING

Olena Kavats, Yurii Kavats, Danilo Dibrii

Abstract. *Satellite monitoring is a reliable tool for obtaining operational information about the state of water bodies and their changes with a certain periodicity, thanks to the*

use of a large set of heterogeneous data. And the availability of archival data becomes a significant advantage, opening up the possibility of comparing the obtained results and analyzing factors affecting the state of water bodies and the environment. The paper describes the main methods and datasets that can be used to apply remote monitoring methods based on machine learning. The use of medium spatial resolution data is proposed as the main data set. Examples of the application of the remote sensing approach to the assessment of water pollution in large areas are analyzed. Possible machine learning methods for solving an applied problem are presented, the new artificial intelligence (AI) approach of convolutional long-short-term memory (ConvLSTM) model significantly outperforms classical methods.

Keywords: *water objects, satellite monitoring, assessment of the state of pollution, ecological burden, methods of environmental protection, machine learning.*

REFERENCE

1. EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Official Journal of the European Communities, 22.12 2000. L 327/1. 118 p.
2. Breus D.S., Levchenko M.V. Methods of assessment and standardization of the quality of natural water resources Taurian Scientific Bulletin. Edition № 110. Volume 2 , 2019. 126-131p.
3. Berka C. Relationships between agricultural land use and surface water quality using a GIS. Sumas River watershed, Abbotsford, B.C.MSc thesis, Resource Management and Environmental Studies, University of British Columbia, Vancouver, B.C., 1996. 174 p.
4. EPA: 1996, Environmental Indicators of Water Quality in the United States. USEPA Rep. 841-R-96-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
5. Sun, X., Zhang, Y., Shi, K., Zhang, Y., Li, N., Wang, W., Huang, X., Qin, B. Monitoring water quality using proximal remote sensing technology. Sci. Total Environ. 2022, 803, 149805

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ КЛАСИФІКАЦІЇ НЕВИЗНАЧЕНИХ ДАНИХ З ВИМОГАМИ ДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ

Скалозуб В.В., Горячкін В.М., Терлецький І.А.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. У доповіді приведені результати досліджень та розвитку інтелектуальних моделей управління складними системами за умов невизначеності даних на основі процедур класифікації, які забезпечують достовірне вирішення завдань з урахуванням оцінки граничної розмірності моделей. Досліджені можливості удосконалення нейронних мереж Хеммінга для класифікації даних у форматах нечітких величин і *certainty factor CF(A)*. Визначені особливості математичної моделі завдань класифікації на основі набору шаблонів ознак. Приведено програмний комплекс інформаційної технології управління призначенням/відбором виконавців, а також визначення авторства україномовних творів на основі класифікації наборів шаблонів із певних нечітких ознак. Програмний комплекс використовує запропоновані у доповіді процедури редукції і статистики каппа Коена.

Ключові слова: класифікація наборів шаблонів, невизначені дані, редукція розмірності, статистика каппа Коена, нечіткі величини, *certainty factor CF(A)*, модифікована мережа Хеммінга, інформаційна технологія, програмне забезпечення, завдання визначення авторства та призначення/відбір виконавця.

Для різноманітних складних систем існує необхідність у застосуванні процедур класифікації та діагностування неповних даних, щоб вирішувати завдання вибору керування технологічними процесами, відбору виконавців завдань, визначення авторства творів тощо. З цим пов'язані проблеми формування математичних моделей класифікації та перевірки їхньої коректності та достовірності. Представлена доповідь присвячена дослідженню і розвитку інтелектуальних моделей управління складними системами в умовах невизначеності даних, зокрема за допомогою процедур класифікації, з використанням методів редукції (ПКР) та каппа-статистики Коена. Використання цих методів гарантує достовірні результати класифікації з урахуванням граничних розмірностей моделей. Виконання процедури редукції на основі каппа статистики має такі етапи: - 1) для моделей шаблонів класів з різним числом або складом параметрів необхідно визначити оцінку показника

«каппа», - 2) якщо результати класифікації для різних моделей-шаблонів відповідають вимогам «подібності», скоротити модель, залишити один із шаблонів, - 3) враховуючи граничне значення розмірності моделі класифікації « n_0 » (розрахованої за вихідними експериментальними даними) визначити і видалити найменше значимі чи найбільше «подібні» між собою параметри моделі класифікації. Повторювати процедуру ПКР до формування розмірності модифікованої моделі « n_0 », для якої була задана оцінка ймовірності безпомилкового розділення випадкової і незалежної вибірки довжини « L » при встановленій граничній величині помилкової класифікації « ε ».

Сутність та достовірність результатів ПКР визначається через показник «каппа» статистики Коена. За ним встановлюється «подібність», або належність конкуруючих багатопараметричних математичних моделей класифікації до одного типу, категорії. Для такої перевірки «подібності» необхідно утворити певну множину математичних моделей, шаблонів із різними наборами змінних, для яких в подальшому виконувати порівняльний аналіз їх відповідності між собою у відповідності до процедури ПКР.

У доповіді також розглядаються можливості вдосконалення нейронних мереж Хеммінга для класифікації даних у формі нечітких величин і certainty factor CF(A). У дослідженнях були виявлені особливості запропонованої моделі нечіткої класифікації на основі набору ознак, які визначають класи аналізованих об'єктів.

У роботі сформовані та досліджені нові математичні моделі класифікації для визначення авторства україномовних творів (ЗАТ), детально розглядаються їх властивості. Особливості завдання ЗАТ та його реалізації на основі моделі нечіткої класифікації полягають у відсутності вимог щодо числа етапів процедури прийняття рішень, а також не обов'язковості формування єдиної моделі класифікації. Такі особливості процедур класифікації були враховані при формуванні процедури редукції та каппа-статистики Коена.

Для вирішення завдань класифікації параметрів складних систем за умов невизначеності даних було розроблено відповідне програмне забезпечення. У доповіді приведено структуру програмного комплексу інформаційної

технології управління призначенням/відбором виконавців, а також завданнями із визначення авторства україномовних творів, на основі класифікації наборів шаблонів із певних нечітких ознак. Програмний комплекс використовує процедури редукції та каппа-статистики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Скалозуб В.В., Горячкін В.М., Терлецький І.А., Дудник І.П. Формування моделей класифікації невизначених даних процедурами редукції і каппа статистики. Системні технології. – Дніпро, УДУНТ, 2023. – № 5 (148). – С. 141-155. DOI: 10.34185/1562-9945-5-148-2023-13
2. Колесник А. С., Хайрова Н. Ф. Обґрунтування використання статистики каппа Коена в експериментальних дослідженнях NLP Text Mining. Кібернетика та системний аналіз. Т. 58, № 2. 2022. С. 143–153.

RESEARCH OF INTELLECTUAL MODELS FOR CLASSIFICATION OF UNCERTAIN DATA WITH REQUIREMENTS FOR RESULT RELIABILITY

Skalozub V., Horyachkin V., Terletsky I.A.

Abstract. *The report contains the results of research and development of intellectual models for managing complex systems under conditions of data uncertainty based on classification procedures, which ensure reliable solution of tasks considering the assessment of the boundary dimensionality of models. The possibilities of improving Hamming neural networks for data classification in formats of fuzzy variables and certainty factor $CF(A)$ are investigated. The features of the mathematical model of classification tasks based on a set of feature templates are determined. A software complex of information technology for assignment/selection of performers, as well as determination of authorship of Ukrainian-language works based on classification of sets of templates with certain fuzzy features, is presented. The software complex utilizes the reduction and Cohen's kappa statistics procedures proposed in the report.*

Keywords: *template set classification, uncertain data, dimensionality reduction, Cohen's kappa statistics, fuzzy variables, certainty factor $CF(A)$, modified Hamming network, information technology, software, authorship determination task and performer assignment/selection.*

REFERENCES

1. Skalozub V.V., Horyachkin V.M., Terletsky I.A., Dudnik I.P. Formation of classification models of uncertain data using reduction and kappa statistics procedures. System Technologies. – Dnipro, USUST, 2023. – № 5 (148). – P. 141-155. DOI: 10.34185/1562-9945-5-148-2023-13
2. Kolesnyk A.S., Khayrova N.F. Justification of using Cohen's kappa statistics in experimental research of NLP Text Mining. Cybernetics and Systems Analysis. Vol. 58, No. 2. 2022. P. 143–153.

СУЧАСНИЙ СТАН ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ЦИФРОВОГО ПІДПISУ

Харун В.Р

ІФНТУНГ, 76019, Україна, м.Івано-Франківськ, вул.Карпатська, 15

Анотація. У перші місяці повномасштабного вторгнення Росії в Україну, доходи багатьох підприємств впали практично до “нуля”, проте бізнес вистояв та за наступні 15 місяців в Україні з’явилося 41000 нових компаній і 318000 ФОПів. Як для фізичних так і для юридичних осіб використання електронного документообігу в умовах війни - це найбільш зручний та сучасний формат спілкування з контролюючими органами. З 1 січня 2022р. використання РРО та ПРРО стало обов’язковим - це призвело до різкого зростання кількості сформованих сертифікатів електронного підпису і, не зважаючи на воєнний стан на території України, можна спрогнозувати подальше збільшення їх кількості, а отже, і подальший розвиток ЕДО.

Ключові слова: електронний підпис, електронний документообіг, фізична особа-підприємець, кваліфіковані сертифікати електронного підпису.

Вступ

Незважаючи на величезне бажання Росії знищити нас як фізично так і економічно український бізнес показує чудові показники своєї економічної активності. Так згідно з дослідженням автора [1], перед початком повномасштабного вторгнення Росії, в Україні працювало приблизно 180000 середніх компаній (дохід 10-50 млн. EUR) і понад 350000 малих (дохід до 10 млн. EUR) 86% з яких складав мікробізнес з доходом до 2 млн. EUR. Разом вони давали роботу 5 млн. українцям, а також працювало майже 2 млн. фізичних осіб-підприємців (ФОП).

І хоча в перші місяці вторгнення Росії в Україну доходи багатьох підприємств впали практично до “нуля” [2], проте бізнес вистояв, та за наступні 15 місяців в Україні з’явилося 41000 нових компаній і 318000 ФОПів. Розподіл за видами діяльності фізичних осіб-підприємців, на липень 2023р. показаний на діаграмі рис.1. Більшість з них займались гуртовою та роздрібною торгівлею (42,5%), інформаційною та телекомунікаційною діяльністю (14,7%).

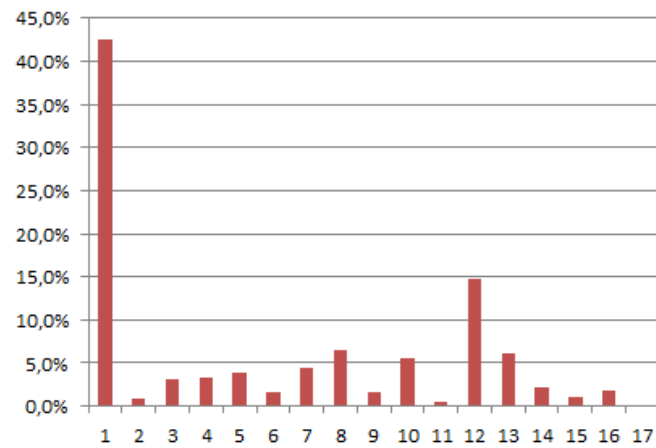


Рисунок 1 – Розподіл у % ФОПів по видах діяльності

На рис.1 цифри позначені на осі абсцис відповідають наступним видам діяльності: 1 – гуртова та роздрібна торгівля (42,5%); 2 – мистецтво, спорт, розваги та відпочинок (0,9%); 3 – інші види діяльності (3,1%); 4 – операції з нерухомим майном (3,3%); 5 – організація харчування (3,9%); 6 – охорона здоров'я та надання соцдопомоги (1,6%); 7 – переробна промисловість (4,5%); 8 – професійна, наукова та техдіяльність (6,5%); 9 – сільське, лісове та рибне господарство (1,6%); 10 – транспорт, складське господарство (5,6%); 11 – фінансова і страхова діяльність (0,4%); 12 – інформація та телекомунікації (14,7%); 13 – інші види послуг (8%); 14 – адміністративне та допоміжне обслуговування (2,1%); 15 – будівництво (1,1%); 16 – водопостачання, каналізація, поводження з відходами (0,2%).

Як для фізичних так і для юридичних осіб використання електронного документообігу в умовах війни - це найбільш зручний та сучасний формат спілкування з контролюючими органами. Податковим кодексом України передбачено подання звітності в електронному вигляді, яке є можливим за умови отримання електронного цифрового підпису в акредитованих центрах сертифікації ключів та укладення договору з органом державної податкової служби за місцем реєстрації договору про визнання електронних документів. Метою дослідження є здійснення аналізу розвитку та сфер застосування електронного цифрового підпису, без якого неможливий електронний документообіг (ЕДО) для фізичних осіб-підприємців.

Основний матеріал.

Під час створення електронних документів використовується електронний підпис – це зашифровані електронні данні, додані підписником до електронних документів. Він застосовується для підтвердження автентичності та недоторканості цих даних. Початково правовий статус електронного підпису було визначено Законом України «Про електронний цифровий підпис» від 22 травня 2003 р. № 852–IV. Проте цей закон втратив чинність від 07.11.2018р. на підставі Закону №2155-VIII [3], який є діючим на даний час.

Найбільшими надавачами електронних довірчих послуг є: Державне підприємство “ДІА”, Акціонерне товариство комерційний банк “Приватбанк”, Державна податкова служба України, Товариство з обмеженою відповідальністю “Центр сертифікації ключів “Україна”, Акціонерне товариство “Державний ощадний банк України”. На рис.2 приведено діаграму порівняння кількості сформованих кваліфікованих сертифікатів електронного підпису за звітні періоди 2019-2023р. [4].



Рисунок 2 – Кількість (млн) сформованих кваліфікованих сертифікатів електронного підпису у п'ятірки найбільших надавачів електронних довірчих послуг.

Закон України “Про електронні документи та електронний документообіг” був прийнятий ще від 22 травня 2003 р. № 851–IV і на даний час є чинним з відповідними змінами [5]. Проте, як видно з діаграми рис.2, кількість сформованих кваліфікованих сертифікатів електронного

підпису аж до 2019 була незначною, а в 2020р навіть відбувся їх спад, що можна обґрунтувати впливом пандемії коронавірусу COVID-19, і почала зростати починаючи з 2021р. Переважно ці підписи були сформовані юридичними особами, ФОПи ж практично не використовували електронні підписи. З 1 січня 2022р. набрав чинності Закон України «Про застосування реєстраторів розрахункових операцій у сфері торгівлі, громадського харчування та послуг» [6]. Відповідно до нього, реєстратори розрахункових операцій (РРО) або програмовані реєстратори розрахункових операцій (ПРРО) повинні застосовувати всі платники єдиного податку підприємців другої, третьої та четвертої груп, які проводять розрахункові операції.

Висновки

Починаючи з 2021р для звітності підприємці активно почали використовувати електронні кабінети на сайті Державної податкової служби України, для користування якими необхідно застосовувати електронний підпис.

Оскільки з 1 січня 2022р. використання РРО та ПРРО стало обов'язковим, це призвело до різкого зростання кількості сформованих сертифікатів електронного підпису і, не зважаючи на воєнний стан на території України, можна спрогнозувати подальше збільшення їх кількості, а отже і подальший розвиток ЕДО.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борис Давиденко. Скільки ФОПів, малих та середніх компаній в Україні і як вони впливають на економіку. Шість графіків про МСБ. URL: <https://forbes.ua/business/skilki-fopiv-malikh-ta-serednikh-kompaniy-v-ukraini-i-yak-voni-vplivayut-na-ekonomiku-shist-grafikov-pro-msb-24072023-14882> (дата звернення 16.03.2024)
2. Інформація про YouControl. URL: <https://forbes.ua/profile/youcontrol-899>. (дата звернення 16.03.2024).
3. Закон України "Про електронну ідентифікацію та електронні довірчі послуги" від 05.10.2017 №2155-VIII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2155-19#Text> (дата звернення 17.03.2024)
4. Оцінка стану розвитку сфери електронних довірчих послуг URL: <https://czo.gov.ua/development/> (дата звернення 17.03.2024).
5. ЗАКОН УКРАЇНИ. Про електронні документи та електронний документообіг. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/t030851?an=936792> (дата звернення 17.03.2024).

6. ЗАКОН УКРАЇНИ. Про застосування реєстраторів розрахункових операцій у сфері торгівлі, громадського харчування та послуг URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/265/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 21.03.2024).

CURRENT STATE OF USE OF ELECTRONIC DIGITAL SIGNATURE

Kharun V.

Abstract. *During the first months of Russia's full-scale invasion of Ukraine, the incomes of many enterprises plummeted practically to zero. However, businesses endured, and over the following 15 months, Ukraine saw the emergence of 41,000 new companies and 318,000 individual entrepreneurs. For individuals and legal entities, the use of electronic document workflow in war conditions has become the most convenient and modern format of communication with regulatory authorities. Since January 1, 2022, using fiscal cash registers (FCR) and programmed fiscal cash registers (PFCR) has become mandatory, leading to a sharp increase in the number of issued electronic signature certificates. Despite the state of war in Ukraine, further growth in their number can be anticipated, thus contributing to the further development of electronic document workflow.*

Keywords: *electronic signature, electronic document workflow, individual entrepreneur, qualified electronic signature certificates.*

REFERENCE

1. Borys Davydenko. Skil'ky FOPiv, malykh ta serednikh kompanij v Ukraini i iak vony vplyvaiut' na ekonomiku. Shist' hrafikiv pro MSB. URL: <https://forbes.ua/business/skilki-fopiv-malikh-ta-serednikh-kompanij-v-ukraini-i-yak-voni-vplivayut-na-ekonomiku-shist-grafikiv-pro-msb-24072023-14882> (data zvernennia 16.03.2024).
2. Informatsiia pro YouControl. URL: <https://forbes.ua/profile/youcontrol-899> (data zvernennia 16.03.2024).
3. Zakon Ukrainy "Pro elektronnu identyfikatsiiu ta elektronni dovirchi posluhy" vid 05.10.2017 №2155-VIII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2155-19#Text> (data zvernennia 17.03.2024).
4. Otsinka stanu rozvytku sfery elektronnykh dovirchikh posluh URL: <https://czo.gov.ua/development/> (data zvernennia 17.03.2024).
5. ZAKON UKRAYNY. Pro elektronni dokumenty ta elektronnyj dokumentoobih. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/t030851?an=936792> (data zvernennia 17.03.2024).
6. ZAKON UKRAYNY. Pro zastosuvannia reiestratoriv rozrakhunkovykh operatsij u sferi torhivli, hromads'koho kharchuvannia ta posluh URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/265/95-%D0%B2%D1%80#Text> (data zvernennia 21.03.2024).

ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ НА СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ PYTORCH

Міщенко М.С., Гнатушенко Вік. В.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. Дана робота присвячена розробці нейронної мережі для класифікації супутникових знімків Землі за чотирма класами: вода, піски, хмари та зелена місцевість (ліси, поля, скупчення рослин). Для цього використовується Python-бібліотека PyTorch, орієнтована на застосування глибокого навчання для задач комп'ютерного зору. Запропонований підхід дозволяє автоматично класифікувати супутникові знімки, полегшуючи аналіз великих обсягів даних, його було протестовано на супутникових знімках Sentinel-2, отриманих з березня по серпень 2023 року для деяких частин Херсонської та Миколаївської областей, Україна, та отримано загальну точність 95%. Результати дослідження є корисними для спеціалістів у галузях дистанційного зондування Землі, комп'ютерного зору, машинного навчання та розробки програмного забезпечення для аналізу аерокосмічних зображень.

Ключові слова: супутникові знімки, розпізнавання образів, Python, комп'ютерний зір, машинне навчання, глибоке навчання, PyTorch.

Аналіз та обробка супутникових знімків є важливою задачею в багатьох галузях, таких як дистанційне зондування Землі, моніторинг навколишнього середовища, картографія та розвідка [1,2]. З розвитком супутникових систем та збільшенням обсягів знімків, що отримуються, постає нагальна потреба в ефективних інструментах для автоматизованої класифікації та інтерпретації цих даних. Завдяки стрімкому прогресу в галузі машинного навчання та глибокого навчання, нейронні мережі (НМ) продемонстрували видатні результати в різноманітних задачах комп'ютерного зору, включно з класифікацією зображень. Зокрема, використання бібліотек глибокого навчання, таких як PyTorch [3], відкриває нові можливості для розробки потужних моделей класифікації аерокосмічних знімків.

В роботі запропоновано розробку моделі НМ глибокого навчання, з використанням PyTorch, для визначення об'єктів на супутникових знімках Землі за чотирма класами: вода, піски, хмари та зелена місцевість. Метою даного дослідження є підвищення якості класифікації супутникових

зображень, завдяки використанню нейромережевих технологій на базі PyTorch. Успішне вирішення цієї задачі може мати широке практичне застосування в різних галузях, пов'язаних з аналізом супутникових даних, і сприяти подальшому розвитку методів глибинного навчання для обробки аерокосмічних знімків.

Підготовка датасету починається з імпорту необхідних модулів PyTorch. Визначається співвідношення між кількістю даних для навчання та даними для перевірки, використовувалось 80% та 20% відповідно. Встановлюється розмір батчу, тобто скільки зображень буде оброблятися за один раз. Після цього дані завантажуються з вказаної директорії.

Для навчальних даних застосовувались різноманітні трансформації зображень, такі як зміна розміру зображень, горизонтальне та вертикальне відбиття, гаусове розмиття та обертання [4]. Ці перетворення дають можливість узагальнення даних моделі. Для даних перевірки застосовується лише зміна розміру зображень. Потім створюються завантажувачі даних для навчального та перевірконого наборів, які подають дані в модель під час навчання та перевірки.

Наступним кроком є завантаження зображень у попередньо натреновану НМ ResNet [5]. Останній класифікаційний шар моделі змінюється відповідно до кількості класів у задачі, у розробленому випадку 4 класи (вода, піски, хмари та зелена місцевість). Визначаються дві функції: функція навчання та функція перевірки [6,7]. Функція навчання виконує прямий прохід даних через модель, обчислює втрати, виконує зворотне поширення помилки та оптимізує параметри моделі. Функція перевірки обчислює втрати та точність класифікації, зокрема для кожного класу окремо. Під час циклу навчання ініціалізуються списки для зберігання значень втрат та точності на кожній епосі. Потім функції навчання та перевірки викликаються протягом заданої кількості епох. Параметри навчання натренованої мережа зберігаються, а також дані втрат та точності під час навчання. Останім кроком є створення скрипту для класифікації тестових зображень та завантаження НМ яка навчена, результат класифікації виводиться на екран.

Представлений підхід є прикладом практичного застосування бібліотеки PyTorch для задач визначення об'єктів на зображеннях. Подальші вдосконалення можуть включати збільшення обсягу навчальних даних, застосування інших методів обробки зображень та експерименти з іншими моделями нейронних мереж. Загалом, ця робота демонструє потенціал методів глибокого навчання, зокрема бібліотеки PyTorch, для аналізу та класифікації аерокосмічних знімків, що має широке практичне застосування в різноманітних галузях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kaplan, G., Aavdan, U., 2018: Sentinel-1 and Sentinel-2 Data fusion for wetlands mapping: Balikdami, Turkey. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 42(3), 729-734, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-729-2018>
2. Hnatushenko Vik., Hnatushenko Vo., Kashtan V., Heipke C., 2023: Detection of Forest Fire Consequences on Satellite Images using a Neural Network. In: Kersten T., Tilly N. (Eds.), 43. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF e.V. - München, Publikations DGPF, Vol. 31 https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2023/proceedings/paper/15_dgpf2023_Hnatushenko_et_al.pdf
3. Zhou, Yue, et al. "Mmrotate: A rotated object detection benchmark using pytorch." Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia. 2022.
4. Lin, Dan, et al. "Multilabel aerial image classification with a concept attention graph neural network." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 60 (2021): 1-12.
5. Khalifa, NourEldeen, Mohamed Loey, and Seyedali Mirjalili. "A comprehensive survey of recent trends in deep learning for digital images augmentation." Artificial Intelligence Review 55.3 (2022): 2351-2377.
6. Liang, Yilong, Sildomar T. Monteiro, and Eli S. Saber. "Transfer learning for high resolution aerial image classification." 2016 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR). IEEE, 2016.
7. Cheriadat, Anil M. "Unsupervised feature learning for aerial scene classification." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 52.1 (2013): 439-451.

Detecting objects on satellite images using PyTorch

Mishchenko M., Hnatushenko V.

Ukrainian State University of Science and Technology, Ukraine

Abstract. *This paper is devoted to the development of a neural network for classifying satellite images of the Earth into four classes: water, sands, clouds, and green areas (forests, fields, and plant clusters). For this purpose, the Python library PyTorch is used, which is focused on the application of deep learning for computer vision tasks. The*

proposed approach allows for automatic classification of satellite images, facilitating the analysis of large amounts of data, and has been tested on Sentinel-2 satellite images acquired from March to August 2023 for some parts of Kherson and Mykolaiv regions, Ukraine, and achieved an overall accuracy of 95%. The results of the study are useful for specialists in the fields of remote sensing, computer vision, machine learning, and aerospace image analysis software development.

Keywords: *aerial imagery, image recognition, Python, computer vision, machine learning, deep learning, PyTorch.*

REFERENCES

1. Kaplan, G., Aavdan, U., 2018: Sentinel-1 and Sentinel-2 Data fusion for wetlands mapping: Balikdami, Turkey. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., 42(3), 729-734, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-729-2018>
2. Hnatushenko V., Hnatushenko V., Kashtan V., Heipke C., 2023: Detection of Forest Fire Consequences on Satellite Images using a Neural Network. In: Kersten T., Tilly N. (Eds.), 43. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF e.V. - München, Publikations DGPF, Vol. 31 https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2023/proceedings/paper/15_dgpf2023_Hnatushenko_et_al.pdf
3. Zhou, Yue, et al. "Mmrotate: A rotated object detection benchmark using pytorch." Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia. 2022.
4. Lin, Dan, et al. "Multilabel aerial image classification with a concept attention graph neural network." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 60 (2021): 1-12.
5. Khalifa, NourEldeen, Mohamed Loey, and Seyedali Mirjalili. "A comprehensive survey of recent trends in deep learning for digital images augmentation." Artificial Intelligence Review 55.3 (2022): 2351-2377.
6. Liang, Yilong, Sildomar T. Monteiro, and Eli S. Saber. "Transfer learning for high resolution aerial image classification." 2016 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR). IEEE, 2016.
7. Cheriadat, Anil M. "Unsupervised feature learning for aerial scene classification." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 52.1 (2013): 439-451.

СЕКЦІЯ 6

**ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА**

SECTION 6

**PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES
AND ORGANIZATION OF MODERN PRODUCTION**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ МАКРОСТРУКТУРИ ВИЛИВКІВ ІЗ
ВТОРИННОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ AL-Si ПРИ МОДИФІКУВАННІ
ВИСОКОДИСПЕРСНИМ КАРБІДОМ КРЕМНІЮ**

Селівьорстов В.Ю., Доценко Ю.В., Селівьорстова Т.В., Гладких В.А.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

Анотація. У дослідженні аналізується вплив модифікації вторинного алюмінієвого ливарного сплаву системи Al-Si високодисперсним карбідом кремнію на щільність металу та макроструктуру циліндричних виливків. Виявлено, що швидкість твердіння та структура металу залежать від типу форми (металева або піщано-глиняна) та кількості доданого SiC. Сплави з добавкою 0,1% SiC, розлиті у металеву форму, мають найбільшу щільність. Макроструктура виливків модифікованих SiC характеризується наявністю глибоких усадкових раковин та концентрованої пористості. Виливки, залиті у піщано-глиняну форму з модифікацією SiC, виявляють концентровану усадку та газові пори, що відповідає низькому балу за еталонною шкалою. Дослідження підкреслює важливість вибору методу лиття та модифікації сплаву для оптимізації щільності та структури виливків.

Ключові слова: дослідження, вторинний ливарний сплав системи Al-Si, модифікація, карбід кремнію, лиття, щільність, макроструктура.

Наведено результати досліджень визначення впливу модифікації вторинного алюмінієвого ливарного сплаву системи Al-Si високодисперсним карбідом кремнію марки Ф1200 з розміром частинок 1-3 мкм у кількості від 0,1 до 0,3 мас. ,% на щільність литого металу і макроструктуру циліндричних виливків висотою 150 мм і середнім діаметром 50 мм, отриманих литтям у металеву та піщано-глиняну форми з додаванням високодисперсного карбід кремнію.

Дослідження щільності металу виливків, залитих у металеву форму та піщано-глиняну форму, проведені методом гідростатичного зважування зразків на аналітичних вагах, показали наявність впливу модифікації та теплофізичних умов затвердіння на відповідні показники.

У металевій формі швидкість твердіння сплаву вище і структура стає більш щільною (щільність сплаву виливків, одержаних у піщано-глиняній формі, на 2,7 % менша порівняно з виливками, одержаними у металевій

формі). Найбільшу щільність має сплав з добавкою 0,1% SiC і розлитий у металеву форму.

У зразках виливків, відлитих у піщано-глиняну форму, при збільшенні кількості SiC суттєва зміна густини сплаву майже не відбувається. Отримані дані також свідчать про те, що як спосіб отримання виливків, так і модифікування сплаву впливають на його макроструктуру. Зокрема, макроструктура литого вторинного сплаву системи Al-Si, який не піддавався модифікації та заливався у форму, має малу усадкову раковину та розсіяну пористість по всьому об'єму металу вилівка і відповідає 3 балу. на еталонній шкалі.

Макроструктура виливків, модифікованих високодисперсним карбідом кремнію, включає зосереджену глибоку усадкову раковину з грубими тріщинами в нижній частині оболонки. А також концентрована усадочна пористість у верхній частині вилівка. Макродефектів у нижній частині вилівка немає. Загалом макроструктура виливків із вмістом 0,1-0,3 мас.% SiC, залитих у форму, відповідає 2-му та 3-му балам відліку за еталонною шкалою.

Висновок

Дослідження макроструктури виливків, відлитих у піщано-глиняну форму з модифікацією карбідом кремнію 0,1 % та 0,3 мас. %, показали наявність концентрованої усадки у верхній частині виливків і наявність газових пор на бічній поверхні, що відповідає 1-му балу для еталонної шкали. Аналіз також показав, що вони не мають вираженої концентрованої усадки, і вся пористість зосереджена на зовнішній стороні вилівка, тоді як у верхній частині обох виливків є невелика зосереджена пористість.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Dotsenko Yu. Influence of heterogeneous crystallization conditions of aluminum alloy on its plastic properties / Yu. Dotsenko, V. Selivorstov, T. Selivorstova, N. Dotsenko // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2015. - № 3 (147). - с. 46 - 50. (SCOPUS).
2. Effect of Additions of Ceramic Nanoparticles and Gas-Dynamic Treatment on Al Casting Alloys / K. Borodianskiy, V. Selivorstov, Y. Dotsenko, M. Zinigrad // Metals. - Basel, Switzerland, 2015. - Volume 5, Issue 4 (December 2015). – P. 2277-2288. (SCOPUS).

3. Influence of Low-Frequency Vibration and Modification on Solidification and Mechanical Properties of Al-Si Casting Alloy / V. Selivorstov, Y. Dotsenko, K. Borodianskiy // Materials. - Basel, Switzerland, 2017. - Volume 10, Issue 5 (May 2017), 560; doi:10.3390/ma10050560. (SCOPUS, Web of Science).
4. T.M. Kovbasiuk, V.Yu. Selivorstov, Yu.V. Dotsenko, Z.A. Duriagina, V.V. Kulyk, O.M. Kasai, V.V. Voitovych, The effect of the modification by ultrafine silicon carbide powder on the structure and properties of the Al-Si alloy, Archives of Materials Science and Engineering 101/2 (2020), DOI: 10.5604/01.3001.0014.1191, P. 57-62. (SCOPUS).

**STUDY OF THE EFFECT OF MODIFICATION WITH HIGHLY DISPERSED
SILICON CARBIDE ON THE DENSITY AND MACROSTRUCTURE OF CASTINGS
FROM THE SECONDARY ALLOY OF THE AL-SI SYSTEM UNDER DIFFERENT
THERMOPHYSICAL SOLIDIFICATION CONDITIONS**

Seliverstov Vadim, Dotsenko Yurii, Selivyorstova Tatjana, Gladkikh Volodymyr

Abstract. *The study analyzes the impact of modifying a secondary aluminum casting alloy of the Al-Si system with high-dispersion silicon carbide on the density of the metal and the macrostructure of cylindrical castings. It was found that the solidification rate and the structure of the metal depend on the type of mold (metal or sand-clay) and the amount of added SiC. Alloys with a 0.1% SiC addition, cast in a metal mold, have the highest density. The macrostructure of SiC-modified castings is characterized by the presence of deep shrinkage cavities and concentrated porosity. Castings poured into a sand-clay mold with SiC modification show concentrated shrinkage and gas pores, which corresponds to a low grade on the reference scale. The study highlights the importance of choosing the casting method and alloy modification to optimize the density and structure of the castings.*

Keywords: *research, secondary casting alloy of the Al-Si system, modification, silicon carbide, casting, density, macrostructure.*

УПРАВЛІННЯ ІТ ПРОЄКТАМИ В СФЕРІ GAMEDEV

Височин Д.С., Каліберда Ю.О., Селіверстова Т.В.

Український державний університет науки і технологій, Україна, ІПБТ

Анотація В роботі проведено аналітичний огляд найбільш відповідного на сьогоднішній день стану в сфері управління ІТ проєктами в ігровій студії, що випускає свої продукти на платформи Microsoft Windows та Android OS.

Дані було зібрано за період останнього кварталу 2023 року і за перший квартал 2024 за допомогою співробітника цієї компанії, і на цей час є достовірною. Компанія, що надала дані для написання статті, існує на ринку України вже понад шість років і достатньо відома на майданчиках цифрової дистрибуції як Steam і Epic Store. А також було використано інформацію з періодичних видань, присвячених бізнес-аналітиці, фінансам та управлінню проєктами.

Ключові слова: Project Manager, РМ, Геймдизайн-Документ, диз-док, проєкт, оптимізація, реліз.

Загальна інформація про управління проєктами в створенні ігор

Ніша комп'ютерних ігор в наш час є цікавою не тільки з точки зору можливості веселого проведення вільного часу, але і в сенсі перспективного напрямку в різних сферах життя, як то набуття швидкості реакції, нестандартності мислення, зміцнення нервової системи за рахунок прийняття правил ігровця з подальшим здоланням закладених у гру того чи іншого жанру челленджу, тобто виклику самому собі. Проте не тільки особистісним ростом збагачуємось, тому що саме ігрова індустрія вивела на новий рівень задачу оптимізації як коду, так і комплектуючих частин комп'ютерів як великих ПК або консолей, так і мобільних пристроїв; а ще і дуже зацікавила світовий бізнес. Задля того, щоб будь-який ігровий проєкт, від Інді-напрямку до проєкту тріпл-ей (AAA), як мінімум окупився своїми продажами, потрібна кропітка праця колективів на різних рівнях, але зараз пропоную звернути увагу саме на сегмент управління проєктами, тобто Project Management.

Тож почнемо з простого питання, а хто такий Project Manager (далі в тексті просто РМ)? — РМ це фахівець, головним завданням якого є управління проєктом в цілому. Він проєктує, розставляє пріоритети щодо

завдань, планує їх виконання, контролює, комунікує з членами команди та замовником, і виходячи з цього може оперативно вирішувати проблеми.

Цілісно у роботі РМ можна виділити кілька напрямків:

- безпосередньо робота над проектами,
- оптимізація процесів розробки та злагодження між підрозділами,
- робота з членами команди, або на «модному» - people management.

Більшість часу, що логічно, займає робота над проектами. РМ рівня Middle, як правило, може вести 8 прототипних проєктів одночасно, або 4 прототипних та 2 проєкти у стадії попереднього запуску для закритої тобто тестової групи. Деякі менеджери часом можуть спробувати вести і більшу кількість процесів, проте це вже залежить від темпераменту і рівня активності в сенсі життєвої позиції конкретної людини.

У перервах між завданнями щодо поточних проєктів, РМ повинен працювати над оптимізацією термінів розробки проєкту. Він проводить аналіз виконаної роботи та визначає основні недоліки, щоб у майбутньому мінімізувати, або взагалі повністю ці помилки лишити в минулому. Також РМ вирішує, що можна зробити краще на іншому проєкті.

Але не лише керуванням процесів живе РМ. Не менш важливою частиною роботи є people management. Найчастіше в ігрових студіях, як і в багатьох компаніях, що спеціалізуються на іншому програмному забезпеченні, налаштований процес one-to-one зустрічей із кожним членом команди. Важливо зрозуміти, чи всі задоволені умовами роботи, чи в колективі немає конфліктних ситуацій, чи всім «до душі» розподілені на них завдання. Як приклад, була ситуація, коли в команді за одним столом сиділи два молодих амбітних розробника, які фанатично вболівали за різні українські футбольні клуби, що не раз ставало приводом для взаємних підколів, і найчастіше виливалися у сварки. Тож для оптимізації робочого процесу було вирішено розсадити працівників в різні кабінети і все стало на свої місця. Постійна комунікація з кожним членом команди допомагає зрозуміти, які завдання, кому більше подобаються. Умовно, є дизайнери, які хотіли б займатися анімуванням рухів динамічних об'єктів на додаток до своїх завдань з розробки

стилістики ігор та контенту. Тоді є сенс дати співробітникам найцікавіші для них завдання, що, у свою чергу, покращує якість роботи та мотивацію співробітників.

Таким чином, people management безпосередньо впливає на ефективність роботи у проєкті, адже задоволені співробітники дорівнює задоволеним кінцевим покупцям.

Як працює РМ на ігровому проєкті

Першоосновою будь-якої гри є ідея. Отже, необхідно створити процес генерації та відбору ідей. Цим займаються геймдизайнери та геймпродюсери після поверхневого і глибинного маркетингу, тобто аналізу ринку. Найцікавіша і найдодільніша ідея береться в роботу. Тут РМ підключає розробника та дизайнера, які обговорюють проєкт зі своїх позицій. Підсумком цієї роботи стає

геймдизайн-документ (ГДД, або простіше диз-док). У ньому розписується ідея щодо певної структури, прийнятої в кожній компанії. Диз-доки діляться на завдання: - геймдизайнерські (ігромеханічні), - для художників та - завдання розробника. Потім їх заносять у систему для постановки та відстеження завдань у рамках проєкту. Найчастіше, через свою зручність, використовують Jira. Члени команди мають оцінити терміни своїх завдань, а РМ прораховує взаємозв'язки, будує roadmap проєкту – тобто документ, у якому зібрано огляд цілей, етапів, завдань та результатів проєкту, розкладених за часом.

РМ має оцінювати ситуацію стратегічно. Якщо розуміє, що в конкретному проєкті є специфічні завдання щодо розробки, то він не відкидає можливості залучити на проєкт іншого розробника, який зможе бути більш ефективним в плані часу. Або, наприклад, запропонувати команді відмовитися від промальовування умовно 100 видів спрайтів у грі, якщо користувач цілком вірогідно не помітить і половини. Виходячи з розписаного вище, саме старт розробки стає найкритичнішим і найнапруженішим моментом. При правильному плануванні саме старту, далі проєкт залишиться лише контролювати.

Далі загальний скоуп завдань розбивається на такі кроки:

- 1) Технічна демо-версія. Завдання розробника – зібрати механіку та показати, як це працюватиме на певному пристрої (ПК, консоль, смартфон, планшет). Стає зрозуміло, наприклад, скільки об'єктів буде поміщатися на екран, чи зручно та цікаво ними керувати і грати. Цей етап частково знімає технічні ризики. Це важливо, оскільки не всі ігрові рушії підтримують тестування по ходу проєкту, а найчастіше лише наприкінці. Дизайнери та художники, у свою чергу, опрацьовують стилістику, колірну гаму, ступінь художнього опрацювання об'єктів гри.
- 2) Преальфа-версія, або ігроспроможний білд. На цьому етапі гру вже можна побачити повністю: з усім функціоналом та графікою, хоч і у кострубатовому вигляді.
- 3) Альфа-версія. Цей етап дає можливість РМ-у показати замовнику вже більш-менш те, за що він погодився платити гроші.
- 4) Полішинг. Фактично це додавання різних анімацій, візуальних і звукових ефектів, тобто доведення гри до фінальної готовності.
- 5) Бета-тестування. На цьому в деяких випадках амбіційні ігрові творці вже публікують свої проєкти на різних майданчиках для відкритого (на безкоштовній основі) або закритого (платного або за запрошенням електронною поштою після реєстрації на участь) тестування вже зацікавленим кінцевим користувачем.
- 6) Вихід на «Золото». Ця ітерація є фактично фінальною, дозволяє команді проєкту закінчити всі суттєві і не дуже правки, простіше кажучи «дополірувати» проєкт і віддати його видавнику.

Якщо всі шість ітерацій пройшли успішно, проте важливим є також розуміння того, що на будь-якому етапі розробка може загальмувати або навіть згорнутися через появу абсолютно нових ідей або неактуальність попередньо узгоджених, але якщо цього не станеться, то гра переходить в стадію реліза на торгових майданчиках, або публікується на файлових обмінниках для безкоштовного завантаження. Цим займається також безпосередньо РМ. Він контролює процес появи гри у сторах. Якщо продукт має хороші показники, то проєкт розвивається далі. Якщо ні – закривається.

Найрозповсюдженішими є 3 проблематики на проєкті:

- 1) постійно бути в роботі: нічого не забувати і все тримати під контролем, тому що будь-яка навіть незначна просадка по завданням позначиться на результаті
- 2) вмістити максимум забаганок геймдизайнера та геймпродюсера в максимально короткі терміни розробки, ще й грамотно фільтрувати ідеї, що неодмінно виникнуть у команді в процесі розробки,
- 3) мотивувати команду згуртовано працювати весь термін розробки,

Якими інструментами найчастіше користується РМ:

- Jira, Asana - для постановки задач команді.
- Confluence є найзручнішою системою зберігання єдиної бази даних та знань (для самих «цілеспрямованих» – Minerva Knowledge)
- Discord – можу рекомендувати як ідеальний, а ще і безкоштовний корпоративний месенджер для щоденної комунікації з командою, а також войс-чат для зручної роботи членів команди.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ворона А. Роль проджект-менеджера у геймдеві у мирі та у війні [Електронний ресурс] / А. Ворона, О. Петровський, Р. Жилук. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://gamedev.dou.ua/>.
2. РМ в геймдеві, як він є [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://vokigames.com/>.
3. Сазерленд Д. Scrum. Революційний метод управління проектами / Джефф Сазерленд., 2018. – 272 с.
4. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition and The Standar, 2021. – 274 с.

MANAGEMENT OF IT PROJECTS IN THE FIELD OF GAMEDEV

Vysochin Dmytro, Kaliberda Yuri, Seliverstova Tetyana

Abstract. *In the work, an analytical review of the most relevant state in the field of IT project management in the game studio, which releases its products on Microsoft Windows and Android OS platforms, is carried out.*

The data was collected between the last quarter of 2023 and the first quarter of 2024 by an employee of this company and is reliable at this time. The company that provided the data for writing the article has been on the Ukrainian market for more than six years and is well-known on digital distribution platforms such as Steam and Epic Store. Information from periodicals devoted to business analytics, finance, and project management was also used.

Keywords: *Project Manager, PM, Gamedesign-document, des-doc, project, optimization, release.*

REFERENCE

1. Vorona A. The role of the project manager in the game development in peace and war [Electronic resource] / A. Vorona, O. Petrovsky, R. Zhilyuk. 2024 - Access to the resource: <https://gamedev.dou.ua/>.
2. RM in the game dev, as it is [Electronic resource]. - 2024. - Access mode to the resource: <https://vokigames.com/>.
3. Sutherland D. Scrum. A revolutionary method of project management / Jeff Sutherland. 2018. - 272 p.
4. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Seventh Edition and The Standard, 2021. 274 p.

**РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ ПИТОМИХ ВИТРАТ МАГНІЮ ТА
ВМІСТУ СІРКИ В ЧАВУНІ ПРИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ
ІНЖЕКЦІЙНОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ**

¹Шевченко А.П., ²Маначин І.О., ¹Двоскін Б.В.,

³Башмаков О.М., ²Рибальченко М.О.

¹ Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпро, Україна

² Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна

³ ТОВ «Науково-дослідний і проектний інститут титану», м. Запоріжжя, Україна

Анотація. Метою роботи є надійний прогноз та розрахунок необхідних витрат магнію з різних умов – вихідного вмісту сірки, маси чавуну та заданого кінцевого вмісту сірки для забезпечення скорочення витрат десульфураторів. Крім того важливим є прогнозування поточного вмісту сірки в чавуні залежно від витрат магнію для підвищення надійності досягнутих вмістів сірки в розплаві чавуну. Проведені розробки дозволили отримати розрахункові моделі для оцінки закономірностей процесів позапічної десульфурзації чавуна моноінжекцією зернистого магнію для оцінки витрат магнію для діючих та новозбудованих потужностей з десульфурзації чавуна в ковшах різного розміру (40-350 т) при різних початкових вмістах сірки в чавуні (0,02-0,07 %) і вимогах до кінцевого вмісту сірки в чавуні ($\leq 0,002-0,015$ %) для застосування у АСУ процесом позапічної обробки чавуну.

Ключові слова: десульфурация, чавун, ківш, моделі, витрата магнію.

Стан питання. Українська технологія процесу інжекційної десульфурзації чавуну зернистим магнієм розроблена Інститутом чорної металургії та Інститутом титану спільно з рядом організацій та підприємств [1, 2, 4-6, 9, 10]. Побудовані та введені в експлуатацію експериментально-промислові та промислові установки і відділення десульфурзації чавуну забезпечували в промислових умовах зниження вмісту сірки в чавуні в основі до 0,005-0,010 % [2, 4, 8]. Умови застосування позапічної десульфурзації чавуну на цих підприємствах досить різноманітні: за масою чавуну в ковшах, за потрібними обсягами десульфурзації, за початковим і необхідним кінцевим вмістом сірки, а також за потрібними та реалізованими циклами процесу

десульфурації. Зазвичай вміст сірки в вихідному чавуні знаходиться в межах 0,03-0,06-0,07 %. Маса чавуну в ковшах становить від 40 до 350 т. Вміст сірки в чавуні після десульфурації зазвичай знаходиться в основному в межах 0,005-0,010 %, а частина чавуну виробляється з вмістом $\leq 0,002$ %.

Мета роботи - розрахунок необхідних витрат магнію з різних умов – вихідного вмісту сірки, маси чавуну та заданого кінцевого вмісту сірки для забезпечення скорочення витрат десульфураторів. Крім того важливим є прогнозування поточного вмісту сірки в чавуні залежно від витрат магнію для підвищення надійності досягнутих вмістів сірки в розплаві чавуну.

Основні результати дослідження. На підставі отриманих та наявних фактичних показників і параметрів десульфурації чавуну створена база даних, в якій зібрано понад 3000 контрольних обробок чавуну. Фактичні параметри містять масу чавуну в ковшах, початковий та отриманий кінцевий вміст сірки в чавуні, тривалість процесу десульфурації та циклу всіх операцій, витрати магнію на одиницю маси чавуну, зміну температур чавуну та ряд інших параметрів. На підставі цих даних впливає, що питомі витрати магнію збільшуються при зростанні початкового вмісту сірки, зменшенні необхідного кінцевого вмісту сірки та зменшенні маси чавуну в ковшах. На основі отриманих фактичних даних, розроблені розрахункові емпірико-статистичні моделі фактичних (і прогнозованих) питомих витрат магнію за різних умов рафінування чавуну. Ці розрахункові моделі подані у вигляді 12 виразів (1-12), наведених нижче:

$$q_{Mg}^{40-75; 0,002} = 10,162 \cdot [S]_{вих.} + 0,3436 \quad (1)$$

$$q_{Mg}^{40-75; 0,005} = 10,659 \cdot [S]_{вих} + 0,1693 \quad (2)$$

$$q_{Mg}^{40-75; 0,010} = 10,197 \cdot [S]_{вих} + 0,1253 \quad (3)$$

$$q_{Mg}^{40-75; 0,015} = 10,197 \cdot [S]_{вих} + 0,0652 \quad (4)$$

$$q_{Mg}^{80-120; 0,002} = 10,380 \cdot [S]_{вих} + 0,2024 \quad (5)$$

$$q_{Mg}^{80-120; 0,005} = 9,600 \cdot [S]_{вих} + 0,1280 \quad (6)$$

$$q_{Mg}^{80-120; 0,010} = 8,6667 \cdot [S]_{вих} + 0,0767 \quad (7)$$

$$q_{Mg}^{80-120; 0,015} = 8,1579 \cdot [S]_{вих} + 0,0289 \quad (8)$$

$$q_{Mg}^{140-350; 0,002} = 9,0982 \cdot [S]_{\text{вих}} + 0,1480 \quad (9)$$

$$q_{Mg}^{140-350; 0,005} = 8,8800 \cdot [S]_{\text{вих}} + 0,0724 \quad (10)$$

$$q_{Mg}^{140-350; 0,010} = 8,5876 \cdot [S]_{\text{вих}} + 0,0189 \quad (11)$$

$$q_{Mg}^{140-350; 0,015} = 8,5703 \cdot [S]_{\text{вих}} - 0,0199 \quad (12)$$

Індекси вгорі маса чавуну в ковші; кінцева сірка.

Ці дані представлені на рис. 1 і відповідних розрахункових моделях 13-32.

$$= 0,0615 \cdot e^{-5,731 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (13)$$

$$= 0,204 \cdot e^{-7,177 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (14)$$

$$= 0,4021 \cdot e^{-7,058 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (15)$$

$$= 0,7741 \cdot e^{-6,941 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (16)$$

$$= 1,4565 \cdot e^{-6,826 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (17)$$

$$= 2,6802 \cdot e^{-6,712 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (18)$$

$$= 0,1024 \cdot e^{-9,575 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (19)$$

$$= 0,173 \cdot e^{-8,649 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (20)$$

$$= 0,2663 \cdot e^{-7,885 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (21)$$

$$= 0,3823 \cdot e^{-7,246 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (22)$$

$$= 0,5197 \cdot e^{-6,702 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (23)$$

$$= 0,6769 \cdot e^{-6,234 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (24)$$

$$= 0,0905 \cdot e^{-11,43 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (25)$$

$$= 0,1872 \cdot e^{-10,55 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (26)$$

$$= 0,4664 \cdot e^{-10,6 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (27)$$

$$= 0,9702 \cdot e^{-10,22 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (28)$$

$$= 1,9193 \cdot e^{-9,872 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (29)$$

$$= 3,6282 \cdot e^{-9,545 \cdot q_{Mg}}, \% \quad (30)$$

Індекси вгорі маса чавуну в ковші; вихідна сірка.

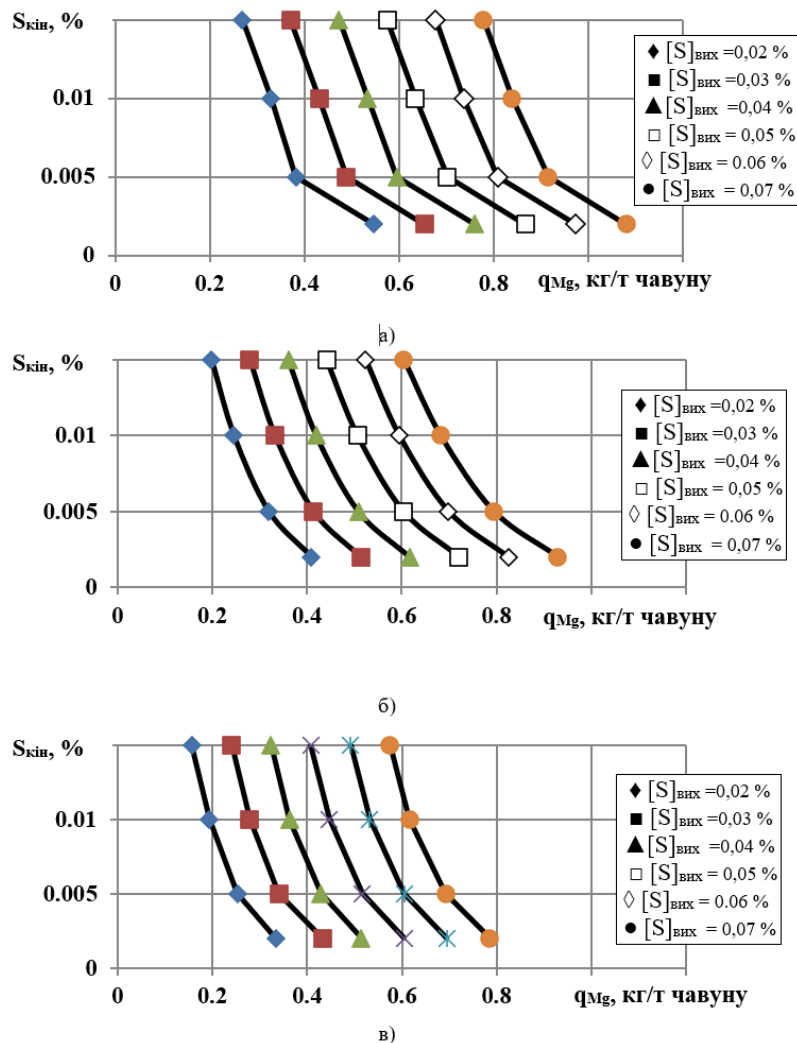


Рисунок 1 – Номограми залежності кінцевого вмісту сірки ($S_{\text{кін.}}$) від питомих витрат магнію (q_{Mg}) при різних початкових вмістах сірки (цифри біля кривих) в ковшах різного розміру: а) маса чавуна в ковші ≤ 75 т; б) маса чавуна в ковшах 80-120 т; в) маса чавуна в ковшах 140-350 т

Висновки

Проведені розробки для оцінки закономірностей процесів позапічної десульфурзації чавуна моноінжекцією зернистого магнію дозволили отримати розрахункові моделі для оцінки діючих та новозбудованих потужностей з десульфурзації чавуна в ковшах різного розміру (40-350 т) при різних початкових вмістах сірки в чавуні (0,02-0,07 %) і вимогах до кінцевого вмісту сірки в чавуні ($\leq 0,002$ -0,015 %).

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Voronova, N. A. (1982). *Lesulfuratsiya chuhuna mahnyem*. Metallurhyzdat.
2. Shevchenko, A. F., Manachyn, Y. A., Verhun, A. S. et al. (2017). *Vnepechnaia desulfuratsiya chuhuna v kovshakh. Tekhnolohiya, yssledovanyia, analiz, sovershenstvovanye*. Dnepro-VAL

3. Smyrnov, A. N., & Zborshchyk, A. M. *Vnepechnaia obrabotka chuhuna y staly*. DonNTU
4. Kudryn, V. A. (1992). *Vnepechnaia obrabotka chuhuna y staly*. Metallurhyzdat
5. Shevchenko, A. F., Bolshakov, V. Y., & Bashmakov, A. M. (2011). *Tekhnolohyia y oborudovanye desulfuratsyy chuhuna mahnyem v bolshehruznykh kovshakh*. Naukova dumka
6. Shevchenko, A. F., Bashmakov, A. M., Vergun, A. S., Manachin, I. A., Kislyakov, V. G., Trotsenko, É. A., Yie, Liu Dong, Rui, Yang Jia. (2019). Modern High-Performance Complexes of Extra-Deep Desulphurization of Cast iron by Mono-Injection of Magnesium. *Metallurgist*, 62, 965–973
7. Otsenka y promyshlennaia proverka pokazatelei protsessa kovshevoi desulfuratsyy chuhuna razlychnymy reahentamy. (2022). *Vesnyk KHYU*, 12-28
8. Shevchenko, A. F., Manachyn, Y. A., & Shevchenko, A. M. (2015). Tekhnolohyy vnepechnoi desulfuratsyy chuhuna. *Chernye metally*, (3), 18-23

**DEVELOPMENT OF NOMOGRAMS AND CALCULATIVE MODELS
FOR SPECIFIC MAGNESIUM CONSUMPTION AND SULFUR CONTENT IN IRON
UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF INJECTION
HOT METAL DESULFURIZATION**

Shevchenko A., Manachyn I., Dvoskin B., Bashmakov O., Rybalchenko M.

Abstract. Built and put into operation experimental industrial and industrial installations and cast iron desulfurization departments ensured a reduction of sulfur content in cast iron to 0.005-0.010% in industrial conditions. The purpose of the work is to reliably predict the calculation of the necessary consumption of magnesium from various conditions - the initial sulfur content, the mass of cast iron and the given final sulfur content to ensure the reduction of desulfurization costs. In addition, it is important to predict the current content of sulfur in cast iron depending on the consumption of magnesium in order to increase the reliability of the achieved content of sulfur in molten iron. The developments carried out to assess the regularities of the processes of out-of-furnace desulfurization of cast iron by monoinjection of granular magnesium made it possible to obtain calculation models for the assessment of existing and newly built capacities for desulfurization of cast iron in ladles of different sizes (40-350 t) at different initial sulfur contents in cast iron (0.02-0.07 %) and requirements for the final content of sulfur in cast iron (≤ 0.002 -0.015%). Calculation models are presented.

Keywords: desulfurization, cast iron, ladle, models, magnesium consumption.

МЕТОДИКА ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ТА ЕКСТРАПОЛЯЦІЇ ДАНИХ ПРИ НЕРАВНОМІРНОМУ КРОКУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Поляков М. О.,¹ Василевський В.В.², Поляков О.М.³

¹ Професор кафедри "Електричні та електронні апарати", Національний
Університет "Запорізька політехніка", Україна

² Доцент кафедри "Електричні та електронні апарати", Національний
Університет "Запорізька політехніка", Україна

³ Студент кафедри «Інформаційні системи та технології», Національний
технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», Україна

Анотація. *Проблемою використання експериментальних даних є обмежений діапазон та нерівномірний крок вимірювань за окремими змінними. Це знижує точність визначення значення шуканої функції. Метою дослідження є збільшення кількості значень шуканої функції за обмеженими експериментальними даними. Метод дослідження полягає у розробці методики інтерполяції та екстраполяції експериментальних даних з використанням функцій пакету Матлаб. Результатом дослідження є методика яка дозволяє створити рівномірну сітку опорних значень, заповнити її з необхідним кроком зміни змінних, екстраполювати дані на межі простору даних, де вплив даного аргументу на функцію дорівнює нулю, виділити внесок окремих аргументів у значення функції, синтезувати значення функції у нових вузлах опорної сітки значень Наведено приклад застосування запропонованої методики для формування простору значень відносної швидкості старіння целюлозної ізоляції обмоток силового трансформатора як функції температури, вологості та доступу кисню, що дозволило як мінімум у 4,5 рази збільшити кількість даних порівняно з експериментом.*

Ключові слова: *обробка даних експерименту, інтерполяція, екстраполяція, функції Матлаб, швидкість старіння ізоляції.*

Вступ. У практиці експериментів досить часто зустрічається ситуація, коли цікаве значення деякого параметра у є функцією N змінних $x_1, x_2, \dots, x_N$, а експерименти з визначення у при всіх можливих поєднаннях значень цих змінних не були проведені за технічними, економічними чи іншими причинами. Крім того, крок зміни параметрів експериментів великий і, у

багатьох випадках, не є незмінним. В результаті знижується точність визначення параметра поза вузлами опорної сітки змінних x .

Наприклад, експерименти щодо визначення відносної швидкості старіння целюлозної ізоляції обмоток силового трансформатора тривають місяцями і роками і не були проведені у всьому робочому діапазоні поєднань температур, вологості та доступу кисню до ізоляції. Крок зміни вологості в експериментальних даних становить від 1,0 % до 2,0 %, крок зміни температури – 6°C. При зміні вологості на 2% та постійних значеннях інших параметрів відносна швидкість старіння змінюється у 2,5-3 рази [1]. Така невизначеність функції ускладнює її використання з метою прогнозування залишкового ресурсу ізоляції.

Основний матеріал. Мета роботи: підвищення точності визначення значення функції обмежених експериментальних даних. Для формалізації завдання введемо такі позначення: $[x_{nmin}, x_{nmax}]$, $n = 1, N$ – область визначення функції y ; $P_n = \{x_{nm}\}$, $n=1, N$, $m = 1, M$ – область визначення функції y ; P_{ne} – множина точок в яких функцію y визначено експериментально, $P_{ne} \subset P_n$; Y_e – множина значень функції y , які визначені експериментально; Y – множина значень функції y , які визначені на множині P_n .

Таким чином, завдання роботи формулюється наступним чином: за значеннями функції Y_e на множині P_{ne} визначити множину Y значень цієї функції в області її визначення $[x_{nmin}, x_{nmax}]$, $n = 1, N$ з необхідним кроком зміни аргументів.

У загальному вигляді ця задача не має рішення чи має безліч розв'язків. Тому розглянемо практично важливий окремий випадок з урахуванням наступних обмежень:

1. У всій області визначення функція та незалежні змінні набувають лише невід'ємних значень.
2. Вклади незалежних змінних у значення функції y додаються.
3. Зі зростанням значення n -й ($n = 1, N$) незалежної змінної, при постійному значенні інших змінних, значення функції зростає.
4. Якщо $x_{nmin} = 0$, то вклад цієї змінної у значення функції дорівнює нулю.

З урахуванням наведених вище обмежень, класифікуємо наявні експериментальні дані:

1. Значення всіх N аргументів не дорівнюють нулю. Тобто n -й ($n = 1, N$) аргумент робить внесок у n у значення функції $y = y_1 + y_2 + \dots + y_N$.

2. Значення всіх аргументів крім n -го дорівнюють нулю. Тоді значення функції $y = y_n$.

3. Значення всіх аргументів крім n -го та m -го дорівнюють нулю. Тоді значення функції $y = y_n + y_m$. Для знаходження вкладу y_n екстраполюємо функцію y в точку де $x_m = 0$ і значення решти аргументів крім x_n дорівнюють нулю. Тоді значення функції у цій точці $y = y_n$. Екстраполяція значень функції y на аргумент $x_m = 0$ проводилася за допомогою методу 'spline' функції *interp2* пакета Matlab для опорної сітки вузлів з рівномірним кроком, отриманої за допомогою

Функції *griddata* з методом ``cubic':yq=interp2(xn,xm,y,xnq,xmq,`spline`)`

Застосування цих функцій потребує наявності хоча б трьох значень функції $y = f(x_n)$ при постійних значеннях інших аргументів.

4. Далі аналізуємо дані функції y для яких лише три аргументи мають не нульові значення, наприклад x_1 , x_2 та x_3 . Але вклад двох з них (наприклад, y_1 та y_2) у функцію y відомий. Звідки $y_3 = y - y_1 - y_2$.

5. Після визначення вкладів y_1 , y_2 , y_3 переходимо до визначення вкладу y_4 тощо до визначення вкладів всіх аргументів у функцію y .

В описаному вище прикладі щодо визначення відносної швидкості старіння целюлозної ізоляції обмоток силового трансформатора ця швидкість є функцією у трьох змінних: x_1 -температура, x_2 - вологість, x_3 - наявність кисню. Експериментальні дані є для 11 значень x_1 для трьох значень x_2 при $x_3 = 0$ для одного значення x_2 при x_3 відмінному від нуля. Усього маємо 44 експериментальні значення функції y . Внаслідок застосування запропонованої методики кількість значень функції y зростає до 198 [2].

Висновки. З використанням функцій Matlab виконана інтерполяція та екстраполяція експериментальних даних практично важливого класу функції y багатьох змінних. Визначено внесок кожного аргументу у значення функції y і на цій основі кількість значень функції збільшено в 4,5 рази, що дозволило підвищити точність визначення функції y у вузлах зі значеннями аргументів, що відрізняються від параметрів експерименту.

ЖИТЕПАТҮПА / REFERENCE

1. IEC 60076-7 Edition 2.0 2018-01. Power transformers – Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers, 2018.
2. M. Poliakov, V. Vasylevskyi and O. Poliakov, "Evaluation of the Relative Aging Rate of the Insulation of the Mineral-Oil-Immersed Power Transformer According to the Data of the IEC 60076–7 Standard," in *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 31, no. 1, pp. 102-110, Feb. 2024, doi: 10.1109/TDEI.2023.3338582.

METHOD FOR INTERPOLATION AND EXTRAPOLATION OF DATA WITH UNEVEN STEP OF CHANGING EXPERIMENTAL PARAMETERS

Mykhailo Poliakov, Volodymyr Vasylevskyi, Oleksii Poliakov

Abstract. *The problem with using experimental data is the limited range and uneven measurement step for individual variables. This reduces the accuracy of determining the value of the desired function. The method of further research is to increase the number of values of the sought function based on limited experimental data. The research method involves developing a methodology for interpolation and extrapolation of experimental data using the functions of the Matlab package. The result of the investigation is that the technique allows you to create a uniform grid of reference values, fill it with the required step of changing variables, extrapolate data to the boundaries of the data space, where the influence of a given argument on the function is zero, isolate the contribution of individual arguments to the value of the function, synthesize the value of the function in new nodes reference grid of values The application of a standardized method was introduced to form a space of values of the relative rate of aging of cellulose insulation of power transformer windings as a function of temperature, humidity and oxygen access, which made it possible to increase the amount of data at least 4 times compared to the experiment.*

Keywords: *experimental data processing, interpolation, extrapolation, Matlab functions, insulation aging rate.*

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ І УПРАВЛІННІ ВИРОБНИЦТВОМ

Тимошенко Л. С

Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. В роботі досліджено можливості сучасних інформаційних технологій в організації виробництва з використанням штучного інтелекту для досягнення високої ефективності та підвищення конкурентоспроможності. Застосування алгоритмів машинного навчання та аналізу даних дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати та вдосконалити управління виробництвом. Штучний інтелект знаходить своє застосування в управлінні якістю продукції шляхом аналізу даних про виробничі процеси, виявлення дефектів та прогнозування можливих проблем. Головними проблемами впровадження штучного інтелекту в комп'ютерні системи є неможливість передбачити всі реальні ситуації та програмувати машину належним чином реагувати на них, недостатня надійність та помилки у програмному забезпеченні. Юридичне питання відповідальності за помилки штучного інтелекту.

Ключові слова: інформаційні технології, комп'ютерні системи, машинне навчання, кібербезпека, статистична похибка.

Вступ. Сучасні інформаційні технології в організації виробництва використовують штучний інтелект для досягнення високої ефективності та підвищення конкурентоспроможності. Штучний інтелект впроваджується в різноманітні галузі, включаючи виробництво, якість продукції та інше. У сфері виробництва штучний інтелект використовується для оптимізації процесів виробництва, розподілу ресурсів, планування виробничих завдань і контролю якості продукції. Застосування алгоритмів машинного навчання та аналізу даних дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати та вдосконалити управління виробництвом. Штучний інтелект знаходить своє застосування в управлінні якістю продукції шляхом аналізу даних про виробничі процеси, виявлення дефектів та прогнозування можливих проблем. Це дозволяє компаніям покращити якість продукції та послуг, зменшити кількість браку та збільшити задоволення клієнтів.

Використання інформаційних технологій у виробництві за допомогою комп'ютерних систем дозволяє автоматизувати процеси виробництва,

підвищити ефективність та точність виробничих операцій, зменшити витрати на ресурси та збільшити продуктивність праці. Це охоплює такі аспекти, як автоматизація контролю якості, планування виробництва, оптимізація логістичних процесів, моніторинг обладнання та підтримка управління виробництвом на основі аналізу даних. Такий підхід дозволяє підприємствам підтримувати конкурентоспроможність, адаптуватися до змінних умов ринку та швидше реагувати на зміни попиту та умов виробництва.

Сучасні комп'ютерні системи потребують високої продуктивності, значного обсягу пам'яті, здатності обробляти великий потік транзакцій одночасно та забезпечувати підвищену стабільність. Надійність є ключовою вимогою до комп'ютерних систем, оскільки вона безпосередньо впливає на рівень довіри до системи для виконання важливих інформаційних процесів.

Оскільки абсолютна надійність комп'ютерних систем та результатів їхньої роботи неможлива, важливою задачею досліджень є визначення критичних сфер, де навіть найменші помилки чи збої неприпустимі [1].

Розробникам складних комп'ютерних систем та програмного забезпечення складно уникнути помилок, іноді ці помилки можуть призвести до серйозних наслідків, включаючи катастрофічні наслідки. Розвиток інформаційних та комп'ютерних систем орієнтувався на використання підтримки прийняття рішень, експертних систем і систем штучного інтелекту. Однак головними проблемами впровадження штучного інтелекту в комп'ютерні системи є неможливість передбачити всі реальні ситуації та програмувати машину належним чином реагувати на них, недостатня надійність та помилки у програмному забезпеченні. Вхідні дані, на основі яких навчається штучний інтелект, можуть бути неточними. Ці недоліки, виявлені під час використання систем штучного інтелекту, призвели до безлічі інцидентів, включаючи ті, що мають летальний характер [2].

Аналіз повідомлень про помилки штучного інтелекту дозволив виявити критичні області, де застосування таких систем пов'язане із значним ризиком. Серед них військова справа, транспорт, виробництво, де взаємодіють люди та роботизовані системи та інші. Штучний інтелект фактично є програмою, яка

базується на статистиці, і точність таких програм зазвичай не перевищує 95%. Таким чином, при такому рівні похибок необхідно бути обережним у довірі таким системам, коли ставиться питання людського життя. Обов'язком розробників комп'ютерних систем з штучним інтелектом є уникнення вбудовання в алгоритми процесів, які можуть завдати шкоди людині. Незважаючи на те, що алгоритми навчаються краще моделювати реальні ситуації, вони ніколи не стануть абсолютно досконалими та безпомилковими. Питання про припустимий рівень помилок, ціни за них та користь від заміни людини штучним інтелектом залишатимуться актуальними завжди. У найближчому майбутньому людина, як і раніше, залишатимеся відповідальною за критичні рішення, незалежно від розумності системи штучного інтелекту. Поки не вирішено юридичне питання відповідальності за помилки штучного інтелекту: чи має за них відповідати розробник, користувач або сама система штучного інтелекту [3]. Наразі відсутні законодавчі норми, що регулюють саме штучний інтелект. Використання штучного інтелекту у критично важливих сферах, пов'язаних з безпекою та здоров'ям людей, вважається високоризикованим.

Висновки. Засновуючись на проведеному аналізі, використання штучного інтелекту може створювати потенційні загрози для кібербезпеки, такі як атаки на моделі штучного інтелекту або зловживання ними для шкідливих цілей. Ці проблеми вимагають уважного вивчення та вирішення для успішного впровадження штучного інтелекту у виробництві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Найбільші помилки технологій штучного інтелекту. URL: <https://investory.news/ne-vipravdali-ochikuvan-najbilshi-pomilki-texnologij-shtuchnogo-intelektu/> (дата звернення: 25.03.2024).
2. Україна та Штучний Інтелект: Довіра зростає, але розпізнавання відстає. URL: <https://www.bravery.today> (дата звернення: 25.03.2024).
3. Андрощук Г.О. Рівень довіри і ставлення до штучного інтелекту: аналіз результатів досліджень. Часопис Київського університету права. 2021. № 3. С.195-201.

ASPECTS OF VICTORISTANGY INTELLIGENCE IN CURRENT INFORMATION TECHNOLOGIES AND VIBRATION MANAGEMENT

Lyudmila Tymoshenko

Abstract. *The work explores the possibilities of modern information technology in the organization of production using artificial intelligence to achieve high efficiency and increase competitiveness. The application of machine learning algorithms and data analysis allows you to increase productivity, reduce costs and improve production management. Artificial intelligence is used in product quality management by analyzing data on production processes, detecting defects and predicting possible problems. The main problems of introducing artificial intelligence into computer systems are the impossibility of predicting all real situations and programming the machine to respond appropriately to them, insufficient reliability and errors in the software. Legal issue of liability for errors of artificial intelligence.*

Keywords: *information technologies, computer systems, machine learning, cyber security, statistical error.*

REFERENCE

1. The biggest mistakes of artificial intelligence technologies. URL: <https://investory.news/ne-vipravdali-ochikuvan-najbilshi-pomilki-texnologij-shtuchnogo-intelektu> (date of application: 25.03.2024)
2. Ukraine and Artificial Intelligence: Trust is growing, but recognition is lagging behind. URL: <https://www.bravery.today> (date of application: 25.03.2024)
3. Androschuk G.O. Level of trust and attitude towards artificial intelligence: analysis of research results. Journal of the Kyiv University of Law. 2021. No. 3. P.195-201.

СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ОЦІНКИ СТАНУ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН

Кавац О.О.¹, Кавац Ю.В.¹, Кібукевич Ю.О.¹

¹ Український державний університет науки і технологій, Україна

Анотація. *Зміни клімату все більше впливають на агропромисловість європейських країн, сучасні методи супутникових даних пропонують практичні рішення для моніторингу стану розвитку сільськогосподарських рослин із можливістю подальшого прогнозування врожайності. Сільське господарство, яке значною мірою залежить від природних ресурсів і погодних умов, стикається з такими ризиками, як спека, повені та пожежі, що знижує врожайність. Супутникові дані є важливим інструментом для підвищення продуктивності та безпеки сільського господарства. Це дослідження спрямоване на розробку інформаційних технологій на основі системи супутникового моніторингу для відстеження росту рослин для підтримки кращих методів ведення сільського господарства. Метою цього дослідження є аналіз інформаційної технології супутникового моніторингу розвитку сільськогосподарських рослин за допомогою інтелектуальної нечіткої системи.*

Ключові слова: *сільське господарство, супутниковий моніторинг, озима пшениця, врожай, Fuzzy Logic, Sentinel-2, радіолокаційні дані, NDVI.*

Вступ. Згідно з останніх досліджень кліматична криза зараз має глобальний вплив на сільське господарство. Особливо це стосується регіонів та країн з теплим та жарким кліматом. Збільшення середніх температур чи великі опади знижують врожайність сільськогосподарських культур [1]. За даними Потсдамського інституту впливу клімату такі зміни можуть призвести до зростання щорічної продовольчої інфляції на 3,2% до 2035 року, а загальної інфляції - на 1,18%.

Супутникові дані дозволяють в реальному часі відслідковувати стан врожаїв на великих територіях. Це допомагає фермерам визначати області з поганим врожаєм та вчасно реагувати на можливі проблеми, такі як шкідники, хвороби, стихійні явища. Завдяки даним про стан ґрунту, які можна отримати за допомогою радарних знімків, можна оптимізувати полив та інші аспекти залежно від потреб рослин. Тому застосування сучасних методів обробки та аналізу супутникових даних для моніторингу сільськогосподарських культур є

ефективним рішенням для підвищення продуктивності аграрних робіт та урожайності [2].

Основна частина. У даному дослідженні розроблено інформаційну технологію супутникового моніторингу розвитку сільськогосподарських культур. У роботі досліджуються сільськогосподарські ділянки загальною площею більш ніж 850 га, які розташовані у дослідному господарстві у Дніпропетровській області, Україна (Рис.1). Дані про стан ґрунту та повітря отримані за допомогою різночасових космічних зображень, отриманих зі супутників Landsat-8, Sentinel-1 та Sentinel-2.

Середня температура та вологість ґрунту впливають на фізіологічні процеси рослин, оптимізуючи фотосинтез та водний обмін. За допомогою супутникових даних було отримано дані про стан ґрунту на визначених ділянках. У роботі розроблено інтелектуальну нечітку систему, за допомогою якої створено модель взаємозв'язку між вологістю ґрунту на різних рівнях, температури повітря та спектральним індексом NDVI.



Рисунок. 1 - Супутникове зображення із векторним шаром дослідної ділянки з озимом пшеницею

Така система полегшує прогнозування врожайності та планування додаткових заходів для фермерів в умовах зміни клімату та є важливим для сільськогосподарських підприємств для забезпечення стабільності вирощування культур.

Висновки. Супутниковий моніторинг є важливою складовою сучасної агрономії, а впровадження запропонованої інформаційної технології супутникового моніторингу у сільськогосподарську галузь має сприяти створенню стійких та продуктивних агропромислових систем.

ЖИТЕПАТҮПА / REFERENCE

1. Willians Ribeiro Mendes, Fábio Meneghetti U. Araújo, Ritaban Dutta, Derek M. Heeren. "Fuzzy control system for variable rate irrigation using remote sensing." Expert Systems With Applications 124 (2019): 13–24.
2. Olena Kavats, Volodymyr Hnatushenko, Yuliya Kibukevych, Yurii Kavats. "Flood Monitoring Using Multi-Temporal Synthetic Aperture Radar Images" CSIT2019 (2019): 046, v3.

SATELLITE MONITORING OF AGRICULTURAL CROP DEVELOPMENT ASSESSMENT

Olena Kavats, Yurii Kavats, Kibukevych J.O.

Abstract *Climate changes are increasingly affecting the agricultural industry of European countries, modern methods of satellite data offer practical solutions for monitoring the state of development of agricultural crops with the possibility of further forecasting yields.*

Agriculture directly depends on natural resources and climate. Negative changes in weather conditions, such as abnormal heat, floods, forest and peat fires, dry winds, ice significantly reduce crop yields. For example, high temperatures disrupt the ability of plants to receive and use moisture. This is a serious threat to food security, as agriculture is a source of livelihood for a large number of people. Satellite data is an effective solution to increase agricultural productivity and yield. This study aims to develop an information technology of satellite monitoring for agricultural plant development with an intelligent fuzzy system.

Keywords: *agriculture, satellite monitoring, winter wheat, harvest, Fuzzy Logic, Sentinel-2, radar data, NDVI.*

СЕКЦІЯ 7

**ІНФОРМАЦІЙНО-РЕСУРСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ
НА ЗАСАДАХ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ**

SECTION 7

**INFORMATION AND RESOURCE SUPPORT
DISTANCE EDUCATION
BASED ON COMPETENCE-BASED APPROACH**

ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ORANGE ПРИ ВИВЧЕННІ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТІВ ГАЛУЗІ ЗНАНЬ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Мала Ю. А., Селівьорстова Т. В., Гуда А.І.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

Анотація. *Інтенсивний розвиток інформаційних технологій призводить до збільшення обсягів даних, що вимагає застосування ефективних методів обробки та аналізу даних для управління організаціями та стратегічного планування. Методи інтелектуального аналізу даних (ІАД) широко використовуються у різних галузях, включаючи освіту, де вони можуть допомогти підвищити якість навчання та ефективність викладачів. В роботі демонструється використання платформи Orange, фреймворку для візуалізації та аналітики даних, який дозволяє інтегрувати візуальне програмування з Python для розв'язання складних аналітичних завдань. Застосування методів Data Mining та використання Orange дозволяють проводити глибокий аналіз освітніх даних, сприяючи розробці стратегій для підвищення ефективності навчального процесу.*

Ключові слова: *інформаційні технології, обробка даних, аналіз даних, інтелектуальний аналіз даних, освіта, якість навчання, ефективність викладачів, платформа Orange, візуальне програмування, Data Mining.*

Інтенсивний розвиток інформаційних технологій призводить до зростання обсягів даних, що вимагає використання вискоелективних методів для їх обробки та аналізу. Це необхідно для ефективного управління різними типами організацій, а також для стратегічного планування та підвищення конкурентоспроможності на ринку. Одними з таких методів є методи інтелектуального аналізу даних. Методи інтелектуального аналізу даних мають широке застосування, при цьому ключовою вимогою є наявність значної кількості даних. Освітня сфера виступає як одна з перспективних галузей для використання цих методів. Зниження якості освіти в Україні, виявлене результатами тестування PISA, зумовлене різними чинниками, особливо у зв'язку зі складними умовами останніх років, викликаними пандеміями та воєнним станом. Тому застосування нових ефективних методів інтелектуального аналізу освітніх даних для виявлення закономірностей і факторів, що призводять до погіршення якості навчання, і розробка стратегій їх подолання є нагальною потребою сучасності.

Відомо, що інтелектуальний аналіз даних представляє собою синтез математичних алгоритмів та сучасних розробок у галузі ІТ, що дозволяє екстрагувати корисну інформацію з існуючих даних для подальшого ухвалення виважених та ефективних рішень.

На сьогодні існує багато інструментів для вирішення завдань інтелектуального аналізу даних (ІАД), зокрема:

- Мови програмування: Python, R, C++.
- Програмне забезпечення: KNIME, Orange, WEKA та інші.

Вибір конкретного інструменту залежить від характеристик даних, обсягу даних, цілей застосування та можливостей користувачів. При цьому важливими факторами є вартість та функціональні можливості програмного продукту. У навчальному процесі особливу увагу приділяють таким критеріям, як відкритість коду, простота використання та наочність. У цій роботі ми зосередимо увагу на платформі Orange.

Orange - це фреймворк для візуалізації та аналітики даних, який надає широкий спектр методів машинного навчання та аналітичних інструментів. Його головна мета - зробити складні аналітичні методи доступними для широкої аудиторії, включно з користувачами, які не мають глибоких знань у програмуванні або статистиці. Orange використовує Python як один з ключових компонентів своєї архітектури, дозволяючи інтегрувати візуальне програмування з написанням коду на Python для розв'язання складніших аналітичних задач. Також Orange може виступати як бібліотека у середовищі Python, дозволяючи імпортувати свої функції у код Python.

Інтерфейс Orange складається з робочої області Canvas, де користувач розміщує віджети, формуючи робочий процес аналізу даних. Віджети виконують різні функції залежно від вибору користувача і є основними елементами процесу аналізу даних.

Освітня сфера є перспективною областю для використання методів інтелектуального аналізу даних (ІАД), оскільки освітні установи активно накопичують великі обсяги даних. Використання великих даних у освіті може сприяти трансформації бізнес-моделей, підвищенню академічних показників студентів та ефективності викладання у школах, коледжах та університетах.

Більше того, інсайти, отримані з аналізу великих даних, можуть допомогти освітнім закладам вдосконалити свої технологічні інфраструктури.

Висновок

Таким чином, на основі аналізу освітніх даних та створення візуального прикладу аналітичної схеми, було продемонстровано, що застосування методів Data Mining і використання технології візуального програмування Orange дозволяють експертам у галузі освіти проводити глибокий аналіз та використовувати отримані результати для розробки стратегій, спрямованих на підвищення ефективності навчального процесу.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Piatetsky-Shapiro G., Frawley W. Knowledge Discovery in Databases. - Publisher: AAAI Press, 1991. 540 pp.
2. Abdelmagid A. S., Qahmash A. I. M.. Utilizing the Educational Data Mining Techniques "Orange Technology" for Detecting Patterns and Predicting Academic Performance of University Students // Information Sciences Letters. An International Journal, 2023. Vol. 12. No. 3. P. 1415-1431.
3. Hernández-Leal E., Darío Duque-Méndez N. C. Cechinel Unveiling educational patterns at a regional level in Colombia: data from elementary and public high school institutions // Heliyon, 2021. Vol. 7. P. 3-17.
4. M. Goyal, R. Vohra. Applications of Data Mining in Higher Education // International Journal of Computer Science Issues, 2012. Vol. 9. Issue 2. No 1, P. 113 – 120.
5. Verhun V. R. Kharakterystyka metodiv rozviazannia zadachi klasyfikatsii v intelektualnomu analizi danykh navchalnykh prohran // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy, 2019. Tom. 29. № 6. C. 136-139.
6. Romero C., Ventura S. Educational Data Mining: A Review of the State of the Art // Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C (Applications and Reviews), 2010.40(6). P. 601 – 618.
7. Romero C., Ventura S. Data mining in education // Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 2013. Vol. 3(1). P. 12-27.
8. Chao Zhang, Linling He. Data Mining Technology in Teaching Evaluation of Colleges and Universities // SHS Web of Conferences, 2024. Vol. 187. 4 pp.
9. Pronin S. V., Sotnykov A. D. Vykorystannia platformy orange dlia analizu danykh // Visnyk KhNADU, 2022. Vyp. 99. C. 131 – 137.
10. Data Mining Fruitful and Fun Open source machine learning and data visualization. <https://docs.biolab.si/orange/2/widgets/rst/index.html#data>
11. Boliubash N. M. Zadachi ta metody intelektualnoho analizu osvitynikh danykh. Naukovi pratsi. Pedahohika, 2019. Vypusk 311. Tom 323. C. 26 - 29 .

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SOLUTION OF ENGINEERING PROBLEMS. ADVANTAGES AND CHALLENGES

Mala Yuliia, Selivorstova Tatyana, Guda Anton

Abstract. *The intensive development of information technology leads to an increase in data volumes, which requires the application of effective methods for data processing and analysis for managing organizations and strategic planning. Data mining methods (DM) are widely used in various fields, including education, where they can help improve the quality of learning and the efficiency of teachers. This work demonstrates the use of the Orange platform, a framework for data visualization and analytics, which allows integrating visual programming with Python to solve complex analytical tasks. The application of Data Mining methods and the use of Orange allow for a deep analysis of educational data, contributing to the development of strategies to improve the efficiency of the learning process.*

Keywords: *information technology, data processing, data analysis, data mining, education, quality of learning, teacher efficiency, Orange platform, visual programming, Data Mining.*

СЕКЦІЯ 8

**ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ
НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ТА ПИТАННЯ АНТИ ПЛАГІАТУ**

SECTION 8

**INNOVATIVE APPROACHES TO IMPROVING THE QUALITY
OF THE EDUCATIONAL PROCESS AND
THE ISSUE OF ANTI-PLAGIARISM**

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ НОРМ ЧАСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Карабут В.М.

Інститут промислових та бізнес технологій

Українського державного університету науки і технологій

Анотація. У ознайомлювальній версії середовища розробки Delphi мовою Object Pascal розроблено програму, яка дозволяє: для заданих конкретних умов обробки розрахувати норми часу, побудувати таблиці.

Застосування програми, розробленої у середовищі розробки Delphi, дозволить автоматизувати та оптимізувати процеси розрахунків, побудови таблиць, і як наслідок – зменшуватись витрати часу та збільшиться точність розрахунків.

Застосування розглянутих інформаційних технологій у навчальному процесі забезпечує фахівцю машинобудівного профілю можливість швидкої та ефективної роботи.

Ключові слова: норми часу, програма, розрахунок, таблиця, автоматизація, оптимізація, ефективність.

Постановка завдання.

Норма часу, що визначає витрати часу на механічну обробку, є основою оплати роботи, калькуляції собівартості деталі. На основі норм часу розраховуються: тривалість виробничого циклу, необхідна кількість обладнання, інструментів та робітників, визначається виробнича потужність цехів, проводиться планування виробництва [1].

Для визначення норм часу механічної обробки використовують різноманітні методи залежно від типу виробництва. Для дрібно-серійного та серійного типу виробництва використовують аналітично-розрахунковий метод [1].

Аналітично-розрахунковий метод заснований на розрахунках за формулами, наведеними в роботах з нормування та технології машинобудування на підставі прийнятих режимів різання [1].

Цей метод заснований на математичних розрахунках певної точності та побудовою таблиць, що у свою чергу збільшує витрати часу у навчальному процесі.

Мета роботи: розробити програму мовою Object Pascal у середовищі розробки Delphi, що дозволяє автоматизувати процеси розрахунків та

побудови таблиць, підвищити точність розрахунків, а також підняти рівень та якість навчального процесу.

У ознайомлювальній версії середовища розробки Delphi [2] мовою Object Pascal розроблено програму, яка дозволяє: для заданих конкретних умов обробки розрахувати норми часу, побудувати таблиці.

Висновки: застосування програми, розробленої у середовищі розробки Delphi, [2] дозволить автоматизувати та оптимізувати процеси розрахунків, побудови таблиць, і як наслідок – зменшуватись витрати часу та збільшиться точність розрахунків. Застосування розглянутих інформаційних технологій у навчальному процесі забезпечує фахівцю машинобудівного профілю можливість швидкої та ефективної роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні вказівки до виконання випускних кваліфікаційних робіт освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» для студентів спеціальності 131 – прикладна механіка (бакалаврський рівень) / Уклад.: В.С. Гришин, С.Л. Негруб, С.В. Бончук. – Дніпро: НМетАУ, 2019. - 60с.
2. Delphi - Embarcadero Website [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https:// www.embarcadero.com](https://www.embarcadero.com)

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CALCULATION TIME NORMS FOR MECHANICAL PROCESSING

Karabut Vladlen

Abstract. *In the trial version of the Delphi development environment in the Object Pascal language, a program has been developed that allows: for given specific processing conditions, calculate time norms, build tables.*

The use of a program developed in the Delphi development environment will automate and optimize the processes of calculations, building tables, and as a result, reduce time costs and increase the accuracy of calculations.

The use of the considered information technologies in the educational process provides a specialist in mechanical engineering with the opportunity to work quickly and efficiently.

Keywords: *time norms, program, calculation, table, automation, optimization, efficiency.*

REFERENCE

1. Methodological instructions for the completion of final qualification papers of the educational and qualification level "bachelor" for students of specialty 131 - applied mechanics (bachelor's level) / Comp.: V.S. Grishin, S.L. Negrub, S.V. Bonchuk. – Dnipro: NMetAU, 2019. - 60p.
2. Delphi - Embarcadero Website [Electronic resource]. - Access mode: [https:// www.embarcadero.com](https://www.embarcadero.com)

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ЧЕРЕЗ ДОСЛІДЖЕННЯ МОТИВАЦІЙНИХ ВАЖЕЛІВ ВИБОРУ МАЙБУТНЬОЇ ПРОФЕСІЇ СЕРЕД МОЛОДІ

Лушня К.К., Зайцева Т.А., Сірик С.Ф.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна, Дніпро

Анотація. В ході виконання роботи було проведено дослідження щодо мотиваційних важелів вибору майбутньої професії. Застосовувалась технологія анкетування з використанням сучасних інформаційних технологій. За результатами анкетування було проведено статистичний та кореляційні аналізи. Проаналізовано результати дослідження.

Ключові слова: інформаційні технології, математична статистика, аналіз даних, інноваційні підходи в освіті, анкетування, мотивація вибору професії, професійне самовизначення молоді, освітні стратегії, професійний вибір.

Актуальність. Сучасне суспільство стоїть перед викликами і можливостями, які змушують молодь приймати важливі рішення, зокрема, вибір майбутньої професії. Вибір кар'єрного шляху є однією з найважливіших рішень, який молодь приймає у своєму житті [1, 2]. Ця сфера життя має важливий вплив на особистість, професійний розвиток та задоволення від життя. Вибір професії є складним процесом, який обумовлений багатьма факторами, такими як індивідуальні прагнення, сімейні та соціокультурні впливи, освітні можливості та ринкові умови. Дослідження спрямоване на розкриття важливості впливу ряду перелічених факторів для підвищення якості навчального процесу.

Метою цього дослідження є виявлення впливу мотиваційних факторів на процес вибору професії серед молоді, можливих зв'язків між мотиваційними чинниками та особистісними характеристиками індивідів; визначення та аналіз таких чинників для формуванню ефективних стратегій в освітній сфері та кар'єрному консультуванні.

Основна частина. Сучасні підходи до дослідження мотивації у виборі професії включають багато різних аспектів, таких як психологічні, соціальні, економічні та культурні фактори. Ці підходи базуються на багатьох дослідженнях і теоріях, які вивчають мотивацію та професійний вибір.

В аналізі впливових чинників на вибір кар'єри, важливо розглядати ті елементи, які формують рішення людини у цій сфері. Актуальності набуває дослідження саме таких мотиваційних чинників. Треба відзначити, що у контексті професійного вибору, зовнішні умови, фізичний стан особи та її можливості грають значну роль.

Для дослідження було обрано метод анкетування через Google Forms. Анкета містила питання, спрямовані на виявлення особистих та професійних уподобань респондентів. Вибірка дослідження складала з 252 учасників. Це абітурієнти та студенти віком від 16 до 20 років, що навчаються на базі Дніпровського фахового коледжу енергетичних та інформаційних технологій та Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара на факультету прикладної математики.

Опитування у цьому дослідженні містить в собі блоки питань, кожен з яких спрямований на з'ясування мотивів, які вплинули на абітурієнтів (респондентів) під час професійного самовизначення. У питаннях респондентам пропонувалося відзначити найбільш значущі мотиви, які спонукали їх обрати саме їх навчання та як розвивається їх професійне становлення залежно від цього.

Для обробки отриманих даних було обрано програмне забезпечення Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) [7]. Він є одним із найпопулярніших програмних забезпечень для статистичного аналізу в соціальних науках, маркетингу, охороні здоров'я, освіті та інших сферах, де потрібен глибокий аналіз даних. SPSS завоював довіру мільйонів користувачів завдяки своїй зручності, ефективності та широкому спектру функціональних можливостей. Цей інструмент дозволяє дослідникам обробляти великі обсяги даних, проводити складні статистичні аналізи та візуалізувати результати досліджень для подальшого вивчення та презентацій. Було проведено статистичний та кореляційний аналізи.

В процесі обробки анкет були виявлені такі важливі для молоді якості учбових закладів:

- академічна репутація, якість викладання, місцезнаходження;

- навчальна платформа, студентська спільнота;
- можливості для розвитку (додаткові курси, кружки та інше), формат навчання;
- вартість освіти, формат навчання;
- інфраструктура та ресурси (обладнання, бібліотека та інше);
- можливості для розвитку.

Вартість та місцезнаходження ЗВО є важливими, але більше наразі звертається увага на репутацію навчального закладу та якість викладання.

Респонденти з різних учбових закладів вказали на різні труднощі під час вступу, такі як:

- неясність щодо вибору конкретного вищого навчального закладу;
- невпевненість у виборі спеціальності;
- стрес під час підготовки та складання вступних випробувань.

У дослідженні було виявлено, що студентам не вистачає соціальних мереж для рекомендацій та додаткових матеріалів (Instagram, Facebook, TikTok та інші).

Респонденти висловили бажання додати різні елементи до свого навчання, включаючи тематичні безкоштовні курси для професійного розвитку, відкриті вебінари з розвитку soft та hard skills, кейс-чемпіонати.

Труднощами, з якими зіштовхнулися студенти під час пошуку нової роботи у відсотковому співвідношенні, достатньо важливі:

- невелика кількість бажаних вакансій або взагалі їх відсутність (55,6%);
- недостатній рівень необхідних компетенцій (29,6%);
- незакінчена вища освіта (25,9%);
- недостатній рівень володіння англійською мовою (або будь-якої іншої) (22,2%);
- складність або відсутній комунікації з рекрутером/HR-менеджером (11,1%).

Висновки. У ситуації, коли матеріальні умови погіршуються, молодь все більше зосереджується на умовах життя. В мотивах вибору виділяється бажання високої зарплати. Дослідження показало, що студенти різного віку оцінюють важливість професій з різних позицій. Вони визнають суспільну користь професій, але при виборі професії також враховують особисті мотиви. Успішне освоєння нової професії найчастіше відбувається, коли вибір мотивований значущими для особистості ціннісними орієнтаціями та

установками. Це підкреслює важливість формування внутрішньої мотивації у професійному виборі.

З цього дослідження можна виокремити рекомендації:

- приймальним комісіям рекомендується активніше використовувати соціальні мережі для інформування абітурієнтів про спеціальності та навчання;
- центрам працевлаштування слід налагодити співпрацю з компаніями для стажувань з можливістю працевлаштування, оскільки при пошуку роботи студенти визначили для себе, що найважливішими чинниками для них є рівень заробітної плати, графік роботи, можливість працювати віддалено.

У майбутньому, можна розглядати опитування з рівномірним представництвом студентів різних вищих навчальних закладів, проведення окремого дослідження серед студентів певних університетів для аналізу внутрішньої академічної репутації кожного факультету. Планується розробка окремого застосунку у рамках цього дослідження щодо визначення репутації навчальних закладів серед молоді.

ЛІТЕРАТУРА

1. Maslow, A.H. (1970). Motivation and Personality. Harper & Row.
2. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. American Psychologist, 55(1), 68-78.
3. Csikszentmihalyi, M. (1990). Flow: The Psychology of Optimal Experience. Harper & Row.
4. Бодянський Є. В. (2016). Аналіз та обробка потоків даних засобами обчислювального інтелекту.
5. Collier Michael S. (2016). Microsoft Azure Essentials: Fundamentals of Azure, Second Edition.
6. Євтушенко М.Ю. (2020). Методологія та організація наукових досліджень.
7. Джин В. Глокнер. (2019). IBM SPSS for Introductory Statistics: Use and Interpretation, Sixth Edition.

INNOVATIVE APPROACHES TO IMPROVING THE QUALITY OF THE EDUCATIONAL PROCESS THROUGH RESEARCH ON MOTIVATIONAL LEVERS FOR CHOOSING A FUTURE PROFESSION AMONG YOUTH

Lushnya K., Zaytseva T., Siryk S.

Abstract. *In the course of the work, a study was conducted on the motivational levers of future career choice. The survey technology with the use of modern information*

technologies was applied. Based on the survey results, statistical and correlation analyses were conducted. The results of the study were analyzed.

Keywords: *information technology, mathematical statistics, data analysis, innovative approaches in education, survey, motivation for career choice, youth's professional self-determination, educational strategies, career choice.*

REFERENCE

1. Maslow, A.H. (1970). Motivation and Personality. Harper & Row.
2. Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68-78.
3. Csikszentmihalyi, M. (1990). Flow: The Psychology of Optimal Experience. Harper & Row.
4. Bodianskyi, Ye. V. (2016). Analysis and Processing of Data Streams by Computational Intelligence Methods.
5. Collier, Michael S. (2016). Microsoft Azure Essentials: Fundamentals of Azure, Second Edition.
6. Evtushenko, M.Yu. (2020). Methodology and Organization of Scientific Research.
7. Glockner, Jean W. (2019). IBM SPSS for Introductory Statistics: Use and Interpretation, Sixth Edition.

Секція 1 Системний аналіз і синтез процесів у металургії та машинобудуванні Section 1 System analysis and synthesis of processes in metallurgy and machine-building.....	3
Ihor Mazur, Vitaly Volokh Diagnostic method of controlling the oscillation mechanism of the crystalliser of the continuous casting barrel machine Мазур І.А., Волох В. І. Діагностичний метод контролю механізму коливань кристалізатору машини безперервного лиття заготовок.....	4
Golub Tetiana, Molchanov Lavr, Semykin Sergiy Research on the possibility of achieving chemical similarity during high-temperature modeling of metallurgical processes Голуб Т. С., Молчанов Л.С., Семикін С. І. Дослідження можливості досягнення хімічної подоби при високотемпературному моделюванні металургійних процесів.....	9
Hrechanyi Oleksii, Vasilchenko Tetyana, Vypryzhkin Pavlo, Yakymchuk Denys Research works of metallurgical equipment using simulation methods Гречаний О.М., Васильченко Т.О., Виприжкін П.О., Якимчук Д. Дослідженні роботи металургійного обладнання методами імітаційного моделювання.....	15
Svetlana Gubenko On the centers of corrosion initiation in steel subjected to laser action Губенко С.І. Про осередки зародження корозії в сталях, що піддані лазерній дії.....	20
Hubynskiy Semen, Sibir Artem, Fedorov Serhii, Ryzhkov Andriy Experimental studies of electric conductivity distribution along the height of the fluidized bed Губинський С.М., Сибір А.В., Федоров С.С., Рижков А.В. Експериментальні дослідження розподілу електричної провідності по висоті киплячого шару	27
Hubynskiy Semen, Sibir Artem, Fedorov Serhii, Foris Oleksiy Chamber furnace for simulation of carbon materials heat treatment in electrothermal fluidized bed Губинський С.М., Сибір А.В., Федоров С.С., Форись О.М. Камерна піч для моделювання термічної обробки вуглецевих матеріалів у електротермічному киплячому шарі.....	33
Ivanova L., Kolotylo E., Bilyi O., Khrinik E RESEARCH OF THE QUALITY OF CAST ROLLED ROLLS Іванова Л.Х., Колотило Є.В., Білий О.П., Хрінік Є.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЛИТИХ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ.....	39

Yuriy Kuznetsov, Oleksii Samoilenko, Gao Xinmin Mathematical modeling of the milling process of complex-profile objects clamped in a frontal vice Юрій Кузнецов, Олексій Самойленко, Гао Сінмін Математичне моделювання процесу фрезерування складнопрофільних об'єктів, затиснутих у фронтальних лещатах.....	44
Timoshenko Sergii, Niemtsev Eduard Numerical simulation of energy-efficient solutions of the arc furnace steel melting bath Тимошенко С.М., Нємцев Е.М. Чисельне моделювання енергоефективних рішень сталеплавильної ванни дугової печі.....	51
Eduard Oliinyk, Eduard Parusov, Ihor Chuiko Theoretical and technological principles of softening thermomechanical treatment of welding wire rod Олійник Е.В., Парусов Е.В., Чуйко І.М. Теоретичні та технологічні засади знеміцнюючого термомеханічного оброблення сталевого прокату зварювального призначення.....	57
Dmytro Petryna Петрина Дмитро Юрійович Corrosion rate of low-carbon pipes steel in various aggressive environments Швидкість корозії низьковуглецевих трубних сталей у різних агресивних середовищах.....	65
Adjamsky S., Kononenko G., Podolskyi R. Analysis of the causes and methods of reducing residual stresses in slm Аджамський С.В. , Кононенко Г.А., Подольський Р.В. Аналіз причин виникнення та способів зменшення залишкових напружень при slm.....	69
Podolskyi R., Safronova O., Babachenko O., Kononenko G., Merkulov O Analysis of the influence of the structural condition of steel for railway rails on their wear resistance Р.В. Подольський, О.А. Сафронова, О.І. Бабаченко, Кононенко Г.А., Меркулов О. Є. Аналіз впливу структурного стану сталі для залізничних рейок на їх зносостійкість.....	75
Stupak Yurii The method of differential thermal analysis in studies of the solid pulverized fuel destruction at a high heating rate Ступак Ю.О. Метод диференційного термічного аналізу в дослідженнях деструкції твердого пилоподібного палива за високої швидкості нагрівання.....	81
Vasyl Mykhailiuk, Vasyl Protsiuk, Ruslan Deineha Research of the strength of cement stone based on the water vapor condensate of flue gas Михайлюк В. В., Процюк В.Р., Дейнега Р. О. Дослідження міцності цементного каменю на основі конденсату водяної пари димових газів.....	90

Togobitskaya Daria, Bielkova Alla, Stepanenko Dmytro, Khodotova Nadiya Development of criteria for evaluating steel refining processes using interatomic interaction parameters in melts Тогобицька Д.М., Белькова А.І., Степаненко Д.О., Ходотова Н.Є. Розробка критеріїв оцінки процесів рафінування сталі з використанням параметрів міжатомної взаємодії в розплавах.....	95
Leonid Tuboltsev, Vitalii Petrenko, Tetiana Fonarova, Andriy Selegey System analysis of metallurgical vibration with vicoristan compliance theories системний аналіз Тубольцев Л. Г ., Петренко В. О., Фонарьова Т.А., Селегей А.М. Металургійного виробництва як підґрунтя формування системи комплаєнс.....	101
Chaika O., Kornilov B., Moskalyna A., Lebid V Analysis of the impact of plastic utilization technology in a blast furnace on technical and economic indicators and carbon dioxide emissions Чайка О.Л., Корнілов Б.В., Москалина А.О., Лебідь В.В. Аналіз впливу технології утилізації пластику в доменній печі на техніко-економічні показники та викиди діоксиду вуглецю.....	108
Vanyukov Anton, Kamkina Lidiya, Ivashchenko Valerii, Miyanovska Yana., Sazonov P. Peculiarities of formation of the heat reserve zone when using ore and coal pellets Ванюков А.А., Камкіна Л.В., Іващенко В.П., Мянновська Я.В1., Сазонов П.О. Вплив рудновугільних композицій у складі шихти на формування термічно резервної зони доменної печі.....	113
Viktor Strelbitskyi Research of failure hose in the operation of forklifts in seaports Стрельбіцький Віктор Дослідження несправностей гідравлічних рукавів при експлуатації виловних навантажувачів в морських портах.....	120
Секція 2 Інформаційні технології в процесах одержання матеріалів із заданими властивостями Section 2 Information technologies in the processes of obtaining materials with specified properties.....	124
Oleksandr Zhukov, Vitalii Horbenko An adaptive approach to the bee hive state identification using neural networks and audio analysis Жуков О.О., Горбенко В.І. Адаптивний підхід до визначення стану вулика за допомогою нейронних мереж та аналізу аудіо.....	125
Sviridov Semen, Balakin Valeriy, Balakhanova Tetiana, Havryliak Vladyslav Influence factors on the formation of mechanical properties and structure of steel for manufacture of railway axes Свиридов С. О., Балакін В. Ф., Балаханова Т. В., Гавриляк Р.В. Особливості перфорації пластин зі сталі 30ХН2МА під впливом вібрації.....	129

Mykhailo Zinchenko, Oleh Potap, Andrii Burchak Experimental study of rolling accuracy on stand 800 Зінченко М.Д., Потап О.Ю., Бурчак А.А. Експериментальне дослідження точності прокатки на стані 800.....	135
Vladyslav Lutsenko, Tetiana Golubenko, Olga Lutsenko, Ganna Sivak Modeling of the influence on the structure and properties of changes in processing modes of low-carbon steel Луценко В. А., Голубенко Т. М., Луценко О. В., Сівак Г. І. Моделювання впливу на структуру та властивості зміни режимів обробки низьковуглецевої сталі.....	142
Поворотня І.Р., Подольський Р.В., Сафронова О.А., Олійник Е.В Methodological approach to the determination of the effective component composition of carbon steels for the responsible appointment Методологічний підхід до визначення ефективного компонентного складу вуглецевих сталей відповідального призначення.....	148
Dmytro Stepanenko, Nataliya Togobytska Assessment of slag melt structure using adaptive segmented regression model of temperature-dependent viscosity and electrical conductivity Степаненко Д., Togobytska N. Оцінка структури шлакових розплавів на підставі аналізу температурних залежностей в'язкості та електропровідності з використанням адаптивної сегментної регресійної моделі.....	152
Ihor Chuiko, Eduard Parusov, Serhii Bobyr, Liudmyla Sahura Application of mathematical modeling in analysis of dilatograms of martensitic transformation in steel Чуйко І. М., Парусов Е.В., Бобирь С. В., Сагура Л. В. Застосування математичного моделювання при аналізі дилатограм мартенситного перетворення у сталях.....	158
Секція 3 Математичне моделювання складних систем Section 3 Mathematical modeling of complex systems.....	164
Fedorenko O., Malaychuk V. Research and evaluation of statistical homogeneity of autocorrelated measurements Федоренко О.Д., Малайчук В.П. Дослідження та оцінка статистичної однорідності автокорельованих вимірювань.....	165
Molodets Bohdan, Bulana Tetiana Comparison of the capabilities of service-oriented architecture and microservice architecture in the creation of information systems Молодець Б.В., Булана Т.М. Порівняння можливостей сервісно-орієнтовної архітектури та мікросервісної архітектурою у створенні інформаційних систем.....	170

Velichko O, Kamkin V., Rudko K

Modeling of vacuuming of low-carbon steel in a ladle taking into account the approach of degasation reactions to equilibrium

Величко О.Г., Камкін В.Ю., Рудько К.В.

Моделювання вакуумування низьковуглецевої сталі в ковші з урахуванням наближення реакцій дегазації до рівноваги.....174

Antonina Rudakova., Yurii Lebedenko., Hanna Rudakova., Daria Nilova

Design of a control system with a predictive model for a two-drive manipulator with a parallel structure

Антоніна Рудакова., Юрій Лебеденко., Ганна Рудакова., Дар'я Нілова

Проектування системи керування з прогнозуючою моделлю для двоприводного маніпулятора паралельної структури.....181

Labutkina T.

Simplified simulation model of load in a closed packet switching network

Лабуткіна Т.В.

Спрощена імітаційна модель навантаження в замкненій мережі комутації пакетів..188

Lyudmyla Kirichenko, Mykyta Avsitidiiskyi

Detecting noise in fractal time series using machine learning

Кіріченко Л.О., Авсітідійський М. М.

Виявлення шумів у фрактальних часових рядах за допомогою машинного навчання.....194

Basko Artem, Ershova Nina

Methodology of step-by-step design of investment project portfolio

Басько А.В., Ершова Н.М.

Методологія поетапного проектування портфеля інвестиційних проектів.....198

Prokorchuk Yurii

The concept of “cognitive computability”

Прокопчук Ю.О.

Концепція «когнітивної обчислюваності».....204

Anatolii Kosolap

Optimization of the reliability of complex systems

Косолап А.І

Оптимізація надійності складних систем.....211

Yurii Bazylevych, Olha Stanina

A gap package for decoupling linear systems

Базилевич Ю.М., Станіна О.Д.

Пакет гар для розщеплення лінійних систем.....215

Michael Vietluzhskykh, Viktor Shynkarenko

Functional capabilities of time series database management systems

Ветлужських М.В., Шинкаренко В. І.

Функціональні можливості систем керування базами даних часових рядів.....218

Hnylytsia I.

Mathematical model of the influence of elongated grains rotation on the high-temperature deformation process of silicon nitride based ceramics

Гнилиця І.Д.

Математична модель впливу повороту видовжених зерен на процес високотемпературного деформування кераміки на основі нітриду кремнію 223

Dmytrenko Andrii, Dmytriieva Iryna

Using the method of support vectors on the example of predicting the properties of hydrocarbon deposits

Дмитренко А. М., Дмитрієва І. С.

Використання методу опорних векторів на прикладі прогнозування властивостей покладів вуглеводнів.....227

Artem Zhadan, Viktor Shynkarenko

A multi-agent environment for fractal time series reconstruction

Жадан А.А., Шинкаренко В.І.

Мультиагентне середовище відновлення фрактальних часових рядів.....232

Skalozub Vladyslav, Zavhorodnii Andrii

Multi-criteria multi-fuzzy models for monitoring of distributed logistics flows processes

Скалозуб В.В., Завгородній А.Д.

Багатокритеріальні мульти-нечткі моделі процесів моніторингу розподілених логістичних потоків.....237

Vadym Zaytsev, Oleksandr Khizha

Use of jrqa indicators of electroencephalography data for their typification

Зайцев В.Г., Хижа О.Л.

Використання показників jrqa даних електроенцефалографії щодо їх типизації.....240

Andrii Zinchenko, Olga Gorna

On development of a streaming video transmission algorithm for the networks with unstable bandwidth

Зінченко А.В., Горна О.В.

До питання побудови алгоритмів передачі потокового відео для мереж з нестабільною пропускну здатністю.....244

Ivancha M.G., Vishnyakov V.I., Myrav'yova I.G., Shcherbachov V.R.

Complex mathematical model of the process of loading a multicomponent charge into a blast furnace

Іванча М.Г., Вишняков В.І., Муравйова І.Г., Щербачов В.Р.

Комплексна математична модель процесу завантаження багатокомпонентної шихти в доменну піч.....249

Dmytro Karpovskiy, Viktor Shynkarenko Perspectives of ontology refactoring Карповський Д.О., Шинкаренко В. І. Перспективи рефакторингу онтологій.....	256
Kononov Dmytro., Hrytskov Oleksandr Research of the technological indicators of the work of a vibrating screen with elastic sives Кононов Д.О., Грицьков О.А. Дослідження технологічних показників роботи вібраційного грохота з еластичними ситами.....	260
Eugene Koshel Autoencoder neural network for univariate time series embedding Кошель Є.В Нейронна мережа типу автокодувальник для вкладення одновимірних часових рядів.....	266
Oleksandr Letuchyi, Viktor Shynkarenko Graph fractals with the variability of the formation process Летучий О. І., Шинкаренко В. І. Графові фрактали з варіативністю процесу формування.....	270
Ruvinska Victoria, Maksimych Artem Android application for automatic film selection according to user's preference Рувінська В.М., Максимичев А.М. Android-застосунок автоматичного підбору фільмів відповідно до вподобань користувача...	275
Tarasov Serhii., Molotkov Oleh Modeling of transient functions of a wind turbine with variable rotor parameters Тарасов С.В., Молотков О.Н. Моделювання перехідних функцій вітрової турбіни із змінними параметрами ротора.....	278
Molchanov Lavr, Golub Tatyana Comparative analysis of metallurgical process simulation methods Молчанов Л.С., Голуб Т.С. Порівняльний аналіз методів моделювання металургійних процесів.....	283
Молчанов Л.С., Кисляков В.Г., Петруша В.П. Determination of the rational composition of reagents for the complex refining of liquid cast iron at the out-of-furnace treatment stage Molchanov L., Kislyako V., Petrusha V Визначення раціонального складу реагентів для здійснення процесів комплексного рафінування рідкого чавуну на етапі позапічної обробки.....	288
Panevnyk Denys Simulation of the jet pump working process with its asymmetric rotation in the well Паневник Д.О. Моделювання робочого процесу струминного насоса при його асиметричному обертанні в свердловині.....	292

Togobitska Daria., Povorotnia Iryna, Likhachev Yury, Nadiya Khodotova Databases and models to support the acceptance of technological decisions in the proofing of steel at the ladle furnace installation Тогобицька Д.М., Поворотня І.Р., Ліхачов Ю.М., Ходотова Н.Є. Бази даних і моделей для підтримки прийняття технологічних рішень при доведенні сталі на У КП.....	297
Tatyana Selivorstova, Mykhailo Potap Determining the adequacy of computer models of complex multi-connected objects Селівьорстова Т.В., Потап М.О. Визначення адекватності комп'ютерних моделей складних багатозв'язних об'єктів.....	302
Volodymyr Poshyvalov, Yuri Daniev Application of expert methods and neural networks for forecasting the remaining resource of technical objects Пошивалов В.П., Данієв Ю.Ф. Застосування експертних методів і нейронних мереж для прогнозування залишкового ресурсу технічних об'єктів.....	306
Prokhorets S. I Mathematical modeling of processes in neutron radiography Прохорець С. І. Математичне моделювання процесів в нейтронній радіографії.....	311
Rusakova Tetiana Information support in environmental protection technologies Русакова Т.І. Інформаційне забезпечення в технологіях захисту довкілля.....	316
Miamlin Serhii Mathematical simulation of spatial oscillations of railway rolling stock Мямлін С.С. Математичне моделювання просторових коливань рухомого складу залізниць.....	320
Dmytriieva Iryna, Bimalov Dmytro Interaction of discourse analysis and sentiment analysis to identify emotional state in text communication Дмитрієва І.С., Бімалов Д.В. Взаємодія аналізу дискурсу та аналізу настроїв для ідентифікації емоційного стану в текстовому спілкуванні.....	324

Klymenko O., Malaichuk V.

Methods of assessing the conformity of a pseudo-random sequence to a random distribution in the problems of automation, cyber security, computer-integrated technologies and non-destructive control

Клименко О.Д., Малайчук В.П.

Методи оцінки відповідності псевдовипадкової послідовності до випадкового розподілу в задачах автоматизації, кібербезпеці, комп'ютерно-інтегрованих технологіях та неруйнівному контролі.....328

Dmytro Konovodov, Viacheslav Boiarkin, Maksym Boiko, Oleksandr Ivliev

Computer simulation of non-uniform strain during wire drawing

Коноводов Д.В., Бояркін В.В., Бойко М.Г., Івлєв О.М.

Комп'ютерне моделювання нерівномірності деформації при волочінні дроту.....335

Stopkin V., Bondar D.

Model study of the controlled rectifier of mechatronics systems

Стьопкін В.В., Бондар Д. П.

Модельне дослідження керованого випрямляча систем мехатроніки.....340

Serhii Tarasov, Olha Dorosh

Study of dynamic parameters of H-rotors of variable configuration

Тарасов С.В., Дорош О.В.

Дослідження динамічних параметрів Н-роторів Дар'є змінної конфігурації.....345

Секція 4 Інформаційне та програмне забезпечення процесів проектування

Section 4 Information and software support for design processes.....349

Guda Anton, Bulavka Oleksii, Dovydivskyi Eduard, Selivyorstova Tatjana

Research of applications of artificial intelligence in software engineering

Гуда А.І., Булавка О.С., Довидовський Е.О., Селівьрстова Т.В.

Дослідження особливостей застосування штучного інтелекту в інженерії програмного забезпечення.....350

Kashtan Vita, Panferova Yana, Beshta Liliia, Vashchuk Dmytro

Automated detection of potentially dangerous url addresses using the scikit-learn library

Каштан В.Ю., Панферова Я.В., Бешта Л.В., Ващук Д.О.

Автоматизоване виявлення потенційно небезпечних url-адрес з використанням бібліотеки scikit-learn.....353

Yaroslav Doroshenko, Serhii Stetsiuk, Oleksandr Filipchuk

Study of the influence of the geometric form of pigs on the efficiency of cleaning pipelines

Дорошенко Я.В., Стецюк С.М., Філіпчук О.О.

Дослідження впливу геометричної форми поршнів на ефективність очищення трубопроводів.....358

Anatolii Kosolapov, Egorov Oleg, Parpolita Olexandr, Stepan Zhuk Development of a framework for conceptual design of rts (fcd_rts) Косолапов Анатолій, Єгоров Олег, Парполіта Олександр, Жук Степан Розробка framework для концептуального проектування систем реального часу (fcd_rts).....	363
Valeriy Mazurenko Assessment of ESP32 microcontroller compliance with international standards of cyber security for Internet of Things Мазуренко В.Б. Дослідження рівня відповідності мікроконтролера ESP32 міжнародним стандартам з кібернетичної безпеки інтернету речей.....	367
Volodymyr Melnyk, Ruslan Fyl, Olexsandr Mikishchenko Modeling of allowance distribution during forming of cylindrical gear wheels Мельник В.Є., Филь Р.С., Микищенко О.А. Моделювання розподілу припуску при формоутворенні циліндричних зубчастих коліс.....	372
Oleksii Poliakov, Bohdan Zhurakovskiy Method of prototyping control units based on the openplc application Поляков О. М., Жураковський Б. Ю. Методика прототипування пристроїв керування на базі додатку openplc.....	376
Olena Kavats, Yurii Kavats, Dmytro Roi Analysis of methods of satellite monitoring of changes in water bodies Кавац О.О., Кавац Ю.В., Рой Д.М. Аналіз методів супутникового моніторингу змін водних об'єктів.....	383
Rudyk O., Banashko A., Lynnyk R. Automotive parts design software Рудик О.Ю., Банашко А. В., Линник Р. О. Програмне забезпечення проектування деталей автомобілів.....	387
Oleksandr Syrota, Horiachkin Vadym, Refactoring cross-platform applications using artificial intelligence Сирота О. А., Горячкін В.М. Рефакторинг крос-платформних застосунків з використанням штучного інтелекту.....	393
Tsvirkun Leonid, Sobolevskiy Ivan Scalability issues in distributed data processing for foggy it infrastructures Цвіркун Л.І. Соболевський І.О. Проблеми масштабованості в розподіленій обробці даних для туманних іт-інфраструктур...	398
Yurii Mosora, Ruslan Deineha, Vasyl Mykhailiuk, Oleh Faflei Development of the press mould design and manufacture of the seal model of the universal preventor Мосора Ю.Р., Дейнега Р. О., Михайлюк В. В., Фафлей О. Я. Розроблення конструкції пресформи та виготовлення моделі ущільнювача універсального превентора.....	405

Leonid Mashchenko, Maksym Yuriev

Development of database and client-server application for higher educational institutions

Мащенко Л.В., Юр'єв М.В.

Розроблення бази даних та клієнт – серверного застосунку для закладів вищої освіти.....410

Leonid Mashchenko, Maksym Yuriev

Development of a client – server application for database management

Мащенко Л.В., Юр'єв М.В.

Розроблення клієнт-серверного застосунку з метою керування базою даних для покращення навчального процесу.....414

Секція 5 Інтелектуальні інформаційно-управляючі системи та технології

Section 5 INTELLIGENT INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS AND TECHNOLOGIES.....417

Krasnoshapka Nykyta, Maliienko Stanislav, Guda Anton, Selivyorstova Tatjana

Application of artificial intelligence for solution of engineering problems. Advantages and challenges

Красношапка Н.С., Малієнко С.Є., Гуда А.І., Селівьрстова Т.В.

Застосування штучного інтелекту для розв'язання інженерних задач. Переваги та виклики.....418

Kuchyn Anton

Study of effect to cold pilger rolling parameters on the temperature regime of process

Кучин Антон

Дослідження впливу параметрів холодної пільгерної прокатки на температурний режим процесу.....422

Mukola Zakharov, Nadiia Karpenko

The issue of preparing addendums to diplomas of graduates of higher education institutions in modern conditions

Захаров М.В., Карпенко Н.В.

Проблема підготовки додатків до диплому випускників з во в сучасних умовах.....426

Yehorov O.

Identification of trains from various sources of information

Єгоров О.Й.

Ідентифікація поїздів із спільним використанням інформації з різних джерел.....431

Pertsev Y., Korotka L.

Innovative approach to time series forecasting: from traditional methods to the cutting-edge model TimesFm

Перцев Ю.О., Коротка Л.І.

Інноваційний підхід у прогнозуванні часових рядів: від традиційних методів до новаторської моделі TimesFm.....434

Halushka O., Shynkarenko V.

Complex ontological and neural network models of photographic images

Галушка О.В., Шинкаренко В.І.

Комплексні онтологічні та нейромережеві моделі фотографічних образів.....440

Vladislav Skalozub, Rovshan Gasanov Application of fuzzy models to control the stream of messages in data transmission infrastructures Скалозуб В.В., Гасанов Р.З. Застосування нечітких моделей для керування потоками повідомлень в інфраструктурах передачі даних.....	445
Oleg Zhulkovskiy, Hlib Vokhmianin, Inna Zhulkovska, Serhii Panteikov Optimisation of the bof process using machine learning algorithms Жульковський О.О., Вохмянін Г.Я., Жульковська І.І., Пантейков С.П. Оптимізація киснево-конвертерного процесу засобами алгоритмів машинного навчання.....	448
Illia Ziborov, Timur Zheldak Applying of hybrid evolutionary method based on particle swarm and artificial immune system simulation in optimization problems Зіборов І.К., Желдак Т.А. Застосування гібридного еволюційного методу на основі рою часток та моделювання штучної імунної системи в задачах оптимізації.....	453
Kupin Andrey, Kosei Maksym Analysis of swarm intelligence algorithms Купін А.І., Косей М.П. Аналіз алгоритмів ройового інтелекту.....	460
Maria Rybalchenko, Oleksandr Egorov, Ivan Manachyn, Stanislav Rybalchenko Development of the stepper motor control system of the training transport line Рибальченко М.О., Єгоров О.П., Маначин І.О., Рибальченко С.С. Розробка системи керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії.....	466
Serdyuk K., Klymenko S. Development and implementation of an autonomous smart flowerpot Сердюк К.О., Клименко С. В. Розробка та реалізація автономного розумного горщика для квітки.....	472
Roman Sytnyk, Viktoriia Hnatushenko Study of consensus algorithms in blockchain networks in the design of information systems Ситник Р.С., Гнатушенко Вік.В. Дослідження алгоритмів консенсусу у мережах блокчейну при проектуванні інформаційних систем.....	479
Vladyslav Tsaryk, Daria Bychkova, Serhii Klishch, Yurii Kaliberda Concept of a mobile application to improve the mental health of ukrainians Царик В.Ю., Бичкова Д.М., Кліш С.М., Каліберда Ю.О. Концепція мобільного застосунку для покращення ментального здоров'я українців.....	485
Ostrovskaya Kateryna, Stovpchenko Ivan Prospects for using big data processing systems in the metallurgical industry Островська К.Ю., Стовпченко І.В. Перспективи використання систем обробки big data в металургійній промисловості.....	490

Olena Kavats, Yurii Kavats, Danilo Dibrii

Satellite monitoring of water body pollution assessment based on machine learning

Кавац О.О., Кавац Ю.В., Дібрій Д.А.

Супутниковий моніторинг оцінки стану забруднення водних об'єктів на основі машинного навчання.....495

Skalozub V., Horyachkin V., Terletsy I.A

Research of intellectual models for classification of uncertain data with requirements for result reliability

Скалозуб В.В., Горячкін В.М., Терлецький І.А.

Дослідження інтелектуальних моделей класифікації невизначених даних з вимогами достовірності результатів.....500

Kharun V.

Current state of use of electronic digital signature

Харун В.Р

Сучасний стан використання електронного цифрового підпису.....503

Mishchenko M., Hnatushenko V.

Detecting objects on satellite images using PyTorch

Міщенко М.С., Гнатушенко Вік. В.

Визначення об'єктів на супутникових знімках за допомогою PyTorch.....508

Секція 6 Прогресивні інформаційні технології та організація сучасного виробництва

Section 6 Progressive information technologies and organization of modern production.....512

Seliverstov Vadim, Dotsenko Yurii, Selivyorstova Tatjana, Gladkikh Volodymyr

Study of the effect of modification with highly dispersed silicon carbide on the density and macrostructure of castings from the secondary alloy of the al-si system under different thermophysical solidification conditions

Селівьорстов В.Ю., Доценко Ю.В., Селівьорстова Т.В., Гладких В.А.

Дослідження щільності макроструктури виливків із вторинного сплаву системи al-si при модифікуванні високодисперсним карбідом кремнію.....513

Vysochin Dmytro, Kaliberda Yuri, Seliverstova Tetyana

Management of it projects in the field of GameDev

Височин Д.С., Каліберда Ю.О., Селівєрстова Т.В.

Управління іт проектами в сфері GameDev.....516

Shevchenko A., Manachyn I., Dvoskin¹ B., Bashmakov O., Rybalchenko M

Development of nomograms and calculative models for specific magnesium consumption and sulfur content in iron under different conditions of injection hot metal desulfurization

Шевченко А.П., Маначин І.О., Двоскін Б.В., Башмаков О.М., Рибальченко М.О.

Розробка розрахункових моделей питомих витрат магнію та вмісту сірки в чавуні при для управління процесом інжекційної десульфурзації чавуну.....521

Mykhailo Poliakov, Volodymyr Vasylevskyi, Oleksii Poliakov

Method for interpolation and extrapolation of data with uneven step of changing experimental parameters

Поляков М. О., Василевський В.В., Поляков О.М.

Методика інтерполяції та екстраполяції даних при нерівномірному кроку зміни параметрів експерименту.....526

Lyudmila Tymoshenko

Aspects of victoristangy intelligence in current information technologies and vibration management

Тимошенко Л. С

Аспекти використання штучного інтелекту в сучасних інформаційних технологіях і управлінні виробництвом.....530

Olena Kavats, Yurii Kavats, Kibukevych J.O

Satellite monitoring of agricultural crop development assessment

Кавац О.О., Кавац Ю.В., Кібукевич Ю.О.

Супутниковий моніторинг оцінки стану розвитку сільськогосподарських рослин.....534

Секція 7 Інформаційно-ресурсне забезпечення дистанційної освіти на засадах компетентнісного підходу

Section 7 Information and resource support distance education based on competence-based approach.....537

Mala Yuliia, Selivorstova Tatyana, Guda Anton

Application of artificial intelligence for solution of engineering problems. Advantages and challenges

Мала Ю. А., Селівьорстова Т. В., Гуда А.І.

Особливості інтеграції технології orange при вивченні освітніх компонентів галузі знань інформаційні технології.....538

Секція 8 Інноваційні підходи підвищення якості навчального процесу та питання анти плагіату

Section 8 Innovative approaches to improving the quality of the educational process and the issue of anti-plagiarism.....542

Karabut Vladlen

Development of software for calculation time norms for mechanical processing

Карабут В.М.

Розробка програмного забезпечення для розрахунку норм часу механічної обробки.....543

Lushnya K.K., Zaytseva T.A., Siryk S.F

Innovative approaches to improving the quality of the educational process through research on motivational levers for choosing a future profession among youth

Лушня К.К., Зайцева Т.А., Сірик С.Ф.

Інноваційні підходи підвищення якості навчального процесу через дослідження мотиваційних важелів вибору майбутньої професії серед молоді.....545