

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)
Akademia Górniczo-Hutnicza, (Краківська гірничо-металургійна
академія ім. С. Сташіца, Польща)
Politechnika Rzeszowska (Жешівський технологічний університет, Польща)
Silesian University of Technology (Сілезький технічний університет, Польща)
Tallinn University of Technology (Талліннський технологічний університет, Естонія)



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

18 травня 2022 року

м. Дніпро

Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2022: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 18 травня 2022 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: НМетАУ, 2022. – 309 с.

Друкується за рішенням вченої ради

Українського державного університету науки і технологій від 28.03.2022 р., № 5

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Голова:

Величко О.Г. – член-кореспондент НАНУ, д.т.н., професор,
ректор НМетАУ (Дніпро, Україна)

Заступник голови:

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

Члени оргкомітету:

Пройдак Ю.С. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

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

Петренко О.М. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Губинський М.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)

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

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

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

Зубов Д.А. – д.т.н., доцент (American University of Central Asia, Kyrgyzstan)

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

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

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

Петленков Э. – к.т.н. (Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, Estonia)

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

Светличний Д.С. – д.т.н., професор (Краків, Польща)

Селівьорстов В.Ю. – д.т.н., професор (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. – Ph.D., Professor (Michigan State University, USA)

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

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

У збірник включені тези доповідей, які були представлені на Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні – ITMM'2022».

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**

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.001

ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЧИСЛЕНИХ ТА ФАКТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВУ INCONEL 718

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

¹ LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Україна, Дніпро

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

³ Український державний університет науки і технологій, Україна, Дніпро

Процес руйнування є заключною стадією поведінки металу під навантаженням, а опір, який метал надає розвитку цьому процесу, в значній мірі визначає його конструкційну міцність. До числа найбільш загальних видів руйнування відноситься в'язке і крихке руйнування металів. В'язке руйнування, якому передують значна пластична деформація, є більш характерним для металів, ніж крихке [1, 2].

Дослідження проводились на зразках, виготовлених з металевого порошку Inconel 718 виробника H. C. Starck марки AMPERPRINT 0181.074 з розміром частинок $45 + 15 \mu\text{m}$. Друк зразків проводився на 3D принтері Alfa-280 виробництва компанії ТОВ «АЛТ Україна» [3]. Випробування для визначення механічних властивостей після стандартної термічної обробки проводили відповідно до ГОСТ 1497 на випробувальній машині INSTRON та виконували аналітичні розрахунки з застосуванням програмного забезпечення QForm при стабільній швидкості ходової траверси 2 мм/с. Контроль геометричних параметрів проводився з застосуванням 3- D сканеру та програмного забезпечення Geometric Control X.

Дослідні зразки на розтягування підлягали 3- D скануванню з метою перевірки геометричних параметрів. В результаті даного дослідження (рис. 1) було встановлено, що надруковані зразки не мають значних відхилень по геометричним параметрам, слід зазначити, що є незначні відхилення по радіусу переходу в робочій зоні в рамках стандарту. Дане відхилення не відіграє значну роль на випробування.

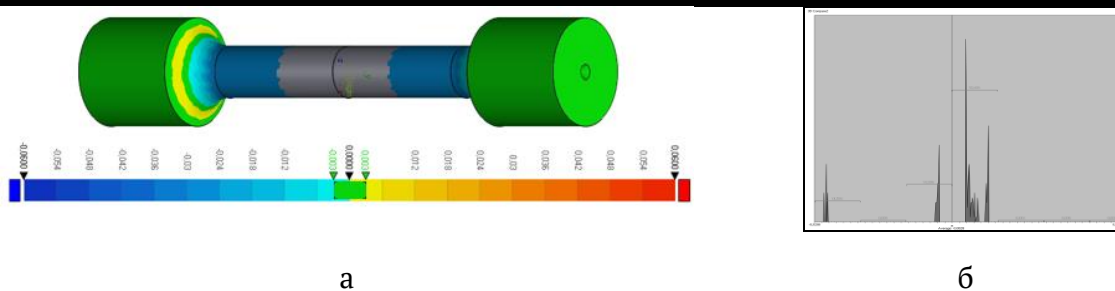


Рисунок 1 – Процес перевірки геометричних параметрів зразка для випробувань на розтягування: а- контрольована модель, б – відхилення геометрії

З метою побудови ідеальної технічної діаграми розтягування було проведено математичне моделювання процесу розтягування зразка в спеціалізованому програмному забезпеченні QForm. Результат даного дослідження представлено на рис. 2.

На наступному етапі дослідження було проведено фактичні випробування з метою побудови справжньої технічної діаграми розтягування. Одночасно розтягування проводилось при кімнатній температурі, реєстрація полів макролокальних переміщень фіксувалось методом DIC (digital image correlation) одночасно з розтягуванням. Порівняння фактичних результатів деформації з ідеальною технічною діаграмою розтягування Inconel 718, отриманою в програмному комплексі QForm. Результат порівняння представлений на рис. 3 та в таблиці 1.

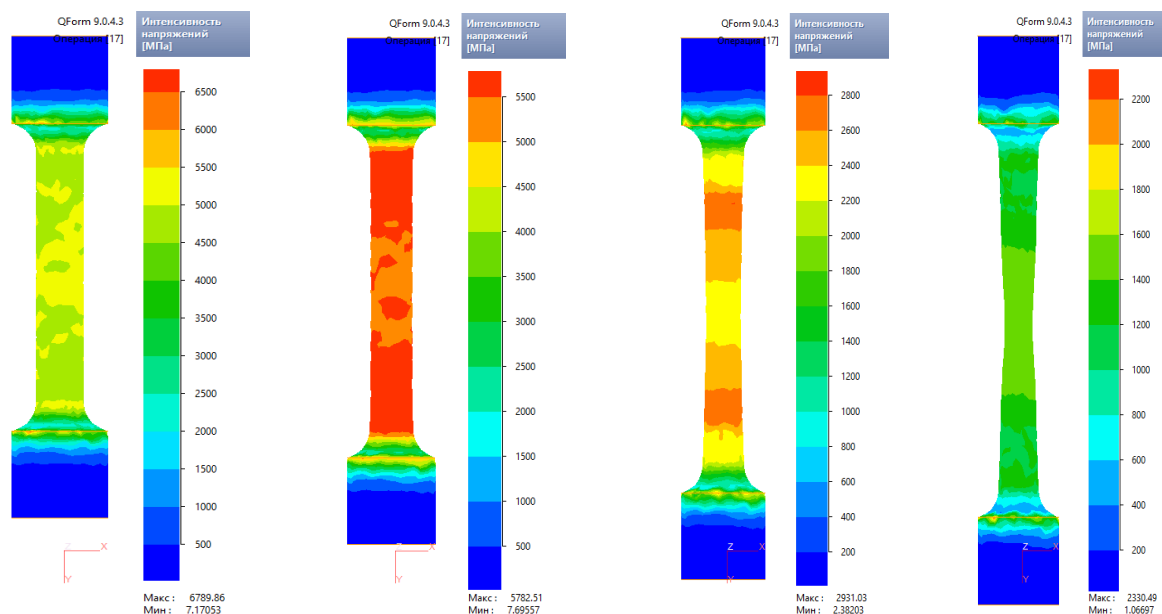


Рисунок 2 – Результати моделювання процесу деформації зразку в робочому просторі QForm

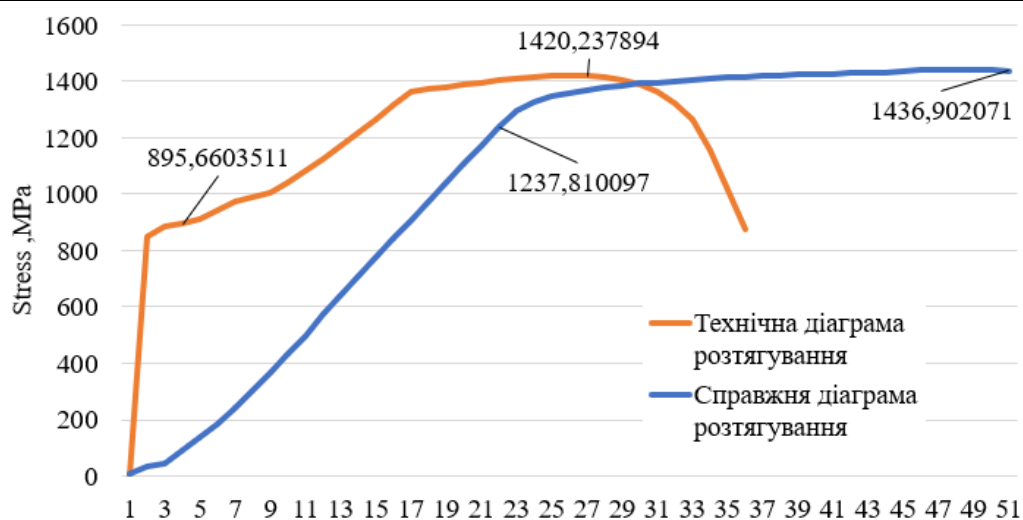


Рисунок 3 – Результати порівняльного дослідження матеріалу Inconel 718 при випробуванні на розтягування

Таблиця 1 – Результати механічних властивостей Inconel 718

№ п\п	Процес	Тимчасовий опір, МПа	Границя плинності, МПа	Відносне видовження, %	Відносне звуження, %
1	Математичне моделювання	1420,23	895,66	21,1	36
2	Фактичне випробування	1436,90	1237,81	24,3	51

При порівнянні області пружної деформації та границі плинності встановлено, що ділянка діаграм, що описується законом Гука, змінює кут нахилу, при цьому змінюється значення границі плинності. Тим самим змінюється етап утворення площадки фізичної границі плинності.

За результатами досліджень мікроструктури встановлено, що пористість дослідного зразка становить 0,1%, а при моделюванні застосовували умовне припущення, що матеріал має ідеальну будову з 100% щільністю.

Висновки

1. При порівнянні ідеальної технічної діаграми та справжньої технічної діаграми матеріалу Inconel 718 встановлено, що вони мають розбіжності. Дані розбіжності пояснюються тим, що дослідний матеріал, що випробують на

розтягування, фактично має більше пластичні характеристики на 30% через не ідеальну внутрішню мікроскопічну будову.

Література

1. Adjamskiy, S., Podolskiy R., Kononenko G. Investigation of plastic properties of AISI 316L steel by method of registration of macrolocalization fields. System technologies. 2021. 4,135. P 3-11.
2. Adjamsky, S., Kononenko, G., & Podolskiy, R. Of plastic properties of AISI 316L steel by method of registration of macrolocalization fields. Міжнародна науково-технічна конференція Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні, (16-18 березня 2021, Дніпро), Дніпро, 2021, 4-8.
3. Adjamsky, S., Kononenko, G., & Podolskiy, R. Симуляция влияния остаточных напряжений и параметров SLM-технологии на формирование области границ изделия из жаропрочного никелевого сплава INCONEL 718. Міжнародна науково-технічна конференція Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні, (17-19 березня 2020, Дніпро), Дніпро, 2020, 4-7.

COMPARATIVE STUDIES OF CALCULATED AND ACTUAL VALUES OF MECHANICAL PROPERTIES OF INCONEL 718 ALLOY

Adjamsky Sergey, Kononenko Ganna, Podolskiy Rostislav

Abstract. The process of destruction is the final stage of the behavior of the metal under load, and the resistance that the metal gives to the development of this process, largely determines its structural strength. The studies were performed on samples made of Inconel 718 powder material after standard heat treatment. Tests to determine the mechanical properties were performed in accordance with GOST 1497 on an INSTRON test machine and performed analytical calculations using QForm software at a stable running traverse speed of 2 mm / s. Geometric parameters were monitored using a 3-D scanner and Geometric Control X software. A comparison of the ideal technical diagram with the true technical diagram of the Inconel 718 material revealed that they differed. These discrepancies are explained by the fact that the experimental material tested for stretching, in fact, has a higher value of plastic characteristics by 30% due to the porosity in the experimental material.

Keywords: tensile, mechanical properties, diagram, Inconel 718.

References

1. Adjamskiy, S., Podolskiy, R., & Kononenko, G. (2021). Investigation of plastic properties of AISI 316l steel by method of registration of macrolocalization fields. *System technologies*, 4(135), 3-11.
2. Adjamsky, S., Kononenko, G., & Podolskiy, R. (2021). Of plastic properties of aisi 316l steel by method of registration of macrolocalization fields. *Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferencija Informacijni tehnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni*, 4-8. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.001>
3. Adjamsky, S., Kononenko, G., & Podolskiy, R. (2020). Simuljacija vlijanija ostatochnyh naprjazhenij i parametrov SLM-tehnologii na formirovanie oblasti granic izdelija iz zharoprochnogo nikelovogo splava INCONEL 718. *Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferencija Informacijni tehnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni*, 4-7. [in Russian].

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.002

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ФАКЕЛУ ДОГОРЯННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ, ЯК ЗАСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ
ПЕРЕБІГУ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В
ПРОЦЕСАХ ВИПЛАВКИ СТАЛІ**

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

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ

Киснево-конвертерний процес заснований на тісній взаємодії рідкої і газової фаз й супроводжується вдуванням й виділенням значного об'єму газів, які при температурних і хімічних умовах конвертування утворюють факел над горловиною конвертера. Зміна характеру факелу тісно взаємопов'язана з процесом конвертування, отже, його дослідження й контроль за ходом продувки в умовах реальних високотемпературних процесів, є актуальним [1-3]. Проте, зареєструвати та проаналізувати факел важко через значну температуру над горловиною агрегату та велику кількість пилу, що виділяється під час продувки.

В ході дослідження були проаналізовані та досліджені на лабораторних установках, які імітували одиничний газовий факел допалювання, різні методи вимірювання фізичних показників його стану [4-6], у тому числі в умовах запилення різного характеру: теплопередачі; світимості у ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному спектрах; електричні характеристики. Встановлено, що через природний коливальний характер полум'я необхідно інтегрувати значення фізичних характеристик полум'я, отримані за допомогою спеціальних датчиків. Також встановлено, що вплив високих температур та наявності частинок пилу створює додаткову похибку у отриманні результатів сенсорами, які реєструють тепловіддачу та світимість факелу.

По тепловіддачі від палаючого факелу встановлено:

– подача будь-якого твердого матеріалу з температурою значно нижчою за температуру факела негативно відбивається на теплопередачі від факела навіть при візуальному збільшенні яскравості, окрім компонентів, що здатні окислюватися з виділенням тепла;

– не залежно від ступеня чорноти факела за реальних температур процесу конвертування частинки фракцією 5-200 мкм при потраплянні в нього можуть нагріватися до температур, що наближується до температури світіння;

По яскравості факелу встановлено:

– при появі у палаючому факелі твердих дрібних (фракція порядку 100-200 мкм) часток його яскравість підвищується, а більших за фракцією – знижується. При цьому найменший зворотній вплив мав показник УФ спектру, а найбільший – денного спектру;

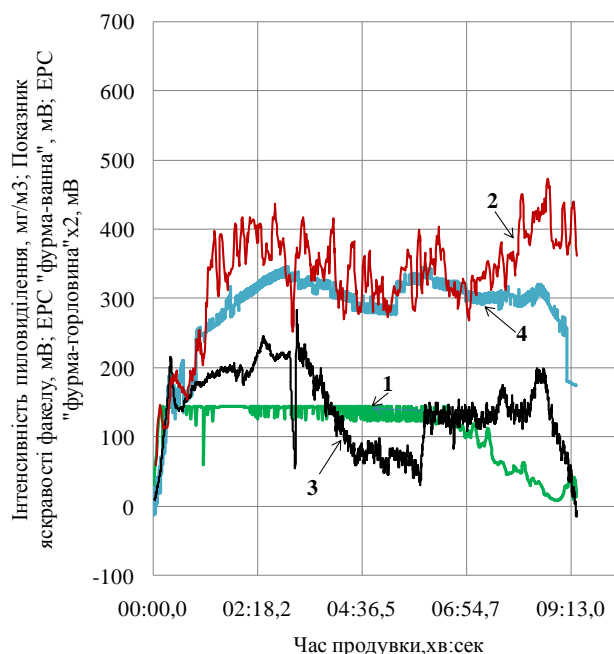
По електричним характеристикам факелу встановлено:

– вимірювання різниці потенціалів, що формується у факелі, має перевагу перед вимірюванням електропровідності через отримання більш відтворюваних показників достатнього рівня значення;

– знаючи необхідний рівень кисню, що стехіометрично необхідний для проведення повного окислення газової суміші, можливо за рівнем електричних характеристик стверджувати про повноту окислення газової суміші.

Загальний висновок: найбільш точним, швидкісним та стабільним методом отримання характеристики стану газового факелу при роботі в жорстких умовах сталеплавильного агрегату може бути обрано метод вимірювання різниці створюваних природньо потенціалів. При цьому можливі декілька варіантів застосування цього методу з реєстрацією різних показників: між продувною фурмою, як одним з електродів, та між іншим електродом, встановленим на горловині конвертера та між фурмою та рідкою ванною. Наведені варіанти вимірювання електричних показників були випробувані на лабораторній високотемпературної моделі кисневого конвертера, виготовленій у масштабі 1:30 відносно до промислового 160-т конвертера. Під час продувки проводили реєстрацію не тільки природно сформованої різниці потенціалів, а й ряду технологічних показників процесу. На рис. 1 наведено характерні діаграми отриманих зареєстрованих показників. Відзначено, що зареєстровані електричні показники не залежно від місця реєстрації мають достатній для аналізу рівень, проте через наявні флуктуації, що обумовлені постійним активним рухом всіх середовищ в межах робочого простору агрегату, необхідно проводити усереднення зареєстрованих показників

впродовж певного часу (30-60 сек.). Встановлено, що зміна у часі за ходом продувки різниці природного потенціалу у ланцюзі «фурма - ванна» може якісно характеризувати рівень спінення шлако-металевої ванни. Доказом цього свідчить факт зростання цього показника у другій половині продувки, що відповідає зниженню рівня інтенсивності виділення пилу (за рахунок фільтрації сформованим шлаком). Щодо показника різниці природних потенціалів у ланцюзі «фурма - горловина»: показник добре кореспондується з показником яскравості факелу у підфурменій області (реєстрація якого у дослідженні була можливою завдяки примусовому видаленню пилу з цієї зони): зростання рівня показника відповідає зростанню рівня показника яскравості факелу і навпаки. Відомо, що підвищення яскравості світіння факелу відбувається у разі протікання процесу допалювання газів CO, що відходять з агрегату, до CO₂. Отже зростання рівня різниці природних потенціалів у ланцюзі «фурма - горловина» за ходом продувки може характеризувати якісно процес допалювання CO до CO₂.



- 1 – інтенсивність пиловиділення, мг/м³; 2 – показник яскравості факелу, мВ;
3 – різниця природних потенціалів у ланцюзі «фурма – металева ванна», мВ;
4 – різниця природних потенціалів у ланцюзі «фурма - горловина», мВ

Рисунок 1 – Типові діаграми зміни зареєстрованих параметрів за часом продувки.

Таким чином проведене дослідження методів реєстрації фізичних показників полум'я, що імітувало одиничний факел допалювання, вказало на

доцільність використання виміру електричних характеристик факелу догорання газів у якості параметру для контролю процесу (а саме різниці природних потенціалів), наприклад, допалювання, завдяки оперативності визначення, відсутності суттєвого впливу на точність виміру надлишкової температури і ступеня запиленості. Випробування зазначеного методу на високотемпературній моделі показало відповідність зареєстрованих електричних характеристик системи «продувна фурма – металева ванна-корпус агрегату» ряду процесів, які відбуваються за ходом продувки в об’ємі агрегату. Шляхом зіставлення отриманих вимірюваних показників із встановленими дослідним шляхом показниками згідно заданих за технологією параметрів ведення продувки та граничними значеннями можна робити висновки, в залежності від їх відхилення, про необхідність, наприклад, зміни положення фурми для досягнення необхідного результату за показниками або проведення інших корегуючих операцій (наприклад, подачі сипучих в конвертер для коригування стану шлаку) й досягати кращих технологічних результатів ведення продувки металевого розплаву.

Література

1. A temperature prediction model of converters based on gas analysis/ Wu Ling, Yang Ningchuan, You Xiangmi, Xing Kaixin , Hu Yan// Procedia Earth and Planetary Science. 2011. 2(1), P. 14 – 19
2. M. K. Shin, S. D. Lee, S. H. Joo, J. K. Yoon. A Numerical Study on the Combustion Phenomena Occurring at the Post Combustion Stage in Bath type Smelting Reduction Furnace. ISIJ International. 1993. Vol. 33, No. 3. P.369 - 375.
3. Bogushevskiy V, Sharbatian M, Sukhenko V. System for the BOF process control. The advanced Science open access Journal. Vol.5. P. 23-27
4. Specific features of the diffusion flame in the transition from the laminar to turbulent regime of combustion/ V. S. Kozulin, V. L. Krainev, V. L. Krainev, P. K. Tretyakov, A. V. Tupikin. Combustion Explosion and Shock Waves. 2014. 50(6). P.742-744
5. Golub V. V., Volodin V. V. and Krivokorytov M. S. Acoustic control of the structure of the gas torch. Journal of Physics: Conference Series. 2016. Vol.774. P.1-8
6. Masataka Arai, Hiroyuki Sato, Kenji Amagai. Gravity effects on stability and flickering motion of diffusion flames. Combustion and Flame. 2009. Vol.118(1-2). P. 293-300

**RESEARCH OF METHODS OF MEASURING PHYSICAL INDICATORS
OF FLUE GAS POSTCOMBUSTION TORCH AS A MEANS
OF PREDICTING THE COURSE OF PHYSICOCHEMICAL TRANSFORMATIONS
IN STEEL SMELTING PROCESSES**

Golub Tetyana, Molchanov Lavr, Semykin Serhiy

Abstract. The oxygen-converter process is accompanied by the release of a significant amount of off-gases, that under the conditions of postcombustion form a torch over the neck of the converter. Change the torch nature corresponds the peculiarities of the heat blowing. However, it is difficult to register and analyze the torch due to the significant temperature above the neck of the unit and the large amount of dust released during the blowing. The paper presents the results of physical modeling of methods of registration of physical indicators of flame, simulating a single flare, such as heat transfer from a gas torch, luminosity (brightness) in the ultraviolet, visible and infrared spectra and electrical characteristics of the torch. It was indicated the feasibility of using the measurement of electrical characteristics of the gas flare as a parameter to control the process (namely the difference of natural potentials), such as postcombustion, due to efficiency determination, the lack of significant impact on the accuracy of measurement of excess temperature and the degree of dust.

Testing of this method on a high-temperature model showed compliance with the registered electrical characteristics of the system “blowing lance - metal bath-body of the unit” of a number of processes that occur during the blowing in the volume of the unit. By comparing the obtained measured indicators with the experimentally established indicators according to the parameters of technology and limit values, it is possible to draw conclusions, depending on their deviation, about the necessity, for example, change the position of the lance to achieve the desired result or perform other corrective operations and achieve the best technological results of the metal smelting.

Keywords: physical modeling, oxygen conversion, flue gas afterburner, physical characteristics of the torch, the difference of natural electric potentials in the oxygen converter.

References

1. A temperature prediction model of converters based on gas analysis/ Wu Ling, Yang Ningchuan, You Xiangmi, Xing Kaixin , Hu Yan. Procedia Earth and Planetary Science. 2011. 2(1), P. 14 – 19

2. M. K. Shin, S. D. Lee, S. H. Joo, J. K. Yoon. A Numerical Study on the Combustion Phenomena Occurring at the Post Combustion Stage in Bath type Smelting Reduction Furnace. *ISIJ International*. 1993. Vol. 33, No. 3. P.369 - 375.
3. Bogushevskiy V, Sharbatian M, Sukhenko V. System for the BOF process control. *The advanced Science open access Journal*. Vol.5. P. 23-27
4. Specific features of the diffusion flame in the transition from the laminar to turbulent regime of combustion/ V. S. Kozulin, V. L. Krainev, V. L. Krainev, P. K. Tretyakov, A. V. Tupikin. *Combustion Explosion and Shock Waves*. 2014. 50(6). P.742-744
5. Golub V. V., Volodin V. V. and Krivokorytov M. S. Acoustic control of the structure of the gas torch. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. Vol.774. P.1-8
6. Masataka Arai, Hiroyuki Sato, Kenji Amagai. Gravity effects on stability and flickering motion of diffusion flames. *Combustion and Flame*. 2009. Vol.118(1-2). P. 293-300

**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ «МІНІМАЛЬНОГО РИЗИКУ»
В ТЕХНІЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ**

Гречаний О.М., Васильченко Т.О., Федоренко С.В.,
Синявський Д.А., Цегельний Є.С.

Запорізький національний університет

Вступ. Складні умови роботи металургійного обладнання, обумовлені динамічними навантаженнями, вимагають особливої уваги при конструюванні їхніх вузлів у сфері надійності та безвідмовної роботи. Окрім забезпечення надійності під час експлуатації складові частини технологічного обладнання мають допускати легке регулювання, а у випадку аварійних поломок, дозволяти виконувати швидку заміну або ремонт окремих вузлів або деталей [1].

Основні виробничі показники прокатного стану, такі як продуктивність та енергоефективність, а також його працездатність в цілому, здебільше залежать від того, наскільки ефективно та якісно працюють всі його виконавчі механізми. В свою чергу цей взаємозв'язок викликає необхідність розробки механізмів приводної частини прокатної кліти таким чином, щоб її конструкція відповідала всім експлуатаційним та сучасним технологічним вимогам.

Основний матеріал. Працездатність клітей стану «1680» в значній мірі залежить від того, наскільки ефективно працює обладнання приводу. Аналіз роботи прокатної лінії в цілому показав, що існуючий рівень динамічних навантажень, характерний для всіх широкоштабових станів, є однією з причин прискорення зношення вузлів та поломок елементів обладнання [2].

З метою підвищення надійності та довговічності шпindelного вузла приводу прокатної кліти стана гарячої прокатки «1680», пропонується перехід з систем змащення бронзових вкладишів та вальниць механізму врівноваження типу «масляний туман» на системи типу – «масло-повітря».

Принцип змащування «масло-повітря» має беззаперечні переваги за змащенням елементів, розподілом витрати, і забезпечує об'ємне надходження масла при інжекції повітря на кожен вальницький вузол обладнання, гарантуючи в

кожній точці змащування точний обсяг, незалежно від протитиску вальниці, атмосферного тиску, температури і в'язкості масла [3].

В ході виконання технологічних операцій в робочу рідину змащування шпindelного пристрою поступають продукти зносу, що може привести до його нестабільної роботи або поломки.

При візуальних методах про чистоту робочої рідини судять по кількості опадів на фільтрах тонкого очищення. Найбільш перспективними є гранулометричні методи, які засновані на підрахунку числа часток, укладених у заданий розмірний інтервал. До них відносяться мікроскопічні (використовується мікроскоп) і мікрофотографічні методи. Їхніми недоліками є необхідність відбору проб рідини з агрегатів, трудомісткість і більший ступінь суб'єктивності [4].

Визначення допустимого значення змісту продуктів зносу у вигляді металевої стружки можна використовувати загальну теорію розпізнавання, яка складає важливий розділ технічної кібернетики і займається розпізнаванням образів будь-якої природи і характеру. Для систем змащення «повітря-масло» не розроблені алгоритми розпізнавання працездатності системи при кількісному забрудненні робочої рідини, тому робота в даному напрямку є актуальною й перспективною.

Алгоритми розпізнавання частково ґрунтуються на діагностичних моделях, які встановлюють зв'язок між станом технічної системи і діагностичними сигналами, що поступають від цих систем.

Найчастіше за все застосовують методи Байеса, для якого потрібен великий об'єм попередньої інформації з складанням діагностичної матриці. Це є основним недоліком методу, так як вимагається заздалегідь провести статистичну обробку даних експлуатації, а, в окремих випадках, поставити і провести спеціальні дослідження, імітуючі несправності об'єктів, що вивчаються. Крім того, цей метод характерний і тим, що відбувається "пригнічення", тобто – ігнорування, рідкісних діагнозів [5].

Інші методи відрізняються від методу Байеса правилами ухвалення рішень. Тут вирішальне правило вибирається виходячи з умов оптимальності. Зокрема, що стосується методу «мінімального ризику», оптимальним є рішення

прийняте з умови мінімуму ризику втрати роботоспроможності об'єктом.

Метод «мінімальних ризиків», як уже було відмічено вище відноситься до статистичних методів та добре описується роботою [5].

При одному діагностичному параметрі x (наприклад, вібрація, температура, вміст продуктів зносу в робочій рідині або мастилі і т.д.) задача полягає в тому, що вибирають значення X_0 параметра X . При $X > X_0$ приймають рішення про зняття обстежуваного об'єкту з експлуатації, а при $X < X_0$ допускають його подальшу роботу.

При такій умові розділення проводять на два класи (диференціальна діагностика або дихотомія): D_1 - справний стан об'єкту, D_2 - несправний стан (наявність дефекту) (рис.1) [5].

По отриманому значенню X_0 визначають вірогідність помилкової тривоги $P(H_{21})$ і вірогідність пропуску дефекта $P(H_{12})$.

Ймовірність помилкової тривоги:

$$P(H_{21}) = P_1 \int_{-\infty}^{x_0} f\left(\frac{X}{D_1}\right) dx, \quad (1)$$

де $P_1 = P(D_1)$ – апіорна вірогідність діагнозу D_1 (прийнято вважати відомою на підставі попередніх статистичних даних).

Ймовірність пропуску дефекту:

$$P(H_{12}) = P_2 \int_{-\infty}^{x_0} f\left(\frac{X}{D_2}\right) dx, \quad (2)$$

За отриманими значеннями будують графічні образи імовірності помилкової тривоги і пропуску дефекта рис. 1.

Перехрещення графіків $f(x/D_1)$ та $f(x/D_2)$ вказує на граничний вміст залізовмісних домішок при досягненню якого варто зупинити об'єкт для виконання профілактичних або ремонтних робіт.

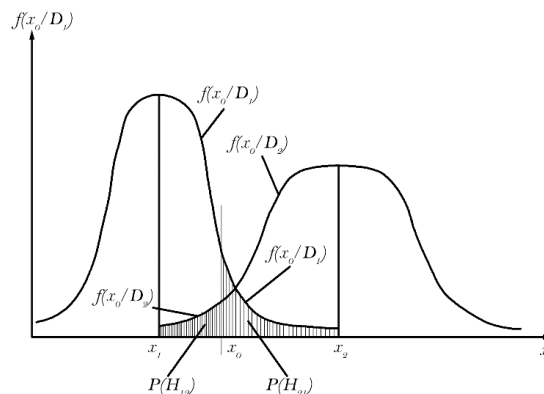


Рисунок 1 – Графічні образи імовірності помилкової тривоги і пропуску дефекта при щільності розподілу вмісту заліза в робочій рідині для справного D1 і не справного D2 станів об'єкта

Висновки. Таким чином використання теорії розпізнавання, а саме методу мінімальних ризиків, дозволяє доволі точно встановлювати граничні величини залізовмісних домішок в робочій рідині системи змащення типу «масло-повітря» не обтяжуючи процес громіздкими формулами та розрахунками.

Література

1. Гречаний О. М. Обґрунтування вибору технічних параметрів гільйотинних ножиць прокатного стану. *Металургія*. 2017. № 2. С. 126–130..
2. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680. Монография. / [В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путники та ін.]. – Днепропетровск: ИМА–пресс, 2011. – 184 с.
3. Смазка «воздух - масло» для сектора стали и алюминия. www.dropsa.com.
URL: <https://www.dropsa.com/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/RU/IDPagina/2401>
(дата звернення: 16.02.2022).
4. Сырицын Т. А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов. / Т. А. Сырицын. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
5. Техническая диагностика. Контроль и прогнозирование. Монография / А. Я.Жук, Г. П. Малышев, Н. К. Желябина, О. М. Клевцов. – Запорожье: ЗГИА, 2008. – 500 с.

USING THE METHOD OF "MINIMAL RISK" IN TECHNICAL DIAGNOSTICS

Hrechanyi Oleksii, Vasilchenko Tatiana, Fedorenko Stepan,
Syniavskiy Dmytro, Tsehelnii Yevhenii

Abstract. As a lubrication of the spindle drive unit of the rolling stand It is proposed to switch to the oil-air lubrication system. The advantages of "oil-air" lubrication systems are indicated. The effect of iron-containing impurities on the performance of the lubrication system has been established. The methods of recognition theory for determining the boundary value of iron-containing additives in the working fluid of the lubrication system are analyzed. It has been established that for these purposes the "minimal risk" method is optimal, which, unlike the Bayesian method, is less labor-intensive. An example of the practical application of using the "minimal risk" method to determine the permissible content of iron chips in the working fluid of the "oil-air" lubrication system is given.

Keywords: technical diagnostics, method of "minimal risks".

References

1. Hrechanyi O. M. Substantiation of the choice of technical parameters of the guillotine shears of the rolling mill. Metallurgy. 2017. No. 2. S. 126-130.
2. Dynamic processes in the stands of the broadband camp 1680. Monograph. / [B. V. Verenev, VI Bolshakov, A. Yu. Putnoki and others]. - Dnepropetrovsk: IMA-press, 2011. - 184 p.
3. Air-oil lubrication for the steel and aluminum sectors. www.dropsa.com. URL: <https://www.dropsa.com/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/RU/IDPagina/2401> (access date: 16.02.2022).
4. Syritysn TA Operation and reliability of hydraulic and pneumatic drives: A textbook for university students. / TA Syritysn. - М.: Машиностроение, 1990. - 248 с.
5. Technical diagnostics. Monitoring and forecasting. Monograph / A. Ya. Zhuk, G.P. Malyshev, N.K. Zhelyabina, O.Мю Klevtsov. - Zaporozhye: ZGIA, 2008. - 500 p.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.004

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ГУБЧАТИХ ЛІГАТУР

Гришин О.М., Надточій А.А., Петренко В.О., Киричок В.С.

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

Вступ. Переробка мінеральної сировини та техногенних відходів за допомогою твердофазного відновлення дозволяє збільшити вилучення легуючих елементів, регулювати властивості кінцевого продукту та тим самим значно скоротити матеріальні та енергетичні витрати. Метою даного дослідження є аналіз фізико-хімічних закономірностей процесу відновлення залізохромистої шихти, що забезпечують зниження вмісту вуглецю у твердому продукті.

Основний матеріал. У технічній літературі досить детально проаналізовано різноманітні технологічні аспекти отримання різних губчастих лігатур (напр. [1]). Для комплексного вирішення поставленого завдання необхідно визначити фізико-хімічні умови, за допомогою яких можна регулювати вміст вуглецю в кінцевому продукті твердофазного відновлення шихти. У зв'язку з цим є перспективними два напрямки пошуку розв'язання задачі: оптимізація параметрів вуглецевотермічного відновлення складної шихти за допомогою факторного аналізу, а також оцінка термодинамічних і кінетичних аспектів процесу залучення карбідної фази у відновлення. Виконані нами дослідження дозволяють вибрати оптимальні умови, які забезпечать суттєве зниження вуглецю в кінцевому продукті, використовуючи отримане рівняння регресії. Однак ці напрямки обмежені температурними рамками твердофазного відновлення, що не дає змоги знизити вуглець менш 2,5%.

Водночас залучення карбідів у процес відновлення є ефективним способом зниження вуглецю. Аналіз діаграми Cr-O-C дозволяє визначити термодинамічні параметри участі карбідів у процесі відновлення, області сталого існування різних фаз, температурні межі. Слід також враховувати кінетичні особливості участі карбідів у процесах відновлення та впливу $Fe_{мет}$. Отримані експериментальні дані [2] свідчать про те, що характер впливу

добавок $Fe_{мет}$ на кінетику відновлення Cr_2O_3 вільним вуглецем і карбідом Cr_3C_2 прямо протилежний. Значне прискорення процесу в останньому випадку вказує на додаткові можливості твердого продукту як за рахунок розведення його залізом, так і шляхом посиленого залучення карбідної фази відновлення оксиду хрому.

Введення $Fe_{мет}$ у шихту суттєво змінює кінетичну картину процесу. Перш за все, привертає увагу той факт, що присутність $Fe_{мет}$ забезпечує відновлення Cr_2O_3 карбідом Cr_3C_2 вже при температурі 1473 К (рис. 1).

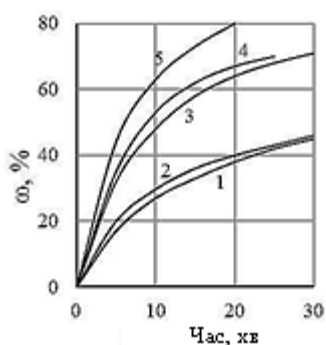


Рисунок 1 – Кінетика відновлення Cr_2O_3 карбідом Cr_3C_2 без добавок (2,4) та у присутності металевого заліза (1, 3, 5) при атомному співвідношенні $Fe/Cr=1:1$ – 1473К; 2,3 - 1573К; 4,5 – 1673К

Підйом до 1573 К форсував процес, а введення заліза збільшувало швидкість у $\sim 1,3$ разів. Ступінь відновлення зразка, що досягається за 0,5 години, склала 70 %. Подібні зрушення у присутності заліза мали місце і за 1673 К, а ступінь відновлення протягом 20 хв досягала 80 %. Такий глибокий розвиток процесу при 1573 і 1673 К свідчить про появу твердого продукту на базі нижчого карбіду хрому $Cr_{23}C_6$.

Особливості впливу $Fe_{мет}$ на кінетику відновлення Cr_2O_3 вуглецем і зміни механізму цього впливу наочно ілюструється рисунком 2.

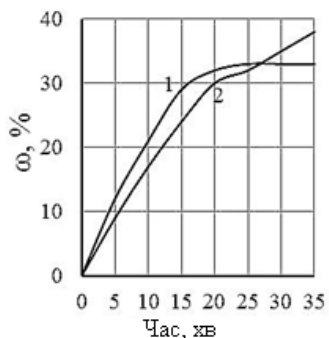


Рисунок 2 – Кінетика відновлення Cr_2O_3 графітом при 1573 К при атомному співвідношенні $Fe/Cr=1$ та $C/O=0,5$: 1 – без $Fe_{мет}$; 2 – з добавкою $Fe_{мет}$

Введення у систему заліза знижує активність хрому за допомогою його розчинення у залізі, що у кінцевому результаті знижує вуглець у системі. Отримані термодинамічні дані однозначно свідчать про значне зниження вуглецю за рахунок введення у відновлення карбідів.

З урахуванням викладеного проаналізовано ймовірнісний механізм впливу $Fe_{мет}$ на кінетику вуглецевотермічного відновлення Cr_2O_3 . Вступ Cr_3C_2 у відновлення Cr_2O_3 змінює характер впливу $Fe_{мет}$ на кінетику процесу. Перекристалізація Cr_3C_2 у Cr_7C_3 відкриває можливість утворення змішаного карбиду $(Cr,Fe)_7C_3$. Останній можна розглядати як практично ідеальний розчин хрому і заліза в решітці заміщення спільного карбиду [5]. Утворення такого розчину сприяє розвитку реакцій



внаслідок зменшення активності карбідної фази, що з'являється. Тому прискорюється реакція $1/3Cr_2O_3 + 9/5Cr_3C_2 = 213/15Cr_7C_3 + CO$, що описує відновлення Cr_2O_3 в цілому, але із заміною Cr_7C_3 на $(Cr,Fe)_7C_3$.

Висновок. Найбільш ефективним методом зниження вуглецю може бути доробка продукту твердофазного відновлення за допомогою окисного рафінування [2] або шляхом використання отриманого продукту як твердий відновник [3]. Отже, технологічно процес складається з двох етапів: отримання вуглецевого напівпродукту та подальша його доробка.

Література

1. Григорьев С.М., Петрищев А.С., Ковалев А.М. Губчатые и плавные лигатуры из рудного и техногенного сырья (термодинамика, фазовые и структурные превращения, технология получения и использования, повышение степени утилизации, экономика). Запорожье: Запорожский национальный университет, 2013. 306с. ISBN978-966-599-434-3
2. Симонов В.К., Гришин А.М. Термодинамические предпосылки окислительного обезуглероживания карбидов хрома в твердых фазах. ЭлектроМеталлургия. 2016. №8. С.16-20.
3. Гришин А.М., Иващенко В.П., Щеглова И.С., Дзюзюра Р.С. Термодинамические закономерности получения губчатых лигатур с низким содержанием углерода. ЭлектроМеталлургия. 2018. №9. С.16-23.
4. Гришин О.М., Надточій А.А. Вплив добавок заліза на кінетику відновлення оксиду

хрому вуглецем і карбідами. Вчені записки ТНУ ім. В.І.Вернадського. Серія Технічні науки. 2019. Т. 30(69). №6. Ч.2. С.24-29.

DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/05>

5. Гордиенко С.П., Маслюк В.А. Компьютерное моделирование фазовых превращений Cr_3C_2 в контакте с железом при нагреве. Порошковая металлургия. 1996. №42. С.69-73.

PHYSICO-CHEMICAL BASIS FOR OBTAINING LOW-CARBON SPONGE ALLOYS

Grishin Oleksandr, Nadtochij Anzhela, Petrenko Vitaliy, Kyrychok Vladyslav

Abstract. The alloying materials obtained by the technology of solid-phase reduction have higher physical and chemical parameters in comparison with traditional ferroalloys. A thermodynamic analysis of the Cr-O-C system in the temperature range of 1273-1673K was carried out, which makes it possible to clarify the possible ways of developing carbothermic reduction of Cr_2O_3 with the formation of stable and unstable solid products at various C/O ratios in the charge. The thermodynamic and structural shifts caused by the presence of iron in the reacting system are analyzed. The available possibilities for reducing the carbon concentration in solid reduction products are considered. A regression equation was obtained using the factor analysis method, which determines the influence of various parameters on the carbon content in the product.

The kinetics of reduction of Cr_2O_3 in the presence of iron has been experimentally studied. The features of the effect of iron introduced into the charge mixture in the metallic form and in the form of oxide on the development of the process at different temperatures and at individual stages of Cr_2O_3 reduction are revealed. Ideas about the mechanism of the influence of Fe on the rate regularities and the depth of chromium reduction from the oxide phase are developed.

Keywords: solid-phase reduction, spongy alloying materials, regression equation, iron, kinetics.

References

1. Grigor'ev S.M., Petrishchev A.S., Kovalev A.M. Gubchatye i plavlenye ligatury iz rudnogo i tekhnogenного syr'ya (termodinamika, fazovye i strukturnye prevrashcheniya, tekhnologiya polucheniya i ispol'zovaniya, povyshenie stepeni utilizacii, ekonomika). Zaporozh'e: Zaporozhskij nacional'nyj universitet, 2013. 306s.ISBN978-966-599-434-3

2. Simonov V.K., Grishin A.M. Termodinamicheskie predposylki okislitel'nogo obezuglerozhivaniya karbidov hroma v tverdyh fazah. ElektroMetallurgiya. 2016. №8. S.16-20.
3. Grishin A.M., Ivashchenko V.P., Shcheglova I.S., Dzyuzyura R.S. Termodinamicheskie zakonomernosti polucheniya gubchatykh ligatur s nizkim sodержaniem ugleroda. ElektroMetallurgiya. 2018. №9. S.16-23.
4. Grishin O.M., Nadtochij A.A. Vpliv dobavok zaliza na kinetiku vidnovlennya oksidu hromu vuglecom i karbidami. Vcheni zapiski TNU im. V.I.Vernads'kogo. Seriya Tekhnichni nauki. 2019. T. 30(69). № 6. CH.2. S.24-29. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/05>.
5. Gordienko S.P., Maslyuk V.A. Komp'yuternoe modelirovanie fazovykh prevrashchenij Cr_5C_2 v kontakte s zhelezom pri nagreve. Poroshkovaya metallurgiya. 1996. №42. S.69-73.

МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ЛІТІЄВИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

Дзензерський В.О., Бурилов С.В., Скосар В.Ю., Жулай Ю.О., Ворошилов О.С.

Інститут транспортних систем і технологій НАН України

Сьогодення існують технології переробки літєвих джерел струму, але вони поки ще не є задовільними та економічно ефективними. Зазвичай, підприємство з переробки витягує виключно літій з акумуляторного брухту, або такі метали, як кобальт. Не існує універсальної технології переробки великої маси літєвих акумуляторів і батарейок. В Європі на сьогоднішній день переробляється лише 5% літєвих акумуляторів, а в Україні вони зовсім не переробляються, що призводить до високих ризиків забруднення навколишнього середовища [1; 2]. Літєві джерела струму містять Li, а також інші цінні метали: Co, Ni, Mn, Fe, Cu, Al. Ці речовини можливо знову використовувати для виробництва літєвих джерел струму. Тому дослідження в галузі переробки та утилізації літєвих джерел струму є дуже актуальними. Мета роботи: на основі аналізу науково-технічних публікацій дати загальну характеристику сучасних технологій переробки літєвих джерел струму.

Відпрацьовані джерела струму піддають розряду для запобігання вибухів і пожеж. Після цього джерела струму піддають попередньої обробці для вилучення електродів, активних мас, струмовідводів, сепараторів, електроліту. Потім, методами сепарації матеріалів по магнітним властивостям, або по питомої масі розділяють активні маси від пластику і Cu, Al фольги. Активні маси піддають одному з методів переробки: пірометалургійному; гідрометалургійному; електрохімічної екстракції. На виході отримують Li, Co, Ni, Mn [3-5]. Найчастіше використовуваний метод розряду відпрацьованих акумуляторів – занурення в розчин NaCl. Ведуться дослідження швидкості розряду та швидкості корозії в інших струмопровідних рідинах. Основні методи виділення активних матеріалів у процесі попередньої обробки акумуляторів: механічне дроблення; ультразвукова обробка; обробка розчином; прожарювання. Дроблення виконують у молоткових млинах, лопатевих дробарках. Після подрібнення активний матеріал та інші речовини поділяють сепарацією. Наприклад, після дроблення акумуляторів у лопатевих

дробарках подрібнені шматки були класифіковані на чотири розмірні групи шляхом сухого просіювання. Великі шматки пластику, Al, Cu та полімери були відокремлені від матеріалів катода та анода розміром 0,075 мм. LiCoO₂ та графіт розділили флотацією [3]. Другий приклад: літєві батареї спочатку розряджали на розрядній установці з програмним забезпеченням, а потім проводили механічне дроблення і обробку розчином при pH~10-11 з одночасним продувкою повітрям для зниження концентрації H₂. Отриманий скраб очищали, і фільтрували рідку фракцію, із котрої за допомогою NaCO₃ вилучали товарний LiCO₃ [4].

Дроблення є найпоширенішим методом розділення літєвих акумуляторів. Проте воно має недоліки: сильний шум, викиди пилу та шкідливих газів [3]. Попередня обробка розчинником використовує розчини та розчинники для відділення активних матеріалів від Al, Cu фольги. Цей метод видаляє добавку сполучного матеріалу, який посилював контакт фольги з активними матеріалами. Відомий метод полягає в тому, щоб вставити електроди в органічний розчинник (N-метил-2-піролідін (NMP)) при 100°C. Недоліки: у більшості акумуляторів використовується сполучний матеріал PVDF для кріплення активного матеріалу, але в деяких використовують інші сполучні, які вимагають підбору відповідного органічного розчинника. Крім того, цей метод вимагає використання гарячих органічних розчинників близько 100°C, що створює шкідливі відходи в навколишнє середовище [3]. Обробка прожарюванням відбувається в інтервалі температур 150-500°C (наприклад, в атмосфері азоту) для видалення карбону та органічного матеріалу. Крім того, при температурі 250-350°C сполучний матеріал PVDF видаляється, тим самим зменшуючи прилипання активних матеріалів на Al, Cu фользі. Недоліки: обробка прожарюванням вимагає дорогого обладнання, є енергоємним і може виділяти токсичні гази [3].

Далі розглянемо методи вилучення літію та інших металів: пірометалургія, гідрометалургія, та електрохімічна екстракція. Метод електрохімічної екстракції відокремлює літій з використанням літій-селективної трансмісивної мембрани. Він найбільш перспективний, проте ефективність методу доведена тільки в лабораторних умовах; необхідні

додаткові дослідження для промислового застосування [3]. Пірометалургія використовує високі температури для видалення органічних матеріалів та викликає реакції на електродах, які роблять літій розчинним у воді. Активні матеріали подрібнюють на порошок і піддають прожарюванню. При температурах вище 700 °С оксид металевого літію електродів реагує з графітом з утворенням Li_2CO_3 та оксидів металів. Прожарений порошок потім піддається вилуговуванню водою. Після фільтрації води нерозчинений оксид металу та водний розчин поділяють, щоб отримати розчин Li_2CO_3 , а потім воду випарюють. Цей метод може обробляти велику кількість літєвих акумуляторів, а процес простий. Наприклад, із попередньо обробленої літєвої батареї прожарювали активні матеріали в азоті при 1000 °С протягом 30 хв. Прожарений порошок занурювали у воду для вилучення Li і Co з використанням мокрої магнітної сепарації [4]. Другий приклад: скраб після обробки літєвих батарейок промивали, сушили в апараті термічної дегідратації і піддавали магнітної сепарації. Рідку фракцію обробляли аміаком до pH~12, тоді з розчину осідають $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Cr}(\text{OH})_3$, $\text{Ga}(\text{OH})_3$ [4]. Недолік пірометалургійного методу полягає в тому, що він вимагає складного обладнання та викликає виділення шкідливих газів [3]. Гідрометалургія є найбільш використовуваним методом вилучення Li. Суть у тому, що іонізують Li у активних матеріалах, оброблених кислотами та основами з подальшим вилуговуванням з отриманням Li^+ розчинів. Використовують кислоти H_2SO_4 , HCl , HNO_3 та H_2O_2 відновник. Однак використання цих кислот може призвести до виділення шкідливих газів Cl_2 і NO_x . Тому розглядається можливість використання слабких кислот – щавлевої чи лимонної. Далі з'єднання Li отримують за допомогою осадження, екстракцією розчинником або селективною адсорбцією. Матеріали з низькою розчинністю, такі як гідроксиди перехідних металів, випадають у осад. Зазвичай використовуються такі осадники - NaOH , Na_3PO_4 та Na_2CO_3 з подальшою екстракцією літію у вигляді Li_2CO_3 чи Li_3PO_4 . Цим шляхом можна отримати також з'єднання Co, Ni і Mn. Наприклад, з виділеного електродного матеріалу $\text{LiNi}_{0,3}\text{Mn}_{0,3}\text{Co}_{0,3}\text{O}_2$ вилуговували літій 2М мурашиною кислотою при 70 °С і H_2O_2 , з подальшим збільшенням pH при використанні NaOH та розчинів NH_4OH . Підвищення pH

призвело до осадження Co, Mn і Ni у вигляді гідроксидів, які потім поділили. Насичений Na_2CO_3 розчин додавали для отримання Li_2CO_3 . Для екстракції розчинником використовується двофазна система виділення Li з катодного матеріалу. Метод використовує відносну розчинність для відокремлення іонів від полярних та неполярних рідин. Неполарні екстрагенти переважно використовуються для поділу Co, Ni, Mn. Селективна адсорбція поділяє Li за допомогою іонно-літійового сита, яке являє собою неорганічний адсорбент. Оскільки Li є найменшим іоном металу, літій-іон сита використовують вакансію, щоб пропустити лише іони Li. Адсорбоване літійом іонно-літійове сито відокремлюють та розчиняють у HCl. Потім додають NaOH та Na_2CO_3 для отримання Li_2CO_3 . Гідрометалургійний метод гарантує високу швидкість відновлення і не вимагає додаткового устаткування, що робить його дуже популярним у лабораторії, а також придатним до промисловості. Однак, цей метод вимагає великого обсягу кислоти та основи для вилуговування, що може призвести до додаткових витрат на хімікати [3].

За результатами нашого аналізу приведемо загальну схему переробки літійових акумуляторів і батарейок і отримання вторинних металів (рис. 1).

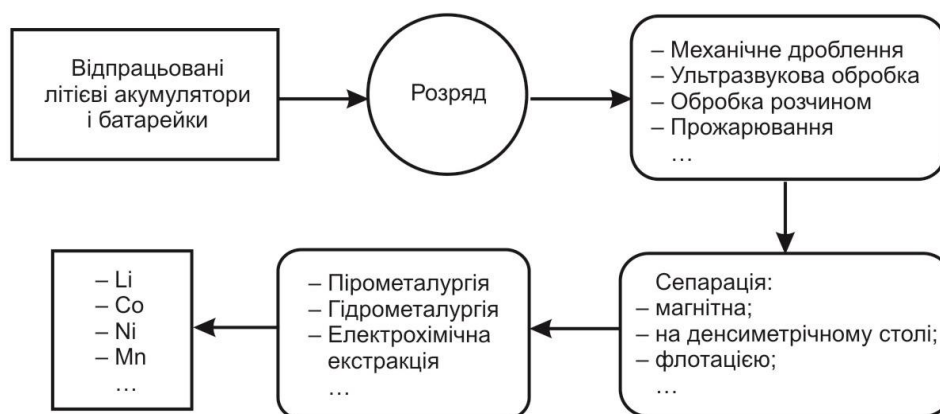


Рисунок 1 – Схема переробки літійових джерел струму

Вказані технології дозволяють отримати вторинний Li 98-99,97% чистоти, а також Co, Ni, Mn які можливо використовувати для виробництва літійових джерел струму.

Література

1. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. Gavin Harper et. al. Nature. Vol 575, 7 November 2019. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>.

2. Костюченко А. Электромобили наступают: Что будет с использованными батареями? (06.05.2021). Режим доступа:

https://cfts.org.ua/articles/elektromobili_nastupayut_chno_budet_s_ispolzovannymi_batareyami_1802.

3. Hyuntae Bae and Youngsik Kim. Technologies of lithium recycling from waste lithium ion batteries: a review. *Materials Advances*, 2021. <https://doi.org/10.1039/d1ma00216c>.

4. Пат. № 2676806 РФ. МПК С22В 26/12, 3/04, 7/00 (2006.01), Н01М 6/52, 10/54 (2006.01). Способ утилизации отработанных литиевых источников тока. А.Н. Евдокимов, Л.В. Нестеров. - № 2017139099, 10.10.2017. Опубл. 11.01.2019. Бюл.№2.

5. Lithium ion battery recycling using high-intensity ultrasonication. Chunhong Lei et. al. *Green Chem.*, 2021, 23, 4710. June 2021. <https://doi.org/10.1039/d1gc01623g>.

РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНІ МЕТАЛИ У ВАЛКОВИХ ЧАВУНАХ

Іванова Л.Х., Колотило Є.В., Мирошниченко Г.О.

Український державний університет науки і технологій

Вступ. Кафедра ливарного виробництва Українського державного університету науки і технологій понад шістдесят років займається дослідженням впливу модифікування рідкісноземельними металами на якість литих чавунних виливків [1-6]. Одним з важливих питань для теорії та практики виробництва чавуну з кулястим графітом є дослідження впливу величини присадки на параметри кристалізації чавуну. Визначення ролі модифікатора в процесі модифікування валкового чавуну дозволить створити найбільш ефективні модифікатори і розробити раціональну технологію отримання високоміцного чавуну.

Основний матеріал. Проведено дослідження впливу величини присадки трьох індивідуальних рідкісноземельних металів з вмістом домішок, %: лантану (0,39%), церію (0,41%) та ітрію (0,24%) на параметри кристалізації валкового чавуну хімічного складу, %: вуглець 3,29; кремній 1,81; марганець 0,44; фосфор 0,07; сірка 0,026; залізо решта.

Дослідження проводили використовуючи диференціальну схему вимірювання температур охолодження з застосуванням приладу ФПК-59. Після одночасного розплавлення, нагрівання до температури 1450 °С та витримки розплавів протягом 10 хв для вирівнювання температури здійснювали примусове модифікування розплаву рідкісноземельним металом та одночасний запис трьох кривих охолодження: диференціальну та дві абсолютні (вихідного та модифікованого сплавів). Диференціальна крива визначала різницю температур кристалізації первинного аустеніту ($\Delta T_{\text{поч. аус.}}$, °С) та евтектики ($\Delta T_{\text{поч. евт.}}$, °С) в модифікованому та вихідному сплавах, а абсолютні криві охолодження – зміни тривалості (Δt евт., с) цих перетворень.

Всього було проведено три серії експериментів: в першій серії в якості модифікатора застосовували металевий лантан – присаджували в розплав від 0,1 до 1% , у другій – церій, а у третій – ітрію у таких само кількостях.

Узагальнені дані про вплив дослідних рідкісноземельних металів на параметри евтектичної кристалізації валкового чавуну наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні результати проведених досліджень

Ме-тал	Присадка, %	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
La	Залишковий вміст, %	0,06	0,09	0,13	0,15	0,22	0,27	0,28	0,31	0,36	0,43
	$\Delta T_{\text{поч. евт.}}$, °C	9	13	17	15	-10	-18	-22	-24	-24	-22
	Δt евт., с	-15	-25	-32	-52	-33	5	15	35	50	48
	$\Delta T_{\text{поч. аус.}}$, °C	1,2	2,5	5	7	14	14	12	14	10	10
Ce	Залишковий вміст, %	0,05	0,09	0,12	0,15	0,20	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35
	$\Delta T_{\text{поч. евт.}}$, °C	7	11	15	14	-18	-24	-31	-33	-33	-29
	Δt евт., с	-8	-19	-30	-26	3	11	26	60	58	40
	$\Delta T_{\text{поч. аус.}}$, °C	1,5	3	5	6	10	11	9	14	13	14
Y	Залишковий вміст, %	0,05	0,07	0,12	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,35	0,41
	$\Delta T_{\text{поч. евт.}}$, °C	3	7	-21	-29	-34	-33	-28	-26	-20	-20
	Δt евт., с	-17	-34	-10	33	63	62	52	45	42	43
	$\Delta T_{\text{поч. аус.}}$, °C	1	2	4	7	12	11	14	13	13	15

В чавуні, обробленому лантаном, був одержаний залишковий його вміст від 0,06 до 0,43%, в церієвому – від 0,05 до 0,35%, в ітрієвому – від 0,05 до 0,41%. Коефіцієнт засвоєння модифікаторів був від 35 до 50%.

В результаті проведених досліджень було показано, що індивідуальна дія дослідних рідкісноземельних металів на параметри кристалізації була аналогічною, але досягалося це різними їх кількостями. Залежно від залишкового вмісту рідкісноземельного металу змінювався характер його дії на кристалізацію чавуну.

Модифікатори у кількостях, що не викликали сфероїдизації графіту (до 0,18% лантану, 0,16% церію та 0,09% ітрію), підвищували схильність розплаву до твердіння за стабільною системою, підвищували температуру початку евтектичної кристалізації. За цього значно скорочувалася тривалість перетворення. Усі ці особливості впливали на форму графітних включень, яка змінювалася від грубої пластичастої до вермикулярної. Такий вплив малих присадок рідкісноземельних металів був пов'язаний, мабуть, з їх здатністю утворювати стійкі хімічні з'єднання з різними домішками чавуну і таким чином рафінувати розплав.

Подальше збільшення кількості модифікатора (понад 0,12% ітрію, 0,20% церію та 0,22% лантану) викликало зниження температури початку евтектичної кристалізації чавуну і зміну форми графітних включень від дрібно пластичастої, вермикулярної до кулястої з фактором форми 0,8. Крім того, збільшувалася тривалість евтектичного перетворення, яке мало максимальне значення для ітрієвого чавуну при присадці 0,4%, а для церієвого – 0,5%, а для лантанового – 0,6%. Критичні концентрації модифікаторів забезпечували одержання у валковому чавуні графіту кулястої форми. Збільшення вмісту модифікатора вище за критичні концентрації: 0,17% ітрію, 0,20% церію та 0,27% лантану декілька підвищувало температуру початку евтектичної кристалізації, зменшувало її тривалість та призводили до виділення в структурі чавуну цементиту.

Таким чином, за подібного впливу лантану, церію та ітрію на параметри кристалізації критичні концентрації їх, які призводили до найбільших змін параметрів кристалізації та структурних змін були різними.

Вказані індивідуальні особливості впливу таких рідкісноземельних металів як лантан, церій та ітрій повинні враховуватися при виборі складів комплексних модифікаторів для валкових чавунів. Для цього необхідні також додаткові дані про сумісний вплив дослідних рідкісноземельних металів.

Наприклад, якщо прийняти, що вплив ітрію та церію однаковий, тоді сумарна їх концентрація, що забезпечує максимальне переохолодження при евтектичній кристалізації, повинна бути рівною $\Sigma PЗМ = \%Y + (1,5 - 1,6)\% Ce$.

Висновки. 1. Встановлено подібний впливу дослідних рідкісноземельних

металів на параметри кристалізації валкового чавуну та критичні їх концентрації, які призводили до найбільших змін параметрів кристалізації та утворення кулястих графітних включень в структурах модифікованих чавунів.

2. За модифікування чавунного розплаву з метою одержання кулястого графіту ітрію необхідно додавати в 1,5-1,6 разів менше, ніж церію або лантану.

Література

1. Кривошеев А.Е., Белай Г.Е. О кристаллизации чугунов с шаровидным графитом/ В сб. Высокопрочный чугун: Киев: Гостехиздат УССР, 1964. С.7-14.
2. Белай Г.Е. Исследование влияния модифицирования на кристаллизацию чугуна, структуру и свойства листопрокатных валков: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 05.323/ Днепрпетр. металлург. ин-т.– Днепрпетровск, 1967.– 23 с.
3. Колотило Е.В. Исследование и усовершенствование процессов производства листопрокатных валков из модифицированных чугунов: Автореф. дис. ... кандидата техн. наук: 05.323/ Днепрпетр. металлург. ин-т.– Днепрпетровск, 1967.– 23 с.
4. Иванова 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. Иванова Л.Х. Редкоземельные металлы в валковых чугунах/ Л.Х. Иванова, Л.А. Шапран, А.Ю. Хитько, В.И. Шляпин // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Том 13. Дніпропетровськ: «Системні технології», 2010.– С. 31-44.
6. Иванова Л.Х. Отримання і застосування комплексних модифікаторів з рідкісноземельними металами / Л.Х. Иванова, Є.В. Колотило, О.Ю. Хитько, В.О. Терехін // Метал і лиття України, т.28, 2020, №1(320), С.30-33.

RARE EARTH METALS IN ROLLED CAST IRON

Ivanova Lyudmyla, Kolotilo Yevhen, Miroshnichenko Hanna

Abstract. The effect of the additive value of three rare earth metals individually (lanthanum, cerium, and yttrium) on the crystallization parameters of cast iron was studied. The study was carried out using a differential scheme for measuring cooling temperatures using the ФПК -59 device. As a result of the conducted studies, a similar effect of experimental rare earth metals on the crystallization parameters of rolled cast iron was shown. Additives of rare earth metals, which led to the greatest changes in the crystallization parameters and the

formation of spherical graphite inclusions in the structures of modified cast irons, were different. When modifying cast iron melt to produce spherical graphite, yttrium must be added less than cerium or lanthanum.

Keywords: rolled cast iron, critical concentration, spherical graphite, crystallization parameter, rare earth metal.

References

1. Krivosheyev A.Ye. O kristalizatsii chugunov s sharovidnym grafitom/ A.Ye. Krivosheyev, G.Ye. Belay // Vysokoprochnyy chugun.– Kiyev: Gostekhizdat USSR, 1964.– S.7-14.
2. Belay G.Ye. Issledovaniye vliyaniya modifitsirovaniya na kristalizatsiyu chuguna, strukturu i svoystva listoprokatnykh valkov / G.Ye. Belay: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.323/ Dnepropetr. metallurg. in–t.– Dnepropetrovsk, 1967.– 23 s.
3. Kolotilo Ye.V. Issledovaniye i usovershenstvovaniye protsessov proizvodstva listoprokatnykh valkov iz modifitsirovannykh chugunov / Ye.V. Kolotilo: Avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk: 05.16.04/ Dnepropetr. metallurg. in–t.– Dnepropetrovsk, 1967.– 23 s.
4. Ivanova L.Kh. Teoretichní osnovi ta praktichní metodi oderzhannya litikh prokatnikh valkív íz kompleksnomodifíkovanykh chavunív / L.Kh. Ivanova: Avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.16.04/ Nats. metalurg. akad. Ukraini. – Dnípropetrovsk, 2008. – 35 s.
5. Ivanova L.Kh. Redkozemelnyye metally v valkovykh chugunakh / L.Kh. Ivanova, L.A. Shapran, A.Yu. Khitko, V.I. Shlyapin // Suchasni problemy metalurhiyi. Naukovi pratsi. Tom 13. Dnipropetrovsk: «Systemni tekhnolohiyi», 2010, S. 31-44.
6. Ivanova L.Kh. Otrimannya i zastosuvannya kompleksnikh modifíkatorív z rídkísnozemelnimi metalami / L.Kh. Ivanova, E.V. Kolotilo, O.Yu. Khitko, V.O. Terekhín // Metal i littya Ukraini, t.28, 2020, №1 (320), S.30-33.

ПРО СТІЙКІСТЬ ДО АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ХРОМОМАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Ковзель М.А., Парусов Е.В.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (Україна)

Вступ. Підвищення терміну експлуатації складно легованих сплавів які піддаються абразивному зношуванню, належить до актуальних питань сучасного матеріалознавства. Вирішення існуючої проблеми пов'язано із поліпшенням загального рівня властивостей легованих сплавів, зокрема високохромистих та хромонікелевих (сплави типу «нікорин»).

Наразі зазначені сплави знайшли широке практичне застосування в промисловості. Готові металовироби у більшості випадків працюють в умовах абразивного і ударно-абразивного зношування, а також в умовах тертя як за кімнатної так і за підвищеної температур. Такі сплави використовують для виготовлення прокатних валків, плит броньового захисту укриттів, лопаток дробометних апаратів, мелючих шарів, а також інструменту гарячого деформування (оправок для прошивання труб).

Стійкість до зношування високохромистих та хромонікелевих сплавів визначається кількістю, розмірами, морфологією, мікротвердістю евтектичних і вторинних карбідів, а також металевої матриці. Останні наукові дослідження довели, що у якості альтернативного матеріалу, для експлуатації у складних умовах, можливо застосовувати хромомарганцеві сплави (чавуни), які характеризуються достатнім комплексом властивостей за значно меншої собівартості їх виготовлення [1, 2]. Керуючи процесами структуроутворення за рахунок визначення раціональних систем легування та параметрів остаточного термічного оброблення, стає можливим цілеспрямовано впливати на поліпшення заданого рівня властивостей хромомарганцевих сплавів. Очевидно, що властивості легованих залізовуглецевих сплавів формуються безпосередньо після проведення остаточної термічної обробки, але в цьому контексті, стан матеріалу після кристалізації виливків відіграє важливу роль за рахунок прояву структурної спадковості.

Отже, мета роботи – дослідження впливу хімічного складу та параметрів структури хромомарганцевих сплавів на стійкість до абразивного зношування.

Результати досліджень. Для проведення досліджень використано

зразки від виливків дослідних хромомарганцевих сплавів хімічний склад яких наведено у табл. 1. Кристалізація дослідних сплавів починається із виділення дендритів первинного аустеніту та завершується формуванням евтектичних колоній $A+Cr_7C_3$. У структурі матеріалу виявлені карбіди Me_7C_3 та тонкодиференційована аустеніто-карбідна евтектика на основі карбіду Me_7C_3 [3]. За даними рентгеноструктурного аналізу виявлено карбіди типу $Me_7C_3-(Cr, Mn, Fe)_7C_3$, цементит, аустеніт та ферит. Із збільшенням вмісту вуглецю та марганцю кількість аустеніту в матриці зростає від 76 % до 91 %, а фериту відповідно зменшується від 24 % до 9 %. Твердість сплавів № 2 та № 3 однакова і складає 42 HRC. При цьому твердість сплаву № 1 виявляється найнижчою 35 HRC [4-6].

В табл. 2 наведено результати випробувань хромомарганцевих сплавів на стійкість до абразивного зношування у різних середовищах.

Таблиця 1 – Хімічний склад дослідних хромомарганцевих сплавів

№ сплаву	Вміст хімічних елементів, % ваг.								
	C	Cr	Ni	V	Mn	Si	Cu	S	P
1	2,2	12,6	0,83	0,25	5,7	1,0	0,10	0,009	0,013
2	2,7	15,9	0,95	0,25	10,5	0,9	0,09	0,009	0,027
3	3,1	13,1	1,15	0,25	15,7	0,9	0,15	0,003	0,025

Таблиця 2 – Результати випробування на абразивне зношування дослідних сплавів

Абразивне середовище	Час, хв	Зношування сплавів, мг		
		Сплав № 1	Сплав № 2	Сплав № 3
SiO_2	15	2,7	3,5	1,0
	20	2,9	4,5	2,4
	25	3,4	6,7	3,0
B_4C	15	20,1	25,9	28,8
	20	31,5	32,6	29,5
	25	49,0	47,1	34,8
SiC	15	33,0	35,4	30,5
	20	42,6	39,3	46,3
	25	51,0	53,2	50,0

Аналіз наведених даних свідчить про те, що максимальна втрата маси

зразків в процесі випробувань в умовах абразивного зношування (середовище SiO_2) спостерігається у сплаві № 2, а мінімальна – у сплаві № 3. При застосуванні у якості абразивного середовища B_4C максимальна втрата маси спостерігається у сплаві № 1, а мінімальна – у сплаві № 3. В останньому випадку (середовище SiC) максимальна втрата маси зразків є характерною для сплаву № 2, а мінімальна – відповідає сплаву № 3.

Висновки. Досліджено вплив хімічного і фазового складу, структури та твердості металевої матриці дослідних хромомарганцевих сплавів після кристалізації виливків на стійкість до абразивного зношування. Встановлено, що найбільшою стійкістю до зношування в умовах різних абразивних середовищ (пісок, карбід бору, карбід кремнію) володіє сплав, що містить 3,1 % С, 13,1 % Cr та 15,7 % Mn. Більш висока стійкість до абразивного зношування обумовлена особливостями формування матриці, аустеніто-карбідної евтектики, а також деформаційно-фазовими перетвореннями, що можуть відбуватися у поверхневих шарах дослідних сплавів. Встановлені особливості мають важливе практичне значення, оскільки дозволяють обґрунтовано підійти до визначення раціональних композицій остаточного хімічного складу економнолегованих хромомарганцевих сплавів із подальшим розробленням ефективного режиму остаточного термічного оброблення.

Література

1. Чейлях А. П., Клок Д. В., Прекрасный С. В. Разработка и исследования новых экономнолегированных износостойких чугунов с метастабильной структурой для быстроизнашивающихся деталей. *Металл и литье Украины*. 2006. № 9–10. С. 13–17.
2. Koval Yu. M., Kutsova V. Z., Kovzel M. A., Shvets P. Yu. Features of Structure Formation, Kinetics of Phase Transformations, Mechanical and Tribological Properties of the Fe-Based Cr–Mn–Ni Alloys. *Progress in Physics of Metals*. 2020. Vol. 21. №. 2. pp. 180–248.
3. Нестеренко А. М., Куцова В. З., Ковзель М. А. Исследование кристаллической структуры карбидов типа Me_7C_3 . *Металлофизика и новейшие технологии*. 2003. №1. С. 99 - 106.
4. Куцова В. З., Ковзель М. А., Гребенева А. В., Ратникова И. В., Величко О. О. Влияние легирующих элементов на формирование структуры, фазового состава и свойств хромомарганцевого чугуна в литом состоянии. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 3 (294). С. 45–48.

5. Куцова В.З., Ковзель М.А., Гребенева А.В., Ратникова И.В., Швец П.Ю. Формирование структуры, фазового состава и свойств хромомарганцевых чугунов в литом и нормализованном состоянии. Строительство, материаловедение, машиностроение.. 2016. № 89. С.101–111 .

6. Куцова В.З., Ковзель М.А., Гребенева А.В., Швец П.Ю., Zyska A., Koczurkiewicz B. Структура и механические свойства хромомарганцевых чугунов в литом состоянии. New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. A collective monograph. 2016. №. 56. P. 147 - 153.

ON THE RESISTANCE TO ABRASIVE WEAR OF CHROMIUM-MANGANESE ALLOYS IN DIFFERENT ENVIRONMENTS

Kovzel Maksym, Parusov Eduard

Abstract. Research in the direction of increasing the service life of iron-based alloys, which operate in difficult conditions, has been carried out. The possibility of using chromium-manganese alloys (cast iron) as a material has been proven. The material is characterized by a lower manufacturing cost compared to traditional ones (high-chromium cast iron and nikorin-type alloy) due to a decrease in the content of chromium, nickel and vanadium. The results of studies of the influence of the chemical and phase composition, structure and hardness of the metal matrix on the abrasive wear of chromium-manganese alloys after the crystallization of castings were presented. Using X-ray diffraction analysis, carbides Me_7C_3 -(Cr, Mn, Fe) $_7C_3$, cementite, ferrite and austenite in the structure of chromium-manganese alloys were identified. With an increase in the content of carbon and manganese, the amount of austenite in the matrix increases. An alloy that contains 3.1% C, 13.1% Cr and 15.7% Mn is the most resistant to wear in various abrasive media. This is due to the hardness of the metal matrix, the amount of austenite-carbide eutectic based on Me_7C_3 carbide, and deformation-phase transformations that occurred during the tests.

Keywords: CHROMIUM-MANGANESE ALLOY, HARDNESS, ALLOYING, ABRASIVE ENVIRONMENT.

References

1. Cheiliakh A. P., Klok D. V., Prekrasniy S. V. Development and research of new

economically alloyed wear-resistant cast irons with a metastable structure for high-wear parts. Metal and casting of Ukraine. 2006. No. 9–10. pp. 13–17.

2. Koval Yu. M., Kutsova V. Z., Kovzel M. A., Shvets P. Yu. Features of Structure Formation, Kinetics of Phase Transformations, Mechanical and Tribological Properties of the Fe-Based Cr–Mn–Ni Alloys. Progress in Physics of Metals. 2020. Vol. 21. №. 2. pp. 180–248.

3. Nesterenko A.M., Kutsova V.Z., Kovzel M.A. Investigation of crystal structure of Me₇C₃-Type Carbides. Metallophysics and advanced technologies. 2003. №1. pp. 99 - 106.

4. Kutsova V. Z., Kovzel M. A., Grebeneva A.V., Ratnikova, I.V., Velichko, O.A. The influence of alloying elements on the formation of the structure, phase composition and properties of chromium-manganese cast iron in the cast state. Metallurgical and mining industry. 2015. № 3 (294). pp. 45 - 48.

5. Kutsova V. Z., Kovzel M. A., Grebeneva A.V., Ratnikova, I.V., Shvets P. Yu. Formation of the structure, phase composition and properties of chromium-manganese cast irons in the cast and normalized state. Construction, materials science, mechanical engineering. 2016. № 89. pp.101–111 .

6. Kutsova V. Z., Kovzel M. A., Grebeneva A.V., Shvets P. Yu., Zyska A., Koczurkiewicz B. Structure and mechanical properties of chromo-manganese cast iron in the cast stay. New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. A collective monograph. 2016. №. 56. pp. 147 - 153.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.007

СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПАДКОВОСТІ ПОДІЙ В ЗАДАЧАХ КОТРОЛЮ ТА КІБЕРБЕЗПЕКИ

Малайчук В.П., Клименко С.В., Астахов Д.С.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

У наукових і практичних проблемах часто доводиться мати справу зі зразками малої довжини вимірювань. При цьому дослідження піддаються як поодиноким вимірюванням, так і серії вимірювань в задачах контролю та кібербезпеки. При вивченні окремих вимірювань досліджується вибірка середніх значень, дисперсій, коефіцієнтів асиметрії, надлишку, кореляції та ін. При вивченні серії вимірювань проводяться порівняння цих значень за спеціальними статистичними критеріями. Зазвичай, таким чином, вирішується проблема приналежності досліджуваних вимірювань до певного класу, об'єктів або явищ.

Проведено дослідження інформативності критерію автокореляції при тестуванні гіпотези про випадковість в задачах контролю та кібербезпеки за умов, якщо експериментальну вибірку перетворити на впорядковану вибірку, тобто отримаємо випадки інверсії. А кількість інверсій характеризують випадковість вимірювань у вибірках. Проведено обчислювальні експерименти, ми досліджуємо статистичні закономірності експериментальних зразків трьох типів законів розподілу - логістичних, експоненційних та Релея та визначено інформативність критерію інверсій для різної довжини вибірки і коефіцієнтів кореляції за умов рівності математичного очікування.

Для проведення обчислювальних експериментів розроблено програмне забезпечення. Обчислювальні експерименти проводилися на моделях випадкових величин за логістичним, експоненційним та релеевським законами розподілу ймовірності. Розроблені аналоги двохвибіркових критеріїв порівняння вибірок випадкових величин. Результати дослідження аналогів критеріїв порівняння вибірок випадкових величин показали, що є інформативними.

Література

1. Кобзарь А.М. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. – 816с

**STUDY OF INFORMATIVITY OF THE INVERSION CRITERION IN
TESTING THE HYPOTHESIS ABOUT ACCIDENTALITY IN
PROBLEMS CONTROL AND CYBER SECURITY**

Malaychuk Valentin, Klymenko Svitlana, Astakhov Dmytro

Abstract. A study of the inversion criterion in the control and cybersecurity problems for measurement samples was conducted. The sensitivity to correlation within the samples of experimental measurements is determined and it is proved that this criterion can be applied to random variables with both symmetric and asymmetric distribution laws. Research of an estimation of informativeness of criterion at their application on short samples by computer processing of experimental measurements are carried out.

Keywords: criterion, mathematical statistics, distribution law, correlation coefficient, cybersecurity.

References

1. Kobzar' A.M. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. M.: Fizmatlit, 2006. – 816s

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.008

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ РУЙНУВАННЯ ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ
ВОГНЕТРИВІВ У СКЛАДІ ФУТЕРІВКИ 60-Т КИСНЕВОГО КОНВЕРТЕРА
МЕТОДАМИ МІКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ**

Молчанов Л.С., Борисенко А.Ю., Голуб Т. С.

Інститут чорної металургії ім.. З.І. Некрасова НАНУ

Для кисневих конвертерів стійкість вогнетривкої футеровки визначає тривалість компанії металургійного агрегату, а найзначніші витрати часу у сучасних сталеплавильних цехах пов'язані, насамперед, з технологічними операціями з обслуговування футерування [1]. На сучасному етапі розвитку світової металургії для футеровки кисневих конвертерів використовують периклазовуглецеві вогнетриви. Для їх виробництва використовують периклазові порошки (у з вмістом MgO не менше 96 – 99%), крупнокристалічний графіт (вміст вуглецю – 90 – 98 %) та додаткові матеріали, що надають спеціальні властивості (зв'язувальні матеріали та антиоксиданти) [2-3].

Основним завданням вогнетривкої футеровки в кисневих конвертерах є ізоляція високотемпературної реакційної зони конвертера від металевих елементів конструкції. При цьому на неї діють різноманітні екстремальні навантаження та фактори, різні за своєю природою. Знос вогнетривких виробів у кисневих конвертерах залежить як від якості самих вогнетривких блоків, так і від технології виплавки сталі, що використовується.

В дослідженні було розглянуто можливі причини руйнування периклазовуглецевої футеровки промислового кисневого конвертера ємністю 60-т протягом кампанії у 2002 плавки. Методика досліджень передбачала відбір зразків з різних зон вогнетривкої футерівки кисневого конвертера перед експлуатацією та після закінчення повної компанії. Проведення аналізу отриманих зразків методами мікроструктурного аналізу та виявлення характерних структурних змін для встановлення закономірностей та механізмів руйнування. Відбір зразків для аналізу проводився з зони металеві ванни (ділянка футерівки, що переважно контактує з металевим розплавом), з циліндричної частини (переважно контактує з шлаковою фазою) та шоломової частини (переважно контактує з окислювальною газовою фазою).

Результати мікроструктурного аналізу зразків вогнетривів, що були відібрані з різних ділянок футерівки конвертера після кампанії, у порівнянні з аналогічними зразками, що були відібрані до проведення кампанії вказали наступне: утворення зерен у периклазі футеровки та його подальше руйнування по межах зерен відбувається під час експлуатації конвертера через виникнення різноманітних напруг (термічних, динамічних), що викликають деформації, які мають циклічний характер. Вказана особливість характерна для зразків відібраних з усіх зон футерівки, про те най характерніше даний аспект спостерігається на зразках вогнетривких матеріалів, відібраних з циліндричної частини футерівки. Підтвердженням руйнування внаслідок впливу напруг різної природи є велика кількість зруйнованих кристалів периклазу та наявність смуг ковзання або двійникування в ліквацийних зонах між кристалітами периклазу, що стикаються (рис. 1 с,d), і яких у вихідному стані не було (рис. 1 а,b). При цьому встановлено, що чим більший вихідний розмір дотичних округлих кристалітів периклазу, тим більший розмір зерен у периклазі футеровки після експлуатації, руйнування за межами яких супроводжується утворенням великих подвійних ділянок.

Механізм взаємодії кристалів периклазу зі шлаковими фазами визначається природою походження периклазу (спечення або плавлення). Взаємодія шлаку з плавленим периклазом призводить до оплавлення поверхні безпосереднього контакту та проникнення компонентів шлаку вглиб кристалів периклазу шляхом їх сплавлення.

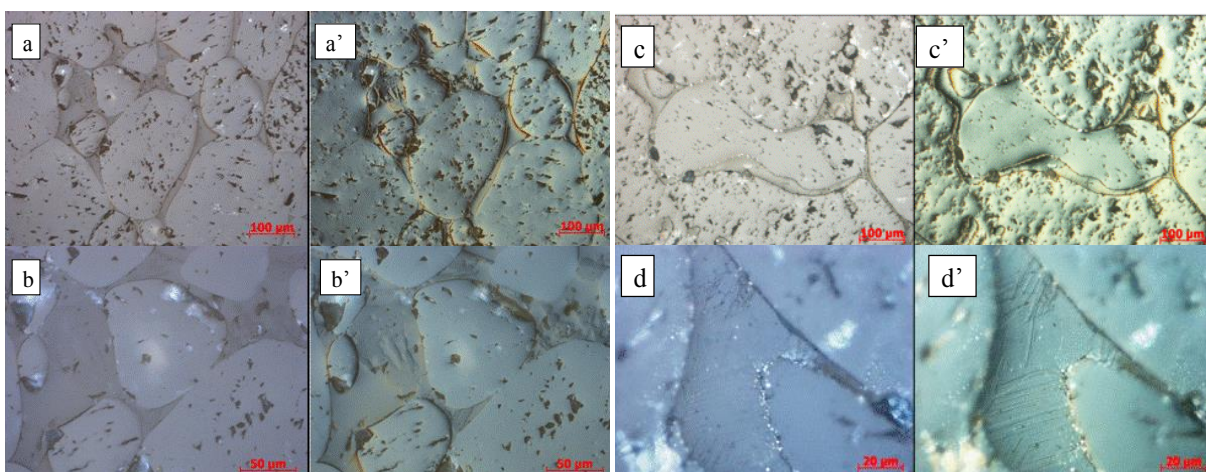


Рисунок 1 - Структура плавленого периклазу футеровки циліндричної частини кисневого конвертера до експлуатації (а,b) та сліди деформації між кристалітами периклазу, що стикаються, у футеровці кисневого конвертера після експлуатації (с,d): а-d - звичайне світло; а'-d' – поляризоване світло

Оплавлення меж зерен та двійників периклазу плавленого типу не відбувається. Взаємодія шлаку з периклазом спеченого типу призводить до оплавлення поверхні їх контакту меж зерен, сприяючи формуванню більш нерівномірної за складом та структурою зони сплавлення, ніж у випадку плавленого периклазу. Через менший розмір зерен і викликану цим більшу глибинупроникнення між зернами, просочення компонентів шлаку в спечений периклаз є більш інтенсивнішим, ніж у плавлений. При цьому розтріскування спеченого периклазу в зоні контакту зі шлаком є більш інтенсивним у порівнянні з плавленим. Відповідно до цього відбувається погіршення контакту вуглецевої зв'язки з зернами периклазу та спостерігається структурне руйнування. Це виражається в утворенні тріщин та порожнин, які спричиняють руйнування вогнетривкого матеріалу по межі контракту зі шлаковим розплавом. Отримані закономірності руйнування периклазу у складі вогнетривкої футерівки вимагають подальших спеціальних досліджень з визначення кількісної оцінки зміни хімічного складу.

Література

1. Лобанов Л.М., академік НАН України, заступник директора Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. /Вісн. НАН України. 2010. № 7. С. 54-56
2. Очагова И.Г. Направления развития мировой огнеупорной промышленности. Новые огнеупоры. 2005. № 7. С. 79 –81.
3. Каталог -справочник. Огнеупоры: материалы, изделия, свойства и применение в 2-х книгах. Книга I /ред. И. Д. Кашеева. - М : Теплоэнергетик, 2004. – 336 с.

INVESTIGATION OF THE MECHANISMS OF DESTRUCTION OF PERICLASE-CARBON REFRACTORIES IN THE LINING OF A 60-TON OXYGEN CONVERTER BY MICROSTRUCTURAL ANALYSIS

Molchanov Lavr, Borisenko Andriy, Golub Tetyana

Abstract. The main task of refractory lining in oxygen converters is the isolation of the metal elements of the unit from the high-temperature reaction bath of the converter. At the same time, it is affected by various extreme factors that are different in nature. The wear of refractory products in oxygen converters depends on

both the quality of the refractory units themselves and the used technology of steel smelting.

The study examined the possible causes of the destruction of the periclase-carbon lining of an industrial oxygen converter with a capacity of 60 tons during the campaign of 2002 heats. The research methodology involved the selection of samples from different areas of the refractory lining of the oxygen converter before operation and after the end of the full company. Obtained samples were tested by methods of microstructural analysis for detection of characteristic structural changes to establish patterns and mechanisms of destruction. Samples for analysis were taken from the area of the metal bath (the area of the lining, mainly in contact with the metal melt), from the cylindrical part (preferably in contact with the slag phase) and helmet part (preferably in contact with the oxidizing gas phase).

The results of microstructural analysis of refractory samples taken from different parts of the converter lining after the campaign, compared with similar samples taken before the campaign, indicated the following: the formation of grains in the periclase of the lining and its subsequent destruction within the grain boundaries the emergence of various stresses (thermal, dynamic) that cause cyclical deformations. This feature is characteristic of samples taken from all areas of the lining, and the most characteristic of this aspect was observed in samples of refractory materials taken from the cylindrical part of the lining.

Keywords: oxygen converter, periclase-carbon lining, operating company, microstructural analysis, structural destruction, thermal and mechanical stresses, periclase crystals, slag phase.

References

1. Lobanov L.M., academician of NAN of Ukraine, deputy director of the Institute of electric welding of E.O. Paton of the National Academy of Sciences of Ukraine. *Visnyk Nacional'noi akademii*. 2010. № 7. P. 54-56
2. Ochagov I.G. *Napravleniia razvitia mirovoy ogneupornoy promyshlennosti. Novie ogneupory*. 2005. № 7.C. 79 –81.
3. Kadashev I.D. *Katalog spravochnik Ogneupory: materialy, izdiliia, svoystva i primenenie. Kniga 1. M.* 2004. 336 c.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.009

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ-З'ЄДНАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ АРМОВАНИХ КОМПОЗИТІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ЗДАТНІСТЮ ДО ПОГЛИНАННЯ ЕНЕРГІЇ УДАРУ І ВОГНЕТРИВКІСТЮ

Носко М.І., Фролов Я.В., Бобух О.С., Самсоненко А.А.

Український державний університет науки і технологій, Україна, Дніпро

Вступ. Розробка та удосконалення способів виробництва композитних матеріалів та покриттів, що володіють високими експлуатаційними показниками, є актуальним завданням сучасного матеріалознавства.

Особливий інтерес викликає напрямок виробництва композитних матеріалів та покриттів на основі алюмінію армованого твердою фазою з підвищеними властивостями композиту, зокрема зниженою питомою вагою, збільшеною енергією удару, а також вогнетривкістю. Важливість створення таких композитних покриттів диктується підвищенням вимог до умов експлуатації літальних об'єктів, наприклад, заходів захисту від зіткнення з птахами або в якості захисних бар'єрів, елементів оздоблення, а також у якості заготовки для подальшого виготовлення елементів конструкцій. Проте до справжнього часу ці проблеми в повній мірі ще не вирішені.

Основний матеріал. Наукова основа технології полягає у прогнозуванні формозміни сітки в зоні деформації, яка фактично сформована алюмінієвою матрицею, що плине. Крім того, під час прокатки має бути забезпечено надійне зварювання тиском двох шарів алюмінієвої матриці між собою.

Експериментальна прокатка армованих композитів проводилася на двох прокатних станах лабораторії кафедри Обробки Металів Тиском: стан дуо з діаметром валків 180 мм і стан кварто з діаметром робочих валків 135 мм. Перед прокаткою композити нагрівали до температури 500⁰С.

Заготовкою для пакетної прокатки використовувалась алюмінієва гарячепресована штаба розмірами (h×b×l) 3×70×200 мм зі сплаву EN AW 1050. В якості армуючого матеріалу (між алюмінієвими шарами) було використано відпалену просічно-витяжну сітку розміром (t×b×l) 0,5 × 70 × 200 мм зі сталі С10, з розміром вічка ґратки 1.8 × 6 мм.

Прокатку проводили зі ступенями деформації 20, 30 і 40%. На стані кварто додатково прокатували армовані композити зі ступенем деформації 50%. Ступені деформації розраховували відносно алюмінієвої матриці без

врахування товщини армуючої фази. Окрім армованих композитів прокатували також й композити без армування з аналогічними ступенями деформації.

Для розробки, аналізу та оптимізації технологій обробки металів тиском проводили моделювання процесу прокатки композиту з сталеву сіткою всередині. Моделювання проводилося у тривимірній системі з використанням комплексу інжинірингового програмного забезпечення – QForm (ліцензія використовується в рамках угоди No. MSL2015_10_5 від 28.10.2015 р.) [1].

Основними параметрами, що визначають з'єднання пластин алюмінію на межах розділу матриці з сталеву сіткою всередині, є температура нагрівання матеріалу та величина обтиску.

Після експериментальної прокатки проводили випробування композиту: на ударний вигин (1) та вогнетривкість (2).

1) Випробування на ударний вигин проводилися як для армованих, так і для неармованих композитів, прокатаних з обтисненням 20%, 30% і 40%.

Збільшення обтиснення при прокатці покращує поглинання енергії удару у всіх зразках. Також менший діаметр валків призводить до кращих значень поглинання енергії при ударному вигині, що не залежить від типу композиту і обтиснення. У той же час основними відмінностями при випробуваннях на ударний вигин між станами "дуо" та "кварто" є:

– Прокатний стан «дуо» забезпечує приріст поглинання енергії удару в неармованих композитах;

– Прокатка в стані "кварто" підвищує поглинання енергії удару в армованих композитах.

2) Випробування на вогнетривкість проводилися для армованих, і неармованих композитів, прокатаних з обтисненням 30%.

Композит фіксують на стенді під дією сил 49 Н (5 кг), джерело полум'я направляють на центр випробуваного зразка. Під впливом температури, алюмінієвий шар починає руйнуватись, неармований композит руйнується при температурі 545°C під дією сил 27,45 Н (2,8 кг), композит армований сіткою зберігає свої характеристики та здатний витримати нагрівання більше 650°C, а сила, що діяла на композит знизилась аж до 7,8 Н (0,8 кг), після припинення нагріву зразка, сила повернулася до значень 11,7 Н (1,2 кг) внаслідок усадки після нагріву. Остаточного руйнування армованого композиту так і не відбулося.

Висновки. Встановлено поведінку просічно-витажно́ї сітки з конструкційної сталі при склеюванні валками між двома алюмінієвими листами, розроблена і промодельована модель прокатки композиту, було проведено порівняння отриманих даних з експериментальними. Проведені випробування на ударний вигин та вогнетривкість.

Література

1. QForm – Програмне забезпечення для моделювання та оптимізації процесів обробки металів тиском та екструзії металопрофілю, Micas Simulations Limited, <http://www.qform3d.com/>

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF ROLL BONDING TECHNOLOGY FOR ALUMINUM REINFORCED COMPOSITES WITH ABSORBED BENDING ENERGY AND FIRE RESISTANCE

Nosko Maksym, Frolov Yaroslav, Bobukh Oleksandr, Samsonenko Andriy

Abstract. The development and improvement of methods for the production of composite materials and coatings with high performance is an urgent task of modern materials science.

Particular interest is the direction of composite materials production and coatings based on aluminum reinforced with a solid phase with improved properties of the composite, reduced specific gravity, increased impact energy that can be absorbed and fire resistance. The importance of creating such composite coatings is dictated by the increasing requirements for the operating conditions of aircraft, for example, measures to protect against bird strikes or as protective barriers, finishing elements, and also as a blank for further production of structural elements. Serious tasks are in terms of full or partial replacement of valuable metals and alloys with cheap and affordable composites with higher performance. However, these problems have not yet been fully resolved to date.

Keywords: aluminum-steel reinforced composite, expanded steel mesh inlay, flat rolling, roll bonding, deformation parameters.

References

1. QForm – Software for simulation and optimization of metal forming processes and metal profile extrusion, Micas Simulations Limited, <http://www.qform3d.com/>

ТЕХНОЛОГІЇ РАФІНУВАННЯ ФЕРОХРОМУ У КОНВЕРТЕРІ ГКР

Величко К.А.

Український державний університет науки і технологій

Досліджено в 1 т конвертері газокисневого рафінування (ГКР) технології рафінування від вуглецю високовуглецевого ферохрому з метою отримання затребуваних середньо- та низьковуглецевого ферохрому.

З урахуванням відомих уявлень [1] розглянуто термодинамічні та кінетичні можливості процесів.

За першою технологічною схемою високовуглецевий ферохром із вмістом вуглецю близько 8% і хрому $\approx 65\%$ продували в конвертері ГКР киснем та аргоном. Продувка включала два періоди: окислювальний, коли киснем, що вдувається, окисляли вуглець і другий - відновлювальний з продуванням аргоном.

У кінцевому ферохромі після продування вміст хрому 60...65%, вуглецю $\approx 2,0\%$.

Запропоновано технологічну схему виплавки низьковуглецевого ферохрому силікотермічним способом.

Відповідно до запропонованої схеми, розплавлений в дуговій електропечі Fe - Si- Cr зливали в 1 т конвертер ГКР. Після заливання проводили продування розплавом киснем до досягнення температур 1680-1700°C.

Після набору необхідної температури переходили до продування розплавом аргоном. У цей період у конвертер порційно присаджують вапно і прожарену хромову руду. Температуру металу підтримували за рахунок протікання екзотермічних реакцій відновлення хрому та заліза кремнієм феросилікохрому та утворення шлакової сполуки $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$.

В результаті після відновлення ферохром має наступний склад, %: хрому не менше 60%, вуглецю 0,05...0,1%, кремнію не менше 0,8...1,0%

Дослідження підтвердили можливість виплавки середньо- та низьковуглецевого ферохрому в конвертері ГКР шляхом прямого окислення вуглецю киснем та силікотермічним методом.

Література

1. Металургия хрома. Н.П. Лякишев, М.І. Гасик. - М.: ЕЛІЗ. 1999 – 582 с.

TECHNOLOGIES OF REFINING FERROCHROME IN GCR CONVERTER

Velichko Kostiantyn

Abstract. Investigated in a 1 ton gas-oxygen refining converter (GCR) are technologies for refining carbon from high-carbon ferrochrome in order to obtain high-demand medium- and low-carbon ferrochrome.

Keywords: refining, ferrochrome, converter, oxygen refining.

References

1. Metalurhyia khroma. N.P. Liakyshev, M.I. Hasyk. - М.: ELIZ. 1999 – 582 s.

СЕКЦІЯ 2

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

SECTION 2

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

МОДЕЛЮВАННЯ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У ПРОЦЕСІ ОХОЛОДЖЕННЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Бобирь С.В., Парусов Е.В., Голубенко Т.М., Лошкарьов Д.В.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України (Україна)

Вступ. Сучасні дослідження з моделювання фазових перетворень у низьколегованих сталях певною мірою вирішують проблему кількісного встановлення фазових перетворень при заданому хімічному складі сталі та різних швидкостях охолодження, що у свою чергу надає можливість прогнозного визначення структури металовиробів після термічного оброблення [1-5]. Однак можливості універсальних програмних продуктів з кінцево-елементного розрахунку моделей з нелінійними властивостями, які змінюються на кожному етапі розрахунку є обмеженими для аналізу складнолегованих сталей.

Мета роботи – моделювання фазово-структурних перетворень при охолодженні складнолегованих сталей із урахуванням утворення усіх структурних складових, зокрема залишкового аустеніту.

Результати досліджень. Для проведення досліджень використовували сталі 25Х2М1Ф і 38ХН3МФА із хімічним складом у відповідності до таблиці.

Таблиця – Хімічний склад досліджуваних легованих сталей

Марка	Хімічний склад, % ваг.						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
25Х2М1Ф	0,29	0,37	0,45	2,75	0,25	1,1	0,37
38ХН3МФА	0,38	0,30	0,27	1,30	3,25	0,4	0,15

Для моделювання структури легованої сталі використано аналітичну модель перетворення аустеніту [3] із розрахунком температур та часу перетворень за регресійною моделлю [4]. Рівняння М. Аврамі, яке використано для розрахунку кінетики фазового перетворення, має наступний вигляд:

$$P_{\alpha} = 1 - \exp\left(-(V \cdot \tau)^n\right), \quad (1)$$

де P_{α} – результат фазового перетворення (кількість утвореного фериту, перліту або бейніту); V – відносна швидкість перетворення; n – ступінь рівняння; τ –

час перетворення (нижче критичної точки A_{c3} для фериту, A_{c1} – для перліту і A_{c0} – для бейніту).

Відносна швидкість перетворення визначається наступною формулою [4, 5]:

$$V = K \cdot \Delta T \cdot \exp(-Q/2RT), \quad (2)$$

де $\Delta T = T_c - T$, T – поточна температура; T_c – температура критичних точок перетворення; Q – енергія активації дифузії вуглецю в легованій сталі; K – постійний коефіцієнт; R – універсальна газова константа – 1,987 [cal K⁻¹ mol⁻¹].

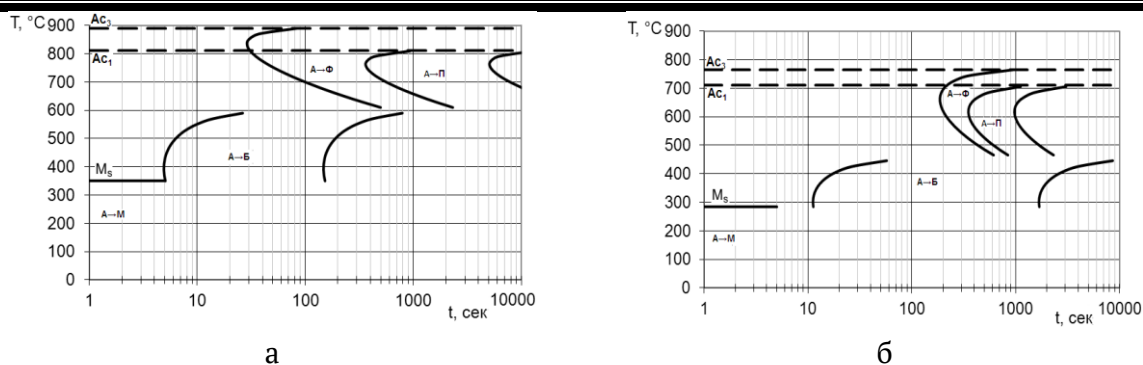
Параметр Q для фериту і перліту дорівнює енергії активації дифузії вуглецю в аустеніті, а для бейніту – енергії активації дифузії вуглецю у фериті. Температура A_{c0} для сталей визначається виходячи з умови, що максимум швидкості росту бейніту збігається із температурою, розрахованою за рівнянням (2), та її експериментальним значенням на ізотермічній діаграмі. Це значення розраховано для досліджуваних сталей, й становить ~ 600 °C для сталі 25X2M1Ф та ~ 450 °C для сталі 38ХН3МФА.

Кількість утворюваного в сталі мартенситу можливо розрахувати за рівнянням, запропонованим у роботі [3]:

$$P_\alpha = A_m \left(1 - \exp \left(-K_\alpha \frac{M_s - T}{T - M_f} \right) \right), \quad (3)$$

де A_m – кількість аустеніту, що зберігається до температури M_s ; M_s – температура початку мартенситного перетворення; M_f – температура завершення мартенситного перетворення, K_α – коефіцієнт швидкості формування мартенситу при температурі M_s .

У відповідності до розробленої методики побудовані ізотермічні діаграми перетворення аустеніту досліджуваних сталей (рис. 1). Сталі 25X2M1Ф та 38ХН3МФА зазнають трьох трансформацій аустеніту: феритної, перлітної і бейнітної. У сталі 25X2M1Ф між перлітною і бейнітною складовими (див. рис. 1, а) існує область підвищеної стабільності аустеніту за температури ~ 600 °C. У сталі 38ХН3МФА (див. рис. 1, б) спостерігається температурний інтервал стійкості аустеніту між перлітною і бейнітною складовими, утворення яких починається раніше, у порівнянні зі сталлю 25X2M1Ф.

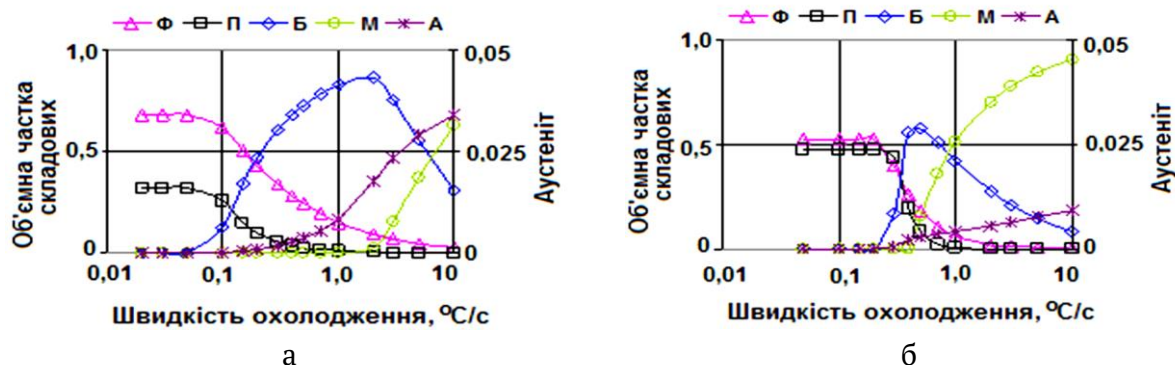


а – сталь 25X2M1Φ ($A_{c3} = 895 \text{ }^\circ\text{C}$, $A_{c1} = 810 \text{ }^\circ\text{C}$, $M_s = 350 \text{ }^\circ\text{C}$);
 б – сталь 38XНЗМФА ($A_{c3} = 765 \text{ }^\circ\text{C}$, $A_{c1} = 710 \text{ }^\circ\text{C}$, $M_s = 285 \text{ }^\circ\text{C}$);

Рисунок 1 – Ізотермічні діаграми досліджуваних легованих сталей

Для досліджуваних сталей також побудовано структурні діаграми в залежності від швидкості безперервного охолодження. Кількість залишкового аустеніту врахована за розробленою методикою вперше (рис. 2). Сталь 25X2M1Φ, за безперервного охолодження зі швидкістю $1,0 \text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$ (умови наближені до повітряного охолодження), складається із 18 % фериту, 1 % перліту, 80 % бейніту та 1 % залишкового аустеніту. Сталь 38XНЗМФА, охолоджена зі швидкістю $1,0 \text{ }^\circ\text{C}/\text{c}$ складається із 2 % фериту, 47,5 % бейніту, 50 % мартенситу та 0,5 % залишкового аустеніту.

Отже, за результатами моделювання показано, що за умови повітряного охолодження сталь 38XНЗМФА володіє переважно бейніто-мартенситною структурою, і це добре збігається із практичними результатами.



а – сталь 25X2M1Φ; б – сталь 38XНЗМФА;

Рисунок 2 – Структурні діаграми досліджуваних легованих сталей

Висновки. Проведено комплексні дослідження перебігу фазових і структурних перетворень під час охолодження досліджуваних сталей та адаптовано наявні аналітичні моделі для проведення відповідних розрахунків. На засадах розробленого методологічного підходу побудовано ізотермічні та структурні діаграми розпаду аустеніту легованих сталей 25X2M1Φ і 38XНЗМФА.

Література / References

1. Sugianto A., Narazaki M., Kogawara M., Shirayori A. Numerical simulation and experimental verification of carburising-quenching process of SCr420H steel helical gear. *Journal of Material Processing Technology*. 2009, Vol. 209 (7). pp. 3597-3609.
2. Li Jun-Wan, L. Tang, Li Shao-Hong, Wu Xiao-Chun. FEM simulation and experimental verification of temperature field and phase transformation in deep cryogenic treatment. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. 2012, Vol. 22. pp. 2421-2430.
3. Krot P., Bobyr S., Dedik M. Simulation of backup rolls quenching with experimental study of deep cryogenic treatment. *Int. J. of Microstructure and Materials Properties*. 2017, Vol.12. No. 3/4. pp. 259-275.
4. Bobyr S. V., Loschkarev D. V. Simulation phase-structure transformations in alloy steels for the piercing tools. *JOJ Materials Science*. 2019, Vol. 5, Issue 3. pp. 1-3.
5. Bobyr S. V., Krot P. V., Loschkarev D. V. Models of structural phase transformations and mechanical properties of alloy steels rolls. Chapter in book *Carbon Steel: Microstructure, Mechanical Properties and Applications – Hauppauge (USA): Nova Science Publishers, Inc.* 2019. pp. 81-106.

MODELING OF PHASE TRANSFORMATIONS DURING COOLING OF ALLOY STEELS

Bobyr Serhiy, Parusov Eduard, Golubenko Tetyana, Loshkarev Dmytro

Abstract. Modern studies on the modeling of phase transformations in low-alloy steels to a certain extent allow solving the problem of quantitative determination of phase transformations for a given chemical composition of steel and different cooling rates. However, the capabilities of the available universal software products for the analysis of complexly alloyed steels are currently very limited. To conduct research, steels 25Cr2Mo1V and 38CrNi3MoV and existing analytical models were used, which were adapted to carry out the corresponding calculations. Structural diagrams are plotted for the steels under study depending on the rate of continuous cooling. The amount of residual austenite was taken into account by the developed method for the first time. Steel 25Cr2Mo1V, with continuous cooling at a rate of 1.0 °C/s (conditions close to natural air cooling), consists of 18 % ferrite, 1 % pearlite, 80 % bainite and 1 % residual austenite. Steel 38CrNi3MoV cooled at a rate of 1.0 °C/s consists of 2 % ferrite, 47.5 % bainite, 50 % martensite and 0.5 % retained austenite. It is shown that for the conditions of natural air cooling, the calculated data correlate well with practical results.

Keywords: physicochemical modeling, phase transformation, alloy steels, cooling, nonequilibrium thermodynamics, structural diagrams.

СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ТОНКОЛИСТОВОЇ СТАЛІ

08ПС ПІСЛЯ ДРЕСИРУВАННЯ

Котова Т.В.¹, Ковзель М.А.²

¹Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

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

У зв'язку з посиленням вимог стандартів до показників якості металопрокату актуальною є економія експлуатаційних витрат при його виготовленні. Дресування - одна з ключових операцій в технологічному процесі виробництва гарячекатаного листового прокату для холодної штамповки. З метою покращення якості тонколистового прокату важливою є розробка ефективної технології процесу дресування. В роботі досліджено структуру і властивості гарячекатаної тонколистової низьковуглецевої сталі 08пс після дресування на окремо розташованому стані. Показано, що в результаті обробки підвищується пластичність металу та формується однорідна структура по перерізу листа. Встановлено, що гарячекатаний дресований тонколистовий прокат за показниками якості відповідає вимогам до холоднокатаного прокату згідно з ДСТУ 2834-94, тому можлива заміна дорогокоштуючого холоднокатаного листа більш дешевим, але такої ж якості гарячекатаним. В результаті досягається зростання продуктивності праці, зниження витратного коефіцієнту металу, економія електроенергії та природного газу.

Значна роль у вирішенні задач підвищення технічного рівня, якісних показників та експлуатаційної надійності автомобілів належить виробництву сталевих листів. В останні роки в умовах посилення вимог стандартів до показників якості металопрокату актуальною є економія експлуатаційних витрат при його виготовленні. Дресування займає особливе місце в технології виробництва сталевих штаб при виконанні важливих вимог з боку машинобудівників (наприклад, при штампуванні кузовних деталей автомобіля необхідною є здатність листів до глибокої витяжки). З метою покращення якості листового прокату проводять роботи з розробки ефективної технології процесу дресування [1, 2].

Споживач зацікавлений отримати порівняно недорогий гарячекатаний листовий прокат для холодної штамповки, що характеризується високим рівнем службових властивостей. В зв'язку з цим на багатьох металургійних комбінатах досягнутий рівень технології, що дозволяє випускати гарячекатаний тонколистовий прокат з показниками якості, які відповідають вимогам стандартів до холоднокатаного листа. Цьому в значній мірі сприяє застосування дресування на заключній стадії обробки гарячекатаних штаб і листів. Це дозволить споживачам металопрокату із значним економічним ефектом замість дорогокоштуючого холоднокатаного листового прокату використовувати порівняно недорогий гарячекатаний. Виробники при виготовленні і поставках гарячекатаного листового прокату замість холоднокатаного також отримують економію за рахунок зниження витрат на додаткові операції – холодну прокатку та відпал [3].

В дійсній роботі на окремо розташованому однокліттьовому стані дресуванню піддавали прокатаний на безперервному широкоштабовому стані (БШС) гарячекатаний метал товщиною 2,0 мм із низьковуглецевої сталі 08пс, досліджували його структуру і властивості. Травлення гарячекатаних штаб здійснювали в безперервному травильному агрегаті (БТА), в складі обладнання якого відсутні окалиноламах і дресирувальна кліть, а їх функцію виконувала вигинно-розтяжна машина (ВРМ).

Експериментально встановлено, що після обробки в БТА відбувається змінення механічних властивостей гарячекатаного металу: характеристики пластичності знижуються, а міцнісні зростають. Причому, при працюючій ВРМ, що входить до складу БТА, це змінення більш помітно. На кривих розтягнення зразків гарячекатаних, травлених в БТА штаб зуб і площадка текучості відсутні.

Погіршення механічних властивостей гарячекатаного, травленого в БТА тонколистового прокату, викликано процесами наклепу і деформаційного старіння.

В процесі досліджень встановлено, що наступне після травлення в БТА дресування на окремо розташованому стані гарячекатаних штаб товщиною 2,0 мм із сталі 08пс зі ступенем деформації до 2% дещо підвищує міцнісні характеристики металу і знижує його пластичність (табл. 1).

Механічні властивості дресованих травлених штаб повністю відповідають вимогам ДСТУ 2834–94 групи міцності K270В не тільки для гарячекатаного прокату, але і для холоднокатаного.

Досліджували вплив дресування на механічні властивості попередньо термооброблених гарячекатаних травлених в БТА рулонних штаб товщиною 2,0 мм із сталі 08пс [4-6]. В ковпакових печах рулони тонколистової сталі піддавали світлому відпалу при температурах 680–710°C, час нагріву 40–48 год, час охолодження 60–75 год. Дресували відпалені в ковпакових печах рулонні штаби на окремо розташованому дресувальному стані з обтискуванням 1,5 %.

Данні табл. 1 свідчать про те, що термообробка в ковпакових печах суттєво підвищує пластичність гарячекатаної, травленої в БТА тонколистової сталі. Дресування відпаленого в ковпакових печах металу дещо підвищує його міцностні характеристики.

Результати мікроструктурних досліджень показали, що в тонколистовому прокаті відпал в ковпакових печах сприяє утворенню рівномірної по перерізу штаби структури із зерном фериту 7,8 номерів згідно з ДСТУ 2834-94.

Таблиця 1 – Механічні властивості гарячекатаних штаб із сталі 08пс після травлення, термообробки і дресування

Межа текучості	Межа міцності	Відносне подовження	Твердість HRB	Глибина лунки
МПа		%	од.	мм
Після гарячої прокатки				
255	360	34	54	12,4
Після травлення				
295	380	31	60	12,0
Після травлення і дресування				
305	380	30	62	12,0
Після світлого відпалу в ковпакових печах				
215	340	42	37	13,0
Після відпалу і дресування				
215	340	41	38	13,0

Отже, сумарний ступінь деформації, який отримується тонколистовим прокатом після обробки в БТА, знаходиться в зоні докритичних деформацій (2-3%), що позитивно впливає на структуроутворення в металі при наступному відпалі.

Висновки

1. Визначено, що в результаті термообробки і дресування на окремо розташованому стані гарячекатаної тонколистої низьковуглецевої сталі підвищується пластичність металу та формується однорідна структура згідно з вимогами ДСТУ 2834-94.

2. Оскільки гарячекатаний дресований тонколистовий прокат за показниками якості відповідає вимогам до холоднокатаного прокату відповідно до ДСТУ 2834-94, можлива заміна дорогокоштуючого холоднокатаного листа більш дешевим, але такої ж якості гарячекатаним.

3. Використання гарячекатаного прокату для холодної штамповки замість холоднокатаного забезпечить зростання продуктивності праці, зниження витратного коефіцієнту металу, економію електроенергії та природного газу.

Література

1. Yu.M. Koval, V.Z. Kutsova, T.V. Kotova, M.A. Kovzel Forecasting and controlling the structure and properties of ultra-low-carbon steels / *Metallophysics and Advanced Technologies*, 2021 – vol. 43, p.p. 753-768. – ISSN1024-1809 (Print) E-ISSN: 2617-1511 (Online).
2. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Підручник / Куцова В.З., Ковзель М. А., Носко О. А. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 348 с.
3. Злов В.Е. Производство горячекатаных полос с потребительскими свойствами, соответствующими холоднокатаным / В.Е.Злов, А.П. Буданов, А.И. Черкасский // *Сталь*. – 1997. – № 6. – С. 53.
4. Тонколистова сталь: Монографія / Ю.С. Пройдак, В.З. Куцова, М.А. Ковзель, Т.В. Котова, Г. П. Стеценко / Дніпро: НМетАУ, 2018. – 311 с. – ISBN 978-617-7696-51-2.
5. Франценюк И.В. Тонколистовой прокат разных уровней пластичности и прочности для холодной штамповки / И.В. Франценюк, Л.И. Франценюк, С.С. Колпаков, А.П. Коньшин, В.Г. Иванченко, Е.С. Какушкин // *Сталь*. – 1991. – № 12. – С. 42 – 45.
6. Франценюк Л.И. Некоторые особенности производства горячекатаного травленого листового проката для холодной штамповки / Л.И. Франценюк, В.Г. Иванченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1993. – № 3. – С. 25-27.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF THIN SHEET STEEL 08ПC AFTER SKIN-ROLLING

Kotova Tetiana, Kovzel Maxim

Abstract. The requirements of standards for quality indicators of rolled products are increasing. Relevant is the saving of operating costs in the manufacture of a thin sheet. Skin rolling is one of the key operations in the technological process of production of hot-rolled sheets for cold stamping. In order to improve the quality of thin-sheet rolled products, it is important to develop an effective skin rolling technology. In this work, the structure and properties of hot-rolled thin-sheet low-carbon steel 08пс after skin pass at a separately located mill are studied. It is shown that as a result of processing, the plasticity of the metal increases and a uniform structure is formed over the sheet section. It has been established that hot-rolled sheet metal in terms of quality meets the requirements for cold-rolled products in accordance with ДСТУ 2834-94. It is possible to replace an expensive cold-rolled sheet with a cheaper, but of the same quality, hot-rolled sheet. As a result, an increase in labor productivity, a decrease in the metal consumption coefficient, and savings in electricity and natural gas are achieved.

Keywords: low-carbon steel, hot-rolled sheet steel, skin-rolling, mechanical properties, plasticity.

References

1. Yu.M. Koval, V.Z. Kutsova, T.V. Kotova, M.A. Kovzel Forecasting and controlling the structure and properties of ultra-low-carbon steels / *Metallophysics and Advanced Technologies*, 2021 – vol. 43, p.p. 753-768. – ISSN1024-1809 (Print) E-ISSN: 2617-1511 (Online).
2. Alloy steels and alloys with special properties. Textbook / Kutsova V. Z., Kovzel M. A., Nosko O. A. - Dnepropetrovsk: NMetAU, 2008. - 348 p.
3. Zlov V.E. Production of hot-rolled strips with consumer properties corresponding to cold-rolled strips / V.E. Zlov, A.P. Budanov, A.I. Cherkassky // *Steel*. - 1997. - No. 6. - P. 53.
4. Sheet steel: Monograph / Yu. S. Proydak, V. Z. Kutsova, M. A. Kovzel, T. V. Kotova, G. P. Stetsenko / Dnipro: NMetAU, 2018. - 311 p. – ISBN 978-617-7696-51-2.
5. Frantsenyuk I.V. Rolled sheets of different levels of plasticity and strength for cold stamping / I.V. Frantsenyuk, L.I. Frantsenyuk, S.S. Kolpakov, A.P. Konshin, V.G. Ivanchenko, E.S. Kakushkin // *Steel*. - 1991. - No. 12. - P. 42 - 45.
6. Frantsenyuk L.I. Some features of the production of hot-rolled pickled sheet metal for cold stamping / L.I. Frantsenyuk, V.G. Ivanchenko // *Metallurgical and mining industry*. - 1993. - No. 3. - P. 25-27.

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГОВАНОГО ПРОКАТУ

Луценко В.А., Голубенко Т.М., Чуйко І.М., Луценко О.В.

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

Вступ. У металургійній галузі України відбувається зниження завантаження виробничих потужностей із одночасною втратою традиційних ринків збуту металопродукції. З метою підвищення ефективності функціонування підприємств машинобудівного комплексу доцільно здійснювати переорієнтацію на виробництво конкурентоспроможної продукції, впроваджувати сучасні технології зі збереженням рентабельності виробництва та економії ресурсів [1]. Виробництво прокату з легованих сталей особливо важливе для машинобудування. Сучасне машинобудування ставить все більш високі вимоги до експлуатаційних властивостей матеріалів, тому в останні роки збільшується число нових марок легованої сталі. Основна увага при розробці нових марок сталі зосереджена на підвищенні механічних властивостей. Тому цікавим є вивчення впливу хімічного складу та обробки на структуру й механічні властивості прокату зі сталей, легованих хромом, молібденом і ванадієм, із метою раціонального використання ресурсів [2-4]. В даний час сталі, леговані хромом, молібденом, ванадієм та іншими елементами, широко використовуються в машинобудуванні [5]. Термічна обробка сталевого прокату в машинобудуванні переслідує основну мету: створити структуру прокату, що забезпечує високопродуктивну обробку різанням, холодною висадкою або штампуванням. Вимоги нормативів за механічними властивостями сортового прокату з легованих конструкційних сталей забезпечуються застосуванням декількох видів термічної обробки, в залежності від марки сталі: нормалізації, відпалу або поліпшення.

Результати дослідження. Для виявлення ролі хімічного складу сталі на формування властивостей і оцінки впливу ступеня легування аналізувався масив інформації про склад плавок сталі 31CrMoV9. Вміст хімічних елементів у даній сталі нормується стандартом EN 10085:2001. Використовували багатокритеріальне рішення задач із оптимізації, пов'язане з досягненням

відповідних механічних властивостей (програмна реалізація розроблена в Інституті чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України [6, 7]). В якості базової моделі використовувалася залежність механічних властивостей від структурного модельного параметра d (середньостатистична між'ядерна відстань між взаємодіючими атомами досліджуваної сталі). Значення структурного параметру d залежить від вмісту хрому, молібдену й ванадію.

З використанням математичного та фізико-хімічного моделювання були побудовані математичні залежності взаємозв'язку структурного параметру (d) від механічних властивостей (σ_B , δ_5):

$$\sigma_B = -115015 \cdot d + 332831 \quad (R = 0,8), \quad \delta_5 = 199,6 \cdot d^2 - 570 \cdot d \quad (R = 0,7),$$

де σ_B – границя міцності, δ_5 – відносне подовження.

Виявлено, що зростання фізико-хімічного параметра d знижує границю міцності та підвищує відносне подовження сталі 31CrMoV9.

Визначено, що для гарантованого виконання вимог (EN 10085:2001) границі міцності (900-1000 МПа) і відносного подовження (> 11 %) сталі 31CrMoV9 кількість легуючих елементів повинна відповідати наступному вмісту: 2,46...2,62 % Cr, 0,2...0,24 % Mo і 0,17...0,19 % V.

Для визначення впливу параметрів термічної обробки на формування структури зразки сталі 31CrMoV9 нагрівали до температури аустенітизації ($A_3+200^\circ\text{C}$) з охолодженням до кімнатної температури при різних умовах із швидкостями в діапазонах $0,03...0,07^\circ\text{C}/\text{c}$, $0,4...0,8^\circ\text{C}/\text{c}$ та $2...8^\circ\text{C}/\text{c}$.

Після нагрівання й повільного безперервного охолодження зі швидкістю в діапазоні $0,03...0,07^\circ\text{C}/\text{c}$ структура хромомолібденованадієвої сталі складалася з фериту й пластинчастого перліту різної дисперсності (рис. 1, а).

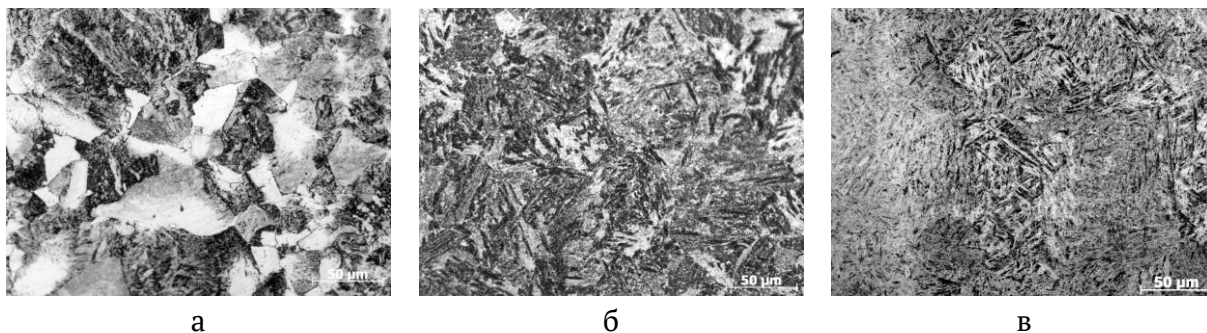


Рисунок 1 – Структура сталі 31CrMoV9 після аустенітизації та охолодження зі швидкостями: $0,03...0,07^\circ\text{C}/\text{c}$ (а), $0,4...0,8^\circ\text{C}/\text{c}$ (б) і $2...8^\circ\text{C}/\text{c}$ (в)

Нагрівання й безперервне охолодження зі швидкістю $0,4...0,8^{\circ}\text{C}/\text{с}$ сприяє утворенню структури, що складається з бейніту з нерівномірно розподіленими частинками цементиту в феритній матриці, фериту та невеликої кількості перліту. (рис. 1, б) Після процесу аустенізації й подальшого безперервного охолодження в інтервалі швидкостей $2...8^{\circ}\text{C}/\text{с}$ структура хромомолібденованадієвої сталі складається з бейніту, мартенситу й фериту (рис. 1, в).

Для підвищення кількості бейнітної структури, яка скоріше перетворюється при відпуску [8, 9], та зменшення кількості небажаного перліту, рекомендовано охолодження від температур аустенізації проводити зі швидкістю $0,8...2^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Подальший відпал сталі з переважно бейнітною структурою забезпечив необхідний рівень механічних властивостей сталі при скороченому режимі обробки (зниження температури та скорочення тривалості витримки).

Висновки. Результати досліджень дозволили прогнозувати рівень механічних властивостей для певного хімічного складу хромомолібденованадієвих сталей, що дозволяє раціонально використовувати хімічні елементи й гарантовано виконувати вимоги європейської нормативної документації EN 10085:2001. Підвищення швидкості охолодження прокату дозволить скоротити режим наступної обробки.

Література

1. Пігуль Н. Г. Сучасний стан та перспективи розвитку машинобудівного комплексу України / Н. Г. Пігуль, Є. І. Пігуль // Економіка та суспільство. – 2018. – № 15. – Режим доступу до журналу : <http://economyandsociety.in.ua>
2. Lutsenko V. A. Investigation of structure formation features in Cr-Mo steel bar section in the process of energy-saving heat treatment / V. A. Lutsenko, T. N. Golubenko, M. F. Evsyukov, N. I. Anelkin, V. I. Shcherbakov // Metallurgical and Mining Industry. 2010. – Volume 2. – Issue 1. – p.p. 47-50.
3. Parusov E. V. Influence of chemical composition and cooling parameters on kinetics of austenite decomposition in high-carbon steels / E. V. Parusov, V. A. Lutsenko, I. N. Chuiko, E. V. Parusov // Chernye Metally. – 2020. – № 9. – p.p. 39-44.
4. Lutsenko V. A. Structure formation in the heat treatment of alloy steel bar / V. A. Lutsenko, P. A. Bobkov, T. N. Golubenko, L. A. Drobyshevskii, V. I. Gritsaenko // Steel

in Translation. – 2013. – Vol. 43. – Issue 6. – p.p. 394-398.

<https://doi.org/10.3103/S0967091213060119>.

5. Description 31CrMoV9, Material specification, Typical applications. LonghaiSteel Inc. China. URL: http://www.ccsteels.com/Structural_steel/1447.html

6. Приходько Э. В. Физико-химическое моделирование процессов межатомного взаимодействия в металлургических расплавах / Э. В. Приходько, Д. Н. Тогобицкая // ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет». – 1999. – № 7. – С. 72-83.

7. Козачёк А. С. Влияние степени легирования на прочностные свойства конструкционных сталей / А. С. Козачёк, Э. В. Приходько, В. А. Луценко, Л. А. Головки // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2014. – Вып. 29. – С. 196-201.

8. Гудремон Э. Специальные стали. Москва: Металлургия, 1966, 1274 с.

9. Lutsenko V. A. Features of annealing alloy steels with mixed structure / V. A. Lutsenko, T. N. Golubenko, O. V. Lutsenko // Chernye Metally. – 2021. – No. 4. – p.p. 39-43. <https://doi.org/10.17580/chm.2021.04.07>.

MODELING OF THE INFLUENCE OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND STRUCTURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF ALLOY ROLLED PRODUCTS

Lutsenko Vladislav, Golubenko Tatyana, Chuiko Ihor, Lutsenko Olga

Abstract. At present, carbon steels alloyed with chromium, molybdenum and vanadium are widely used in industry and mechanical engineering. It is known that the complex of mechanical properties of metal products depends on the number of alloying elements and the mode of heat treatment. With the help of mathematical and physico-chemical modeling, dependences were constructed that allow to predict the level of mechanical properties of alloy steel. The ranges of the number of alloying elements for 31CrMoV9 steel are defined, which guarantee compliance with the requirements of regulatory documentation beyond the strength and elongation. Metallographic studies allowed to establish the influence of heat treatment parameters on the structure of the studied alloy steel. Recommended cooling rates, which allow to obtain a more acceptable structure for further processing with the required mechanical properties.

Keywords: alloy, chemical composition, heat treatment, cooling, structure, mechanical properties.

References

1. Pigul N. G. Modern mill and prospects for the development of a machine-building complex in Ukraine / N. G. Pigul, E. I. Pigul // Economics and Sustainability. – 2018. – No. 15. Retrieved from: <http://economyandsociety.in.ua>
2. Lutsenko V. A. Investigation of structure formation features in Cr-Mo steel bar section in the process of energy-saving heat treatment / V. A. Lutsenko, T. N. Golubenko, M. F. Evsyukov, N. I. Anelkin, V. I. Shcherbakov // Metallurgical and Mining Industry. 2010. – Volume 2. – Issue 1. – p.p. 47-50.
3. Parusov E. V. Influence of chemical composition and cooling parameters on kinetics of austenite decomposition in high-carbon steels / E. V. Parusov, V. A. Lutsenko, I. N. Chuiko, E. V. Parusov // Chernye Metally. – 2020. – No. 9. – p.p. 39-44.
4. Lutsenko V. A. Structure formation in the heat treatment of alloy steel bar / V. A. Lutsenko, P. A. Bobkov, T. N. Golubenko, L. A. Drobyshevskii, V. I. Gritsaenko // Steel in Translation. – 2013. – Vol. 43. – Issue 6. – p.p. 394-398.
<https://doi.org/10.3103/S0967091213060119>.
5. Description 31CrMoV9, Material specification, Typical applications. LonghaiSteel Inc. China. URL: http://www.ccsteels.com/Structural_steel/1447.html
6. Prikhodko E. V. Physical and chemical modeling of interatomic interaction processes in metallurgical melts / E. V. Prikhodko, D. N. Togobitskaya // Priazovsky State Technical University. – 1999. – No. 7, – p.p. 72-83.
7. Kozachek A. S. Influence of the degree of alloying on the strength properties of structural steels / A. S. Kozachek, E. V. Prikhodko, V. A. Lutsenko, L. A. Golovko // Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. – 2014. – Issue 29. – p.p. 196-201.
8. Gudremon Je. Special'nye stali [Special steels], Moscow, Metallurgija, 1966, 1274 p
9. Lutsenko V. A. Features of annealing alloy steels with mixed structure. / V. A. Lutsenko, T. N. Golubenko, O. V. Lutsenko // Chernye Metally. – 2021. – No. 4. – p.p. 39-43.
<https://doi.org/10.17580/chm.2021.04.07>.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.013

**ПРО ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУР САМОВІДПУСКУ
СТРИЖНЕВОЇ АРМАТУРИ З ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ
ПІД ЧАС ТЕРМІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ**

Парусов Е.В., Чуйко І.М., Парусов О.В., Сагура Л.В.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України (Україна)

Вступ. На ринку конструкційних сталей наразі спостерігається суттєвий попит на бунтовий прокат з високовуглецевих сталей, який у подальшому піддають холодному пластичному деформуванню, механо-термічному обробленню і використовують для виготовлення холоднодеформованої арматури, сталевих арматурних канатів тощо. Комплекс механічних властивостей бунтового прокату є структурно чутливим показником, а головна проблема під час його виготовлення полягає у підвищеному вмісті неметалевих включень та суттєвому розвитку ліквіації, що й обумовлює вимушене відсортування готової товарної продукції.

Виробництво бунтового прокату зі значним відхиленням за показниками якості можливо попередити вже на етапі одержання сталевий заготовки. Методологічні підходи до ідентифікації та прогнозування середніх розмірів включень та балу ліквіації у структурі прокату в залежності від вихідної якості сталевий заготовки ретельно розглянуто у попередніх роботах авторів.

У відповідності до раніше проведених досліджень встановлено особливості формування структури та можливість промислового виготовлення термічнозміцненої стрижневої арматури класів міцності А800 і А1000 зі сталей, що містять 0,57...0,88 % С [1]. Очевидно, що виготовлення термічнозміцненого прокату зі сталей, які містять більш високий вміст вуглецю, на відміну від традиційних марок, призводить до різкого зменшення показників пластичності й утворення тріщин. Одним із головних параметрів технології термічного зміцнення арматурних сталей є температура самовідпуску ($t_{сам}$), тобто ступінь переохолодження прокату від температур гарячого деформування, який й визначає ймовірність утворення незворотніх дефектів (тріщин).

Незважаючи на значну кількість досліджень щодо впливу цього параметру на якість стрижневої арматури, яка виготовляється із традиційних сталей, такі дані для високовуглецевих сталей наразі є відсутніми.

Отже, мета роботи – визначення раціональних температур самовідпуску, які забезпечують відповідність механічних властивостей арматурного прокату з високовуглецевих сталей вимогам ДСТУ 3760:2019 із гарантованою відсутністю тріщин.

Результати досліджень. В якості вихідного матеріалу використано безперервнолиту заготовку перерізом 125 мм × 125 мм зі сталей C56D, C70D, C80D, C82D (EN 16120:2-2017) із вмістом вуглецю 0,57...0,88 %. Порівняльний аналіз механічних властивостей арматурного прокату різних профілів наведено в табл. 1 (механічні випробування до і після проведення електронагріву позначені цифрами 1 і 2 відповідно, знаки «+» і «-» свідчать про позитивний або негативний результат вигину зразків на кут 45 у холодному стані) [2].

Показники пластичності арматурного прокату зі сталей C56D...C82D в ряді випадків безпосередньо після прокатування не відповідали вимогам ДСТУ 3760:2019, але після витримування досягали нормативних значень. Після нагріву механічні властивості прокату зростають за рахунок стабілізації структури і релаксації напружень. На деяких зразках після нагріву тимчасовий опір руйнуванню зменшувався, що очевидно пов'язано з великим ступенем вихідного зміцнення прокату й подальшим його знеміцненням у процесі відпуску.

Результати, які отримані при прокатуванні та термічному зміцненні дослідних партій арматурного прокату різних профілів, дозволили визначити раціональні температури самовідпуску класів міцності A800 і A1000 для способу переривчастого загартування (табл. 2).

Таблиця 1 – Зміна механічних властивостей
арматурного прокату з високовуглецевих сталей

Ø, мм	$t_{сам}$, °C	ІСПИТ	Механічні властивості					
			σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,02} \div \sigma_{0,2}$	δ_5 , %	δ_p , %	Вигин
сталь С56D								
14	400	1/2	1184/1198	1039/1041	0,82/0,87	14,0/13,1	2,6/3,9	+/+
20	400	1/2	1135/1132	902/874	0,82/0,87	7,0/6,8	5,0/5,6	+/+
	420	1/2	1064/1083	872/879	0,88/0,87	5,6/8,3	4,8/5,4	+/+
	490	1/2	1054/1056	837/828	0,89/0,90	6,1/7,5	5,0/5,6	+/+
	570	1/2	972/958	739/728	0,93/0,93	5,2/11,5	5,6/8,0	+/+
сталь С70D								
10	400	1/2	1275/1266	1099/1112	0,96/0,96	14,6/14,0	4,4/4,0	+/+
	420	1/2	1158/1172	956/978	0,98/0,97	14,4/15,0	4,4/4,0	+/+
	440	1/2	1065/1064	820/818	0,99/1,00	16,0/16,0	6,6/6,0	+/+
12	400	1/2	1196/1194	1019/1022	0,93/0,94	13,5/12,1	3,8/3,4	+/+
	450	1/2	1031/1022	791/793	0,79/0,99	15,3/14,3	6,6/6,8	+/+
14	420	1/2	1149/1153	951/968	0,98/0,98	12,9/13,4	5,0/4,6	+/+
16	410	1/2	1141/1136	954/960	0,96/0,97	11,5/12,5	4,0/4,0	+/+
	420	1/2	1054/1052	841/841	0,97/0,97	13,5/14,3	6,0/4,4	+/+
20	400	1/2	1114/1132	859/874	0,86/0,87	5,6/6,8	4,6/5,6	+/+
	410	1/2	1116/1130	872/877	0,86/0,91	7,4/8,5	4,8/5,4	+/+
сталь С80D								
12	450	1/2	1350/1254	1150/1051	0,86/0,95	5,9/7,4	2,2/4,0	+/+
16	490	1/2	1147/1129	877/864	0,98/1,00	10,1/11,1	6,8/8,0	+/+
	590	1/2	1139/1126	867/847	0,98/0,99	11,4/14,4	6,2/9,0	+/+
сталь С82D								
14	600	1/2	1195/1193	900/898	0,99/0,99	11,4/11,8	7,0/6,9	+/+
	630	1/2	1169/1159	868/859	0,99/0,98	11,9/12,1	6,6/7,0	+/+
	650	1/2	1120/1116	813/811	0,99/0,97	11,7/11,9	7,6/6,0	+/+
16	410	1/2	1147/1318	1040/1063	0,93/0,90	1,9/6,3	0,4/3,0	-/+
	460	1/2	1184/1182	903/897	0,96/0,95	6,3/10,0	4,0/6,0	+/+
	570	1/2	1192/1194	892/891	0,98/0,98	10,0/9,5	7,0/6,0	+/+
	620	1/2	1170/1173	879/870	0,97/0,98	5,0/11,3	3,0/6,0	+/+

Таблиця 2 – Визначення граничних температур
самовідпуску при термічному зміцненні арматури

№ профілю	$t_{сам}, °C$			
	C56D	C70D	C80D	C82D
10	410/390	420/400	510/460	650/480
12	400/380	410/390	500/450	640/460
14	400/380	410/390	500/450	630/460
16	400/380	410/390	490/430	620/440
20	390/370	400/380	480/420	570/430

Примітка. В чисельнику вказані значення для прокату класу міцності А800, у знаменнику – для класу міцності А1000.

Висновки. За результатами промислових експериментів показано, що зі зростанням вмісту вуглецю в сталі слід використовувати більш високі температури самовідпуску арматурного прокату. При цьому інтервал температур самовідпуску для отримання заданого класу міцності збільшується: для сталей C56D і C70D різниця в температурах для одного і того ж класу міцності становить 10 °C, для сталей C70D і C80D – 80...90 °C, а для сталей C80D і C82D – 90...140 °C. Це пояснюється не тільки зменшенням критичної швидкості охолодження прокату, а й тим, що зі збільшенням вмісту вуглецю зростає чутливість до ступеню переохолодження.

Література

1. Сычков А., Парусов Э., Моллер А. Технология термической обработки арматурного и фасонного проката в потоке сортовых станов (Теория и металлургическая практика) : монография. Germany-Mauritius : Palamarium Academic Publishing, 2017. 261 с. ISBN 978-3-659-72435-0.
2. Парусов Е. В., Губенко С. І., Чуйко І. М., Парусов О. В. Про технологічні особливості виготовлення арматурного прокату зі сталей перлітного класу. Металознавство та термічна обробка металів. 2021. № 3(94). С. 55-64.
DOI:10.30838/J.PMNTM.2413.010721.55.782.

**ON DETERMINATION OF RATIONAL TEMPERATURES OF
SELF-TEMPERING OF BAR REINFORCEMENT FROM
HIGH-CARBON STEELS DURING THERMAL HARDENING**

Parusov Eduard, Chuiko Ihor, Parusov Oleh, Sagura Lyudmyla

Abstract. The effect of self-tempering temperatures during thermal hardening and separate heating on the change in the mechanical properties of rebar made of steels C56D, C70D, C80D and C82D (EN 16120-2:2017) was studied. In general, reinforcing bars before and after heating complies with the requirements of the DSTU 3760:2019 standard, which apply to steel of strength classes A800 and A1000. Rational self-tempering temperature intervals have been established for guaranteed production of reinforcing bars of strength classes A800 and A1000 with the prevention of cracking. With an increase in the carbon content, it is necessary to increase the self-tempering temperature of rolled products, which accordingly reduces the level of steel hardening. In the production of rebar, strict control over the temperature-time conditions of water cooling and the actual values of self-tempering temperatures should be observed due to the fact that high-carbon steels are very sensitive to cracking when using intensive water cooling modes.

Keywords: reinforcing bars, thermal hardening, cracks, self-tempering temperature, high-carbon steel.

References

1. Sychkov A., Parusov E., Moller A. Tehnologiya termicheskoy obrabotki armaturnogo i fasonnogo prokata v potoke sortovyih stanov (Teoriya i metallurgicheskaya praktika) [Technology of heat treatment of reinforcing and shaped steel in the stream of section mills (Theory and metallurgical practice)] : monograf. Germany-Mauritius : Palamarium Academic Publishing, 2017. 261 p. ISBN 978-3-659-72435-0.
2. Parusov E. V., Gubenko S. I., Chuiko I. M., Parusov O. V. Pro tehnologichni osoblivosti vigotvlennya armaturnogo prokatu zi staley perlitnogo klasu [About technological features of production of reinforcing bars from pearlite grade steels]. Metal science and thermal processing of metals. 2021. № 3(94). C. 55-64. DOI:10.30838/J.PMHTM.2413.010721.55.782.

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВВЕДЕННЯ
АКТИВНИХ РЕАГЕНТІВ У РІДКИЙ ЧАВУН ДЛЯ
ЗДІЙСНЕННЯ ПРОЦЕСУ КОМПЛЕКСНОГО РАФІНУВАННЯ**

Пушкаренко М.В.¹, Молчанов Л.С.², Кисляков В.Г.²

¹ *Інститут промисловості та бізнес технологій УДУНІТ*

² *Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ*

В сучасних умовах металургійні підприємства зазнають значного дефіциту якісної металошихти, що призводить до погіршення техніко-економічних показників процесів виробництва рідкої сталі та металопродукції з неї [1]. Тому актуальною задачею сучасної металургійної науки є розробка технічних рішень що до поліпшення якості метало шихти. Серед всіх її складових особливе місце займає рідкий чавун, який є основною складовою шихтових матеріалів у більшості технологічних процесів з виплавки сталі.

Металургійні підприємства з сучасною схемою організації виробничого процесу як обов'язкову складову технологічного ланцюга мають ланку позапічної десульфурації чавуну. Яка може бути реалізована за рахунок моноінжекції металевого магнію, коінжекції сумішей на базі вапна та магнію або механічного перемішування рідкого чавуну з вапном (KR-процес) [2]. Проте, в умовах підвищення в чавуні вмісту кремнію і фосфору технологічна операція з позапічної десульфурації чавуну не може у повному обсязі задовольнити сучасні вимоги до хімічного складу переробного чавуну, особливо за умови його переробки у кисневих конвертерах. З метою вирішення зазначеної проблеми була розроблена значна кількість технологій комплексного видалення домішок з чавуну, проте здебільшого вони відрізнялися багатостадійною схемою організації процесу рафінування. При цьому технологічний цикл виплавки сталі значно подовжувався, а рідкий чавун зазнавав значних тепловтрат [3]. Тому актуальним завданням для розвитку сучасних способів позапічного рафінування чавуну є створення комплексних технологій одночасного видалення декількох домішок з розплаву. В контексті цього особливий інтерес викликає аналіз методів введення активних реагентів у розплав з метою виявлення найбільш раціональних комбінацій.

В таблиці 1 представлені узагальнені технологічні показники різних способів введення активних реагентів у рідкий чавун. Виходячи з наведених показників у ній, найбільш раціональними схемами паралельного видалення декількох домішок є:

- інжекційне введення одного реагенту та введення іншого реагенту паралельно за допомогою порошкового дроту;
- окреме інжекційне введення двох реагентів;
- інжекційне введення одного реагенту та введення другого реагенту на поверхню розплаву в формі порошкоподібної суміші.

Що стосується технологічної схеми окремої інжекції двох реагентів в об'ємі одного ковша, то реалізація такої схеми можлива лише в ковшах великого об'єму, що дозволить незалежно існувати двом контурам циркуляції, які не будуть заважати один одному. Тому вказана схема не є достатньо технологічною для умов виробництва з різними об'ємами чавуну, що піддається обробці.

Технологічна схема інжекції одного реагента та введення іншого на поверхню розплаву у формі порошкоподібного реагенту дозволяє обробляти чавун різної маси, проте через малоконтрольований процес засвоєння реагенту з поверхні розплаву є нераціональною і складно керованою з позицій отримання гарантовано низького вмісту домішок у чавуні.

Процес введення одного реагенту за рахунок інжекції, а іншого у формі порошкового дроту – є найбільш доцільним при здійсненні технології комплексного рафінування чавуну, оскільки дозволяє досягти високого ступеня засвоєння реагентів при можливості чіткого дозування кожного з реагентів.

Таким чином, узагальнюючи вище викладений матеріал необхідно зробити висновок про те, що найбільш раціональною схемою введення реагентів при здійсненні процесу паралельного видалення домішок з чавуну є подача одного реагенту за рахунок інжекції, а іншого у формі порошкового дроту при використанні трайб апаратів. Саме зазначена технологія є найбільш перспективною з технологічного боку у разі реалізації процесу комплексного рафінування чавуну від сірки та кремнію.

Таблиця 1 – Узагальнені технологічні показники
введення активних реагентів у рідкий чавун для рафінування [4, 5]

№	Технологічний показник	Варіант введення активного реагенту у рідкий чавун		
		інжекція	введення у формі порошкового дроту	введення на поверхню розплаву у порошкоподібній формі
1.	Ступінь засвоєння реагенту, %	96 - 98	98 - 99	50 - 60
2.	Можливість чіткого дозування кількості засвоєного реагенту	+	+	-
3.	Можливість автоматизації	+	+	+
4.	Екологічність	+	+	-

Література

1. Бойченко Б.М., Поляков В.Ф., Харахулах В.Ф. Состояние и проблемы сталеплавильного производства Украины. – Вестник ПГТУ. – 1999. – Вып. № 7. – С. 17 – 23.
2. А.Ф. Шевченко, И.А. Маначин, А.С. Вергун и др. Внепечная десульфурация чугуна в ковшах Технология. Исследования. Анализ. Совершенствование: Монография.—Днепропетровск: Дніпро–VAL, 2017. – 256с.
3. Молчанов Л.С., Вакульчук В.В., Кобеляцький О.С. Аналіз сучасних технологій позапічної обробки чавуну / Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 17 квітня 2018 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – с. 273 – 286.
4. Баптизманский В.И., Величко А.Г., Исаев Е.И. Внепечная обработка стали: Учеб. пособие - К.: УМК ВО, 1988. - 52 с.
5. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Производство стали. Том 2. Внепечная обработка жидкого чугуна. - М.: Теплотехник, 2008. – 400 с.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL FOR PREDICTION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL

Togobytska Nataliya

University of Applied Sciences (HTW Berlin), *Treskowallee 8, 10318 Berlin, Germany*

Introduction. Structural steels are the widely used materials in almost all industries worldwide. They have a high strength-to-weight ratio that makes them excellent for use in the construction of large structures, such as buildings, warehouses, bridges and factories. Especially high-strength low-alloy steels show a great potential for many applications. These steels have greater hardenability than structural carbon steels and can thus provide high strength and good toughness in thicker sections by heat treatment. They typically have a manganese content of up to 2.0%. Small portions of other alloying elements, such as chromium, nickel, molybdenum, nitrogen, vanadium, niobium and titanium can be used in different combinations to provide improved heat and corrosion resistance.

The influence of alloying and microalloying on the mechanical properties of high-strength steels has been investigated in many scientific works, i.e. [1 - 4]. In the previous work [5] a multi-criteria optimization approach was introduced, based on the regression model for mechanical properties of high-strength structural steels. The regression model, which incorporates the parameters of interatomic interaction, was derived based on an industrial data set containing the data of chemical composition and tensile strength for 12 different steel grades. The advantage of this approach proposed by Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, is that through the dimension reduction of the parameter space (chemical composition) to a few integral parameters of the interatomic interaction, even the influence of new microalloying elements on the mechanical properties of steel can be reliably estimated in advance.

In this paper, a data-driven Machine Learning (ML) - based prediction model for tensile strength of high-strength structural steels is derived. The ML techniques have proven to be extremely useful for predicting material properties when the physical process is quite complex to describe and there is a significant amount of experimental data. In the literature, different ML techniques for prediction of

mechanical properties of steel are presented [6, 7]. For example, in [6] the authors employed different ML techniques such as neural networks to predict critical mechanical properties for steel tubes, namely yield strength, ultimate tensile strength and hardness.

In this work, an ANN model was developed and validated for predicting the tensile strength of high-strength structural steels based on the experimental data reported in [5]. The ability of a neural network to approximate an unknown input–output mapping makes this approach very popular in various application fields. ANN are adaptive systems that adjust their structure based on external or internal information that flow through the network during the learning (training) phase [8]. They consist of neurons organized into layers, where outputs from one layer are used as inputs into the following layer mapped by an activation function. The basic architecture of a neural network is shown in Figure 1.

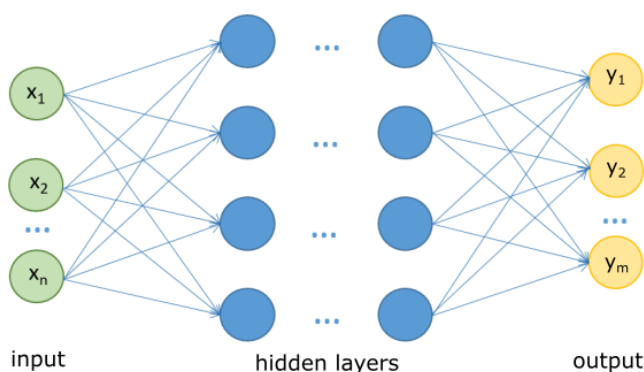


Figure 1 – Schematic representation of a classical type of ANN; each circle in the layers represents a neuron; x_1, \dots, x_n and y_1, \dots, y_m are the network inputs and outputs, respectively

There are typically three types of layers in ANN: input layers take raw input from the external environment, hidden layers that take input from another layer and pass output to another layer, and output layers that make a prediction. Each layer is composed of a number of neurons, which can be adjusted during ANN model training.

Results and Discussion. The ANN model for tensile strength was composed of three layers: input layer, hidden layer and output layer. The input layer contained two neurons, namely structural state parameter for microalloying elements d_{ml} and charge state of the melt Z^y [5]. The output layer with one neuron represents the value of tensile strength σ_B (MPa).

The modelling with ANNs consists of two parts, namely training and testing. After data standardization, the entire dataset was split in training and testing subsets. The entire experimental data set of 400 structural steel plates containing the data of chemical composition, tensile strength and calculated parameters of interatomic interaction is described detailed in [5]. A crucial part of the ANN modeling is to choose an appropriate algorithm to train the network from the experimental data set. In this work, a widely used *Adam* algorithm for first-order gradient-based optimization of stochastic objective functions was applied for the training of the neural network.

The model accuracy was measured using Mean Squared Error (MSE), which is the average of the squared differences between the predicted and actual values, and coefficient of determination R^2 , i.e. a goodness-of-fit measure for the model. The higher R^2 (or lower MSE), the better the ANN model fits the experimental data.

Training of ANNs is sensitive to the number of neurons in the hidden layer. During the training phase, different numbers of neurons in the hidden layer were tested. Fig. 2 shows the dependence of MSE and R^2 on the number of neurons in the hidden layer. In the hidden layer, the optimal number of neurons in the hidden layer was found to be 4 as illustrated in Fig. 2.

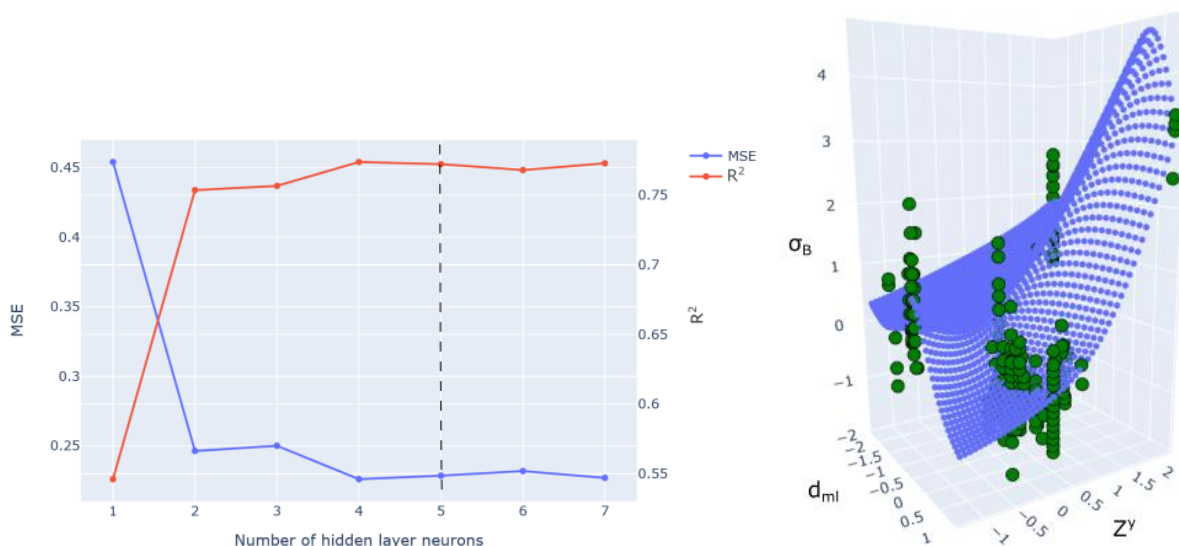


Figure 2 – Training curves representing R^2 and MSE to determine the optimal number of hidden layer neurons for the ANN model (left). Standardized experimental data and predicted values of tensile strength; d_{ml} , Z^y and σ_B are the parameters of interatomic interaction and tensile strength, respectively (right)

The accuracy of the ANN model ($R^2=0.78$) was compared to regression model from [5], which showed R^2 value of 0.72. Hence, the single hidden layer ANN model with 4 hidden neurons showed a predictive accuracy higher than that of the mathematical model in [5]. The ANN model can also be extended in a similar way for other mechanical properties of steel. It might be an attractive and useful tool for forecasting the mechanical properties and offers a potential for the further derivative free optimization of chemical composition for special quality criteria.

References

1. Li, X., Li, F., Cui, Y., Xiao, B., & Wang, X. (2016). The effect of manganese content on mechanical properties of high titanium microalloyed steels. *Materials Science and Engineering A-structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 677, 340-348.
2. Qingshen, M., Leqing, H., Guobiao, D., Yanfeng, W.A., Yongda, Y., & Changwen, M. (2017). Effect of microalloying elements on microstructure and properties of quenched and tempered constructional steel. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 242, doi:10.1088/1757-899X/242/1/012036.
3. Kalashnikov, I.S., Shalkevich, A., Acselrad, O., & Pereira, L.C. (2000). Chemical composition optimization for austenitic steels of the Fe-Mn-Al-C system. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 9, 597-602.
4. Tregubenko, G.N. (2017). Improvement of the properties of low-alloy constructional steels microalloyed with the nitrogen-titan-aluminum complex. (in Russian). *Металлургическая и горнорудная промышленность (Metallurgical and mining industry)*, 1, p. 67 – 71.
5. Babachenko, O., Kononenko, H., Snigura, I., & Togobytska, N. (2021). Optimisation of chemical composition of high-strength structural steels for achieving mechanical property requirements. Paper presented at ESAFORM 2021. 24th International Conference on Material Forming, Liège, Belgique. doi: 10.25518/esaform21.3654
6. Carneiro, M., Salis, T.T., Almeida, G.M., & Braga, A.P. (2021). Prediction of Mechanical Properties of Steel Tubes Using a Machine Learning Approach. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30, 434-443.
7. Pattanayak, S., Dey, S., Chatterjee, S., Chowdhury, S.G., & Datta, S. (2015). Computational intelligence based designing of microalloyed pipeline steel. *Computational Materials Science*, 104, 60-68.
8. Haykin S. (2009). *Neural Networks and Learning Machines*; Number Bd. 10 in *Neural Networks and Learning Machines*; Prentice Hall: Hamilton, ON, Canada.
9. Gurney, K. (2018). *An Introduction to Neural Networks*; CRC Press: London, UK

ПРОГНОЗУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Тогобицька Наталія

Анотація. Прогноз механічних властивостей є дуже важливим завданням у контролі якості сталі, яка є одним із найважливіших у світі інженерно-конструкційних матеріалів. До основних факторів, що впливають на механічні властивості сталі, відноситься термомеханічна обробка і хімічний склад. Хімічний склад може змінюватися для спеціальної високоміцної низьколегованої сталі, щоб відповідати певним вимогам до механічних властивостей. У цій роботі представлено підхід машинного навчання для прогнозування міцності на розрив в залежності від хімічного складу конструкційних сталей. На основі промислового набору даних була розроблена одношарова модель штучної нейронної мережі. Вхідними параметрами моделі були параметри міжатомної взаємодії, що характеризують хімічний і структурний стан розплаву. Результати моделювання показали, що модель зі штучними нейронними мережами може бути корисним інструментом для прогнозування механічних властивостей сталі. Це також є потенціалом для подальшої оптимізації хімічного складу для спеціальних критеріїв якості.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, конструкційні сталі, механічні властивості, хімічний склад.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL FOR PREDICTION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL

Togobytska Nataliya

Abstract. The prediction of mechanical properties is very important task in the quality control of steel, which is one of the world's most important engineering and construction materials. To the main factors affecting the mechanical properties of steel belongs thermomechanical treatment and the chemical composition. The chemical composition may vary for a special high-strength low-alloy steel to meet certain mechanical property requirements. This paper presents a machine learning approach for prediction of tensile strength of structural steels. A single hidden layer Artificial Neural Network (ANN) model was developed and validated based on industrial data set. The ANN model inputs were parameters of interatomic interaction, characterizing the chemical and structural state of the melt. The modeling results showed that the ANN model might be an attractive and useful tool for forecasting the mechanical properties of steel. It offers also a potential for the further derivative free optimization of chemical composition for special quality criteria.

Keywords: artificial neural network, structural steels, mechanical properties, chemical composition.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.015

ОТРИМАННЯ ВИСОКОГО РІВНЮ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ В ТОНКОСТІННИХ ТРУБАХ І ПРОФІЛЯХ З ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ

Фролов Я.В., Бобух О.С., Самсоненко А.А.

Український державний університет науки і технологій, Україна, Дніпро

Вступ. Для виробництва тонкостінних профілів та труб з високими механічними властивостями доцільно використовувати двофазну (DP) сталь, яка має феритно-мартенситну мікроструктуру. Для досягнення такої мікроструктури хімічний склад таких сталей містить 0,05...0,17 % карбону і до 3% марганцю, вони додатково леговані хромом і молібденом для уповільнення утворення перліту або бейніту), ванадієм та (або) і ніобієм для реалізації схеми дисперсійного зміцнення та запобігання росту зерна. Однак головним технологічним елементом у виробництві таких сталей, який забезпечує поєднання високої міцності і пластичності є спеціальна термічна обробка в інтервалі температур від A_1 до A_3 . Така термічна обробка забезпечує мікроструктуру, що складається з м'якої феритної матриці, що містить включення мартенситу, розташовані по границям зерен.

Основний матеріал. Комплекс властивостей тонкостінних виробів з такої сталі залежить від об'ємної частки, морфології феритної та мартенситної фаз в структурі. Термічна обробка таких сталей профілів може проводитися у два способи (Рис.1): інтегроване в лінію стана охолодження після гарячої прокатки (а), або окремий відпал в діапазоні температур після холодної деформації (б). При цьому температура і час витримки у двофазній області є важливими параметрами, які дозволяють керувати співвідношенням між феритом і мартенситом.

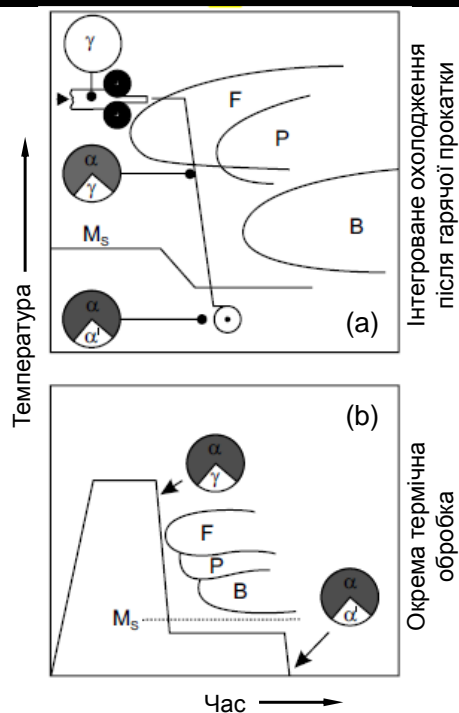


Рисунок 1 – Виробництво тонкостінного прокату з двофазних сталей за [1]

a – контрольоване охолодження інтегровано в лінію прокатного стану;

b – термічна обробка гарячого прокату

Труби і профілі з високоміцних сталей отримують в агрегатах безперервної дії, в котрих зони нагрівання, деформації та охолодження розділені. У цьому випадку для реалізації схеми за Рис. 1 (a) в лінію стана має бути інтегрований водо-повітряний спрейер для контрольованого охолодження прокату. У випадку, коли процес деформації йде за температури нижче A_1 , раціональним є проведення термічної обробки безпосередньо в лінії з нагріванням за допомогою прохідного індуктора з подальшим охолодженням. Дослідженню процесів обробки тиском та термічної обробки виробів присвячені роботи О. Гридїна, Т. Гербера, Е. Меца-Гарсія, Б.–А. Беренса, Л. Вольфа, Дж. Мориця та ін. Однак більшість робіт цих авторів стосується лише питань одержання виробів листовою штамповкою. В роботах [2, 3] розглянуто моделювання термічної обробки листів тільки зі сталі 22MnB5 під час загартування в пресі. Авторами роботи [4] також було проведено аналогічні дослідження під час загартування в пресі для отримання градієнту властивостей по довжині виробу, але тільки для сталей HRF1470 і 340Y. Беренсом Б.–А. було розглянуто штампування трубної заготовки, але були

проведені лише експериментальні дослідження з використанням пічного нагріву [5, 6]. Високоміцні сталі під час водоповітряної термічної обробки були досліджені в роботі [7], але автори використовували пічне загартування, проводили тільки експериментальні дослідження та не використовували математичне моделювання.

Висновки. Наведено аналіз способів виробництва токоємних труб і профілей з високоміцних двофазних сталей в агрегатах безперервної дії для умов гарячої і холодної деформації. Відображено стан досліджень впливу параметрів охолодження на властивості високоміцних сталей.

Література / References

1. Eisenwerkstoffe - Stahl und Gusseisen. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. ISBN 978-3-540-79955-9. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-79957-3>
2. Design of heat treatment processes for a tailored set of properties on 22MnB5 steel alloy sheets simulation and experiments / E. Meza-Garcia, A. Mosel, Y. Shchus [and others]: Hot sheet metal forming of high-performance steel, CHS2: 4th international conference. Verlag Wissenschaftliche Scripten. – С. 337–344.
<http://publica.fraunhofer.de/documents/N%2D246827.html>
3. Influence of Tooling Material and Temperature on the Final Properties of Tailor Tempered Boron Steels / L. Galdos, E. Sáenz de Argandoña, N. Herrero [and others] // Key Engineering Materials. – 2014. – Т.611-612. – С. 1102–1109.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.611-612.1102>
4. Experimental and Numerical Analyses of Hot Stamped Parts with Tailored Properties / J. W. Choi, H. H. Bok, F. Barlat [and others] // ISIJ International. – 2013. – Т.53, №6. – С. 1047–1056. – <https://doi.org/10.2355/isijinternational.53.1047>
5. Numerical and experimental investigations of the anisotropic transformation strains during martensitic transformation in a low alloy Cr-Mo steel 42CrMo4 / B.A. Behrens, A. Bouguecha, C. Bonk, A. Chugreev // Procedia Engineering. – 2017. – Т.207. – С. 1815–1820. – <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.944>
6. Press Hardening Of Tubes With Additional Interior Spray Cooling / B.A. Behrens, H. J. Maier, A. Neumann [et al.]. // International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering – 2015. – С. 957–963. – <https://doi.org/10.5281/zenodo.1106243>
7. 1-Step “Quenching and Partitioning” of the Press-Hardening Steel 22MnB5 / L. O. Wolf, F. Nürnberger, D. Rodman, H. J. Maier // Steel Research International. – 2017. – Т.88, №6. – С. 1600307. – <https://doi.org/10.1002/srin.201600307>

REACHING THE HIGH LEVEL OF MECHANICAL PROPERTIES IN THIN-WALLED TUBULAR PRODUCTS AND SHAPES OF HIGH STRENGTH STEELS

Frolov Yaroslav, Bobukh Oleksandr, Samsonenko Andriy

Abstract. To produce thin-walled tubular products and profiles with high level of mechanical properties, it is advisable to use two-phase (DP) steel, which has a ferritic-martensitic microstructure. The main technological element in the production of such products, which provides a combination of high strength and ductility is a special heat treatment in the temperature range from A_1 to A_3 . This heat treatment provides a microstructure consisting of a soft ferrite matrix containing martensite inclusions located at the grain boundaries. Tubular products and profiles made of high-strength steels are obtained in continuous units, in which the areas of heating, deformation and cooling are separated. In this case a water-air sprayer must be integrated into the mill line for controlled cooling of the outgoing product. In the case where the deformation process takes place at temperatures below A_1 , it is rational to carry out the heat treatment directly in the line with heating by means of a through-inductor followed by cooling.

Keywords: DP steels, in-line heat treatment, mechanical properties, microstructure.

**ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
ГАРЯЧЕПРЕСОВАНИХ ТРУБ З ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ І
СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ТИТАНУ**

Фролов Я.В. ¹, Медведєв М.І. ¹, Березос В.О. ², Бобух О.С. ¹, Самсоненко А.А. ¹

¹ *Український державний університет науки і технологій, Україна, Дніпро*

² *Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона, Україна, Київ*

Вступ. Важливе місце в розвитку металургії займають питання вдосконалення технологічних процесів і обладнання, що характеризуються високою ефективністю виробництва і високою якістю продукції, що перевершує досягнуті в даний час і випереджають перспективні параметри на світовому рівні. Особлива увага приділяється розвитку виробництва труб з високолегованих хромонікелевих і титанових сплавів [1], які широко використовується в енергетичному і хімічному машинобудуванні. Їх виробництво пов'язане з певними труднощами, зокрема з отриманням труб з регламентованою структурою і механічними властивостями, що забезпечують вимоги нормативних документів (ГОСТ 5639-82, ASTM B-338, ASTM 312 та ін.) [2]. Це зумовило необхідність розробки ряду технологічних рішень з оптимізації технології пресування труб з корозійностійких аустенітних сталей і титанових сплавів [3].

Основний матеріал. Для вирішення питань щодо підвищення якості готової продукції авторами був запропонований спосіб [4] пресування труб шляхом зміни умов охолодження пресованих труб в залежності від технологічних параметрів процесу пресування, які забезпечують отримання регламентованого середнього діаметру зерна (структури металу труб), яке відповідає вимогам вітчизняних та міжнародних стандартів з корозійної стійкості труб.

Технологія пресування труб з аустенітних сталей, яка включає нагрів гільз (порожниста заготовка) до температури максимальної пластичності, пресування в кільцевий зазор утворений матрицею та голкою з подальшим охолодженням з початку на повітрі потім в воді. За умов якщо пресування

відбувається з витяжкою у межах 5-30 та швидкостями деформування в межах 100-350 мм/с та охолодженням на повітрі в інтервалі 35-95 с перед охолодженням у воді, прогнозування середнього діаметру зерна аустеніту можна визначити за формулою:

$$D = 0,39 \cdot T_{\text{деф.}} + 1,03 \cdot \mu - 0,307 \cdot V_{\text{пр.}} - 1,21,03 \cdot \sigma_{\text{в.}} + 0,057 \cdot \tau - 288,6 \quad (1)$$

де: D – середній діаметр зерна аустеніту готових труб, мкм;

$T_{\text{деф.}}$ – температура максимальної пластичності деформуемого металу, °С;

μ – коефіцієнт витяжки при пресуванні труб;

$V_{\text{пр.}}$ – швидкість деформування, мм/с;

$\sigma_{\text{в.}}$ – межа міцності деформуемого металу при температурі деформації, кгс/мм²;

τ – час витримки на повітрі, с.

Для використання у технологічному процесі формули 1, необхідно обирати геометричні розміри порожнистої заготовки та геометричні розміри готової труби, такі щоб коефіцієнт витяжки був у межах 5-30. При відхиленні середнього діаметру зерна аустеніту від вимог нормативних документів проводять корегування технологічних параметрів до відповідності значень середнього діаметру зерна аустеніту.

Для отримання товарних труб аустенітного класу з регламентованої структурою в роботі [5] запропоновано здійснювати нагрів заготовок перед експандуванням до температури, яка визначається залежністю:

$$T_{\text{екс}} = 1180 \cdot \left(1 + \frac{\ln \mu_{\text{екс}}}{100} \right) \quad (2)$$

де $\mu_{\text{екс}}$ – коефіцієнт витяжки при експандуванні, який знаходиться в діапазоні 1-1,59

Дані параметри нагріву заготовок (2) і підігріву гільз встановлені експериментально на пресовій установці 44 МН в умовах ПрАТ «СЕНТРІВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН» і успішно реалізували при пресуванні труб аустенітного класу з регламентованою структурою зерен.

Висновки. Запропоновані технологічні умови виробництва гарячепресованих труб, з аустенітних марок сталей, забезпечують вимоги нормативних документів, такі як механічні властивості, розмір зерна та інші.

Література

1. Experimental estimation of maximal ductility and flow curves of titanium alloys with hot-torsion tests / M. Medvediev, Y. Frolov, V. Andreiev [and others] // Metallurgical and Ore Mining Industry. – 2019. – №5-6. – С. 114–122. – <https://doi.org/10.34185/0543-5749.2019-5-6-114-122>
2. Повышение комплекса качественных показателей труб из коррозионностойких марок стали, поставляемых по зарубежным стандартам / Вахрушева В. С., Буряк Т. Н., Лёткин А. М. [и др.] // Сучасні проблеми металургії. – 2008. – №11. – С. 248–254. – <https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/mpm/issue/view/27/9>
3. Оценка сопротивления деформации при горячем прессовании труб из сплавов на основе никеля / М. И. Медведев, В. В. Андреев, Я. В. Фролов, А. С. Бобух // Обработка материалов давлением. – 2019. – №2 (49). – С. 150–155. [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2019-2\(49\)150](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2019-2(49)150)
4. Пат. 148925 України. Спосіб пресування труб з аустенітних сталей. МПК (2021.01) В21С 23/00 В21С 37/00 / Медведев М. І., Фролов Я. В., Шифрін Є. І., Бондаренко С. В., Бобух О. С.; заявник та власник Національна металургійна академія України.- № u 2021 02667; заявл. 21.05.2021; опубл. 29.09.2021, Бюл. №39. - 4 с. <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1629042/>
5. Пат. 77963 України. Спосіб виготовлення труб із аустенітних сталей. МПК (2006.01) В21С 23/08 / Панченко С. А., Горгуль С. І., Медведев М. І., Безпалова Н. О., Балев А. Є., Тіпер Е. А., Захарченко О. П., Красюк А. В., Чекмарьов В. В.; заявник та власник ПрАТ "СЕНТРАВІС ПРОДАКШН ЮКРЕЙН" та ДП "Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут трубної промисловості ім. Я. Ю. Осади".- № u201206408; заявл. 28.05.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. №5. - 5 с. <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1207403/>

WAYS TO IMPROVE THE TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF HOT-EXTRUDED TUBES HIGH-ALLOYED STEELS AND TITANIUM BASED ALLOYS

Frolov Yaroslav, Berezos Volodymyr, Medvedev Michael,
Bobukh Oleksandr, Samsonenko Andriy

Abstract. Sustainable development of human civilization as well as responsible manufacturing require new approaches to metallurgical production chains. A major part of that requirements lies in plane of solid-state treatment of high alloyed steels and Ti-based alloys. In this work we pay an attention to the development of production of tubes of these alloys, which are widely used in energy and chemical engineering. The aim of research – an excellent microstructure, what is the warrant of the set of mechanical properties attractive for customers. The aim is reached through the creation of the deformation mode, which includes wall-thickness and diameter strain distribution, thermal balance along the treatment and auxiliary operation. That mode consists of the solutions, providing measurable considering of current chemical composition of the incoming billet. Applied approach results in fine adjustment of the solid-state treatment to the potential of chemical composition of the billet.

Keywords: hot-extruded, titanium, mechanical properties, microstructure, austenitic steels.

References

1. Experimental estimation of maximal ductility and flow curves of titanium alloys with hot-torsion tests / M. Medvediev, Y. Frolov, V. Andreiev [and others] // Metallurgical and Ore Mining Industry. – 2019. – №5-6. – С. 114–122.
<https://doi.org/10.34185/0543-5749.2019-5-6-114-122>
2. Improving the complex of quality indicators of pipes made of corrosion-resistant steel grades supplied according to foreign standards / Вахрушева В. С., Буряк Т. Н., Лёткин А. М. [and others] // Modern problems of metallurgy. – 2008. – №11. – С. 248–254. – <https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/mpm/issue/view/27/9>
3. Evaluating deformation resistance during hot extrusion of tubes from nickel-based alloys / M. Medvedev, V. Andreiev, Y. Frolov, O. Bobukh // Material working by pressure. – 2019. – №2 (49). – С. 150–155. – [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2019-2\(49\)150](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2019-2(49)150)
4. Patent. 148925 Ukraine. Method of pressing pipes made of austenitic Steels. МПК

(2021.01) B21C 23/00 B21C 37/00 / Medvediev M., Frolov Y., Shifrin Ye., Bondarenko S.; Bobukh O.; applicant and owner National Metallurgical Academy of Ukraine .- № u 2021 02667; Application date 21.05.2021; Issue date 29.09.2021, Bul. №39. - 4 c. - <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1629042/>

5. Patent. 77963 Ukraine. Method for manufacturing pipes of austenitic steels. MIIK (2006.01) B21C 23/08 / Panchenko S., Horhul S., Medvediev M., Bezpaloa N., Baliev A., Tiper E., Zakharchenko O., Kراسиuk A., Chekmariov V.; applicant and owner «CENTRAVIS PRODUCTION UKRAINE» PJSC and «Osada research and design technological institute of pipe industry» .- № u201206408; Application date 28.05.2012; Issue date 11.03.2013, Bul. №5. - 5 c. - <https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1207403/>

УДОСКОНАЛЕННЯ ФОРМИ ДВОВАЛКОВОГО КРУГЛОГО КАЛІБРУ З КРУГЛИМИ ВИПУСКАМИ СТАНУ ПОЗДОВЖНЬОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ НА КОРОТКІЙ ОПРАВЦІ

Шифрин Є.І.¹, Квітка Н.Ю.², Кузьміна О.М.¹, Бобух О.С.¹, Самсоненко А.А.¹

¹ Український державний університет науки і технологій, Україна, Дніпро

² George Brown College, Канада, Торонто

Вступ. Виробництво труб є одним з базових видів діяльності металургійних виробництв України. Так, у 2019 і 2020 роках виробництво цього виду продукції складало більше 1 млн т/рік [1, 2]. Однією з відомих схем виробництва цільнокатаних труб є застосування агрегатів з короткооправочними розкатними станами [3, 4]. Для отримання якісних труб необхідно якнайбільше знижати різностінність, зокрема поперечну. Виконання цього завдання можливе шляхом створення нових параметрів калібрування, яке забезпечить отримання відповідної геометрії розкатоної заготовки. Одним з найважливіших параметрів калібрування валків короткооправочного стану поздовжньої прокатки (автомат-стана, зокрема стана тандем) є форма галтелі валків, що утворюють калібр.

Основний матеріал. При визначенні параметрів двовалкового круглого калібру з круглими випусками в зоні галтелі зазвичай виходять з концепції необхідності плавного з'єднання галтелі (ділянка O_bO_w на рис. 1а) радіусом галтелі r як з випуском (ділянка AO_b), так і з ребордою валка (ділянка правіше точки O_w).

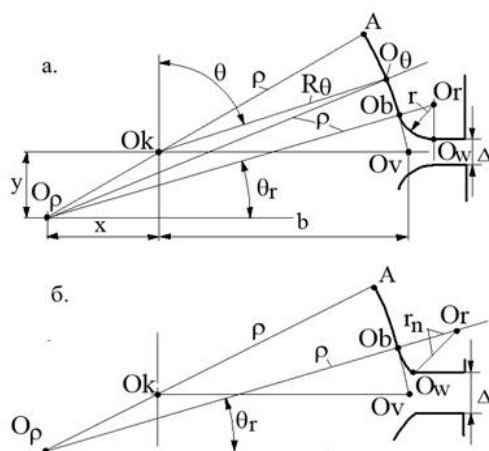


Рисунок 1 – Схема до визначення параметрів калібру в зоні галтелі: а – плавне сполучення з випуском й ребордою; б – плавне сполучення тільки з випуском

Запропоновано іншу концепцію вибору форми галтелі, успішно протестовану в проектуванні двовалкових круглих калібрів з круглими випусками для станів поздовжньої прокатки ТПА-140. У цій концепції виходимо з необхідності плавного з'єднання галтелі (ділянка O_bO_w на рис. 1б) радіусом галтелі r_n тільки з випуском (ділянка AO_b). При цьому, природньо, $r_n > r$.

Використання галтелі запропонованої форми в стані поздовжньої прокатки, при збереженні переваг форми галтелі з плавним сполученням з випуском й ребордою валка, дозволяє обмежити можливість затікання металу труби при деформації в зазор між валками і відповідно знизити наведену поперечну різностінність труби.

При плавному сполученні галтелі тільки з калібром радіусом r_n величини радіусу калібру по вершині R_k , овальності калібру λ , кута випуску θ_b , зазору між валками Δ , кута галтелі θ_r і радіусу галтелі r_n задають, виходячи з технологічних міркувань [5]. Величини x , y і ρ визначається з рівнянь:

$$x = (\rho - R_k) \cos \theta_b; \quad (1)$$

$$y = (\rho - R_k) \sin \theta_b. \quad (2)$$

$$\rho = \frac{(1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \theta_b) R_k}{2(1 - \lambda \cos \theta_b)} = \left[1 + \frac{\lambda^2 - 1}{2(1 - \lambda \cos \theta_b)} \right] R_k. \quad (3)$$

Величина допоміжного кута θ_n (рис. 2) визначатиметься з умови

$$\theta_n = \arcsin \frac{(\rho + r_n) \sin \theta_r - \left(y + \frac{\Delta}{2} \right)}{r_n}. \quad (4)$$

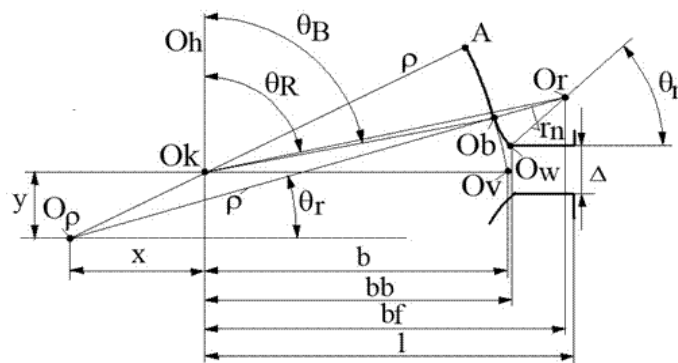


Рисунок 2 – Схема до визначення допоміжного кута θ_n

Параметри калібру на ділянці скруглення ($\theta_B \leq \theta < \theta_W$) визначаються наступним чином:

$$b_f = (\rho + r_n) \cos \theta_r - x; \quad (5)$$

$$R_r = \overline{O_k O_r} = \sqrt{b_f^2 + \left(\frac{\Delta}{2} + r_n \sin \theta_n\right)^2}; \quad (6)$$

$$\theta_R = \angle O_h O_k O_r = \frac{\pi}{2} - \arcsin \left(\frac{\frac{\Delta}{2} + r_n \sin \theta_n}{R_r} \right); \quad (7)$$

$$R_b = \overline{O_k O_b} = \sqrt{(\rho \cos \theta_r - x)^2 + \left[\frac{\Delta}{2} + r_n (\sin \theta_n - \sin \theta_r)\right]^2}; \quad (8)$$

$$\theta_B = \angle O_h O_k O_b = \frac{\pi}{2} - \arcsin \left[\frac{\frac{\Delta}{2} + r_n (\sin \theta_n - \sin \theta_r)}{R_b} \right]; \quad (9)$$

$$\theta_w = \angle O_h O_k O_w = \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{\Delta}{2[(\rho + r_n) \cos \theta_r - x - r_n \cos \theta_n]}. \quad (10)$$

Поточне значення радіусу калібру R_θ на ділянці, що розглядається ($\theta_B \leq \theta < \theta_W$) отримаємо з рівняння

$$R_\theta = R_r \cos(\theta - \theta_R) - \sqrt{R_r^2 [\cos^2(\theta - \theta_R) - 1] + r_n^2}. \quad (11)$$

Поточне значення радіусу калібру R_θ в зоні реборди, для якої $\theta_W \leq \theta \leq \arctan(\Delta/2l)$ (тут l – половина ширини бочки валка), визначиться з рівняння

$$R_\theta = \frac{\Delta}{2 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right)}. \quad (12)$$

Таким чином, отримані формули для визначення радіусу калібру $R_\theta(\theta)$ за його периметром в зонах галтелі й реборди $\theta_B \leq \theta \leq \arctan(\Delta/2l)$.

Нова форма галтелей валків станів поздовжньої прокатки з круглим калібром і круглою формою випуску була успішно впроваджена для калібрування валків стана ТПА 140 ТОВ «Інтерпайп Ніко Тьюб».

Висновки. Запропонована нова форма галтелі валків короткооправочних станів поздовжньої прокатки, яка дозволяє знизити наведену поперечну різностінність труб. Розроблена методика розрахунку геометричних

параметрів галтелі калібрів з новою формою. Нове калібрування валків станів поздовжньої прокатки з круглим калібром і круглою формою випуску пройшло успішну апробацію в умовах ТПА 140 ВАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб».

Література

1. Нікіфорова В. А. Економічний огляд металургійної галузі України [Електронний ресурс] / Віра Нікіфорова // РЕЙТИНГ. Бізнес в офіційних цифрах. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://rating.zone/ekonomichnyj-ohliad-metalurhijnoi-haluzi-ukrainy/>
2. Гуртовенко Т. Металургійна галузь України: підсумки 2020 року [Електронний ресурс] / Тетяна Гуртовенко // Огляд цін українського та світового товарних ринків. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://pricereview.com.ua/articles/metalurgijna-galuz-ukraini-pidsumki-2020-roku>
3. Технология трубоного производства: Учебник для вузов / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. – М: Интермет Инжиниринг, 2002. – 640 с. – ISBN 5-89594-083-8.
4. The modern trends of development of the pipe and tube industry / [Y. Gulyayev, Y. Shyfrin, I. Mamuzic та ін.]. // Metalurgija. – 2010. – P. 187–190. – <https://hrcak.srce.hr/51449>
5. Квітка Н.Ю. Теоретичне обґрунтування та впровадження удосконалених деформаційно-швидкісних режимів безперервної поздовжньої безоправочної прокатки труб : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05. Дніпро : НМетАУ, 2020. 220 с.

IMPROVING THE SHAPE OF THE TWO-ROLL ROUND CALIBER OF MILL FOR LONGITUDINAL ROLLING OF PIPES ON A SHORT MANDREL

Shifrin Yevhen, Kvitka Natallya, Kuzmina Olga,
Bobukh Oleksandr, Samsonenko Andriy

Abstract. To obtain high-quality pipes, it is necessary to minimize the transverse diversity. To do this, experts create new calibrations of the mill rolls for longitudinal rolling with a short mandrel (automatic, in particular tandem). This work is devoted to improving the shape of the rolls that form the caliber. Another concept of choosing the shape of the fillet successfully has tested in the design of two-roll round calibers with round releases. In this concept it was assumed a smooth connection of the fillet only with the release. The use of the proposed shape in the

mill of longitudinal rolling allows to limit the possibility of metal pipe's flow during deformation into the gap between the rolls and, accordingly, to reduce the transverse diversity of the pipe. A method for calculating the geometric parameters of the caliber with a new shape has been developed. New calibration of rolls for longitudinally rolling mills with round caliber and round shape was successfully tested at the rolling mill 140 of OJSC "Interpipe Nico Tube".

Keywords: longitudinal rolling, calibration, new shape of rolls, method of calculation.

References

1. Nikiforova V. A. Ekonomichnyy ohlyad metalurhiynoyi haluzi Ukrayiny [Elektronnyy resurs] / Vira Nikiforova // REYTYNH. Biznes v ofitsiynykh tsyfrakh. – 2019. – Rezhym dostupu do resursu: <https://rating.zone/ekonomichnyj-ohliad-metalurhijnoi-haluzi-ukrainy/>
2. Hurtovenko T. Metalurhiyna haluz' Ukrayiny: pidsumky 2020 roku [Elektronnyy resurs] / Tetyana Hurtovenko // Ohlyad tsin ukrayins'koho ta svitovoho tovarnykh rynkiv. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://pricereview.com.ua/articles/metalurgijna-galuz-ukrayini-pidsumki-2020-roku>
3. Tekhnologiya trubnogo proizvodstva: Uchebnik dlya vuzov / V. Danchenko, A. Kolikov, B. Romantsev, S. Samusev. – M: Internet Inzhiniring, 2002. – 640 s. – ISBN 5-89594-083-8.
4. The modern trends of development of the pipe and tube industry / [Y. Gulyayev, Y. Shyfrin, I. Mamuzic та ін.]. // Metalurgija. – 2010. – P. 187–190. – <https://hrcak.srce.hr/51449>
5. Kvitka N.Yu. Teoretychne obgruntuvannia ta vprovadzhennia udoskonalenykh deformatsiino-shvydkisnykh rezhymiv bezperervnoi pozdovzhnoi bezopravochnoi prokatky trub : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.03.05. Dnipro : NMetAU, 2020. 220 s.

СЕКЦІЯ 3

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
СКЛАДНИХ СИСТЕМ**

SECTION 3

**MATHEMATICAL MODELING
OF COMPLEX SYSTEMS**

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.018

МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ В ПРОЦЕСІ РОБОТИ ДОЩУВАЛЬНОЇ МАШИНИ «ФРЕГАТ»

Байрак І.В., Поливода О.В., Рудакова Г.В.

Херсонський національний технічний університет, Україна

Постановка проблеми. Процес зрошення є одним з найважливіших елементів технологій вирощування сільськогосподарських культур на поливних ґрунтах [1]. Задачі забезпечення оптимального водного режиму ґрунту і фітоклімату посівів, виключення гравітаційних втрат води за межі зони активного водообміну та сприяння найбільш повному використанню рослинами біокліматичного потенціалу регіону потребують моделювання динаміки вологості ґрунту у процесі зволоження, а також конструкцій і технологій, пов'язаних з водогосподарськими об'єктами.

Метою статті є розробка моделі зміни вологості ґрунту, що дозволить визначати вологовміст як у прикореневому так і у приповерхневому шарі ґрунту та прогнозувати параметри руху ланок дощувальної машини «Фрегат».

Зволоження ґрунту на півдні України здійснюється переважно дощуванням із застосуванням дощувальної машини типу «Фрегат», що у великій мері наближено до природних процесів внесення вологи в ґрунтові структури, особливо з використанням новітніх дощувачів типу Xi-Wob [2], які забезпечують однорідне зрошення та однаковий розмір крапель. Для опису динаміки вологості ґрунту традиційно використовують статистичні, балансові, логічні, нейромережеві, стохастичні, адаптаційні моделі, моделі в частинних похідних і ін. [3], однак всі ці моделі мають негативні властивості при практичному застосуванні. Для моделювання зміни вологості ґрунту при поливі доцільно застосовувати підхід із застосуванням лінеаризованої моделі в просторі станів, яка дозволяє аналізувати вологість ґрунту в необхідній точці орного шару з урахуванням структури зрошувальної системи та можливих опадів.

Конструкції дощувачів, існуючих на даний час, дозволяють забезпечити рівномірну інтенсивність розбризкування крапель по всій робочій зоні у

процесі роботи «Фрегату», тому для моделювання можна обрати окрему точку. Дані отримані для однієї точки можливо поширити на всю робочу зону. Для математичного опису руху води в ґрунті використовується рівняння Дарсі [3]:

$$\frac{\partial w(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(w(z,t)) \frac{\partial \psi(w(z,t))}{\partial z} + k(w(z,t)) \right] - I_{w(z,t)}, \quad (1)$$

де $w = w(z,t)$ – функція вологості ґрунту на глибині z в момент часу t ; $k(w)$ – функція вологопровідності ґрунту, (см/с); $\psi(w)$ – водний потенціал ґрунту (см); $I_{w(z,t)}$ – об'єм води, що видаляється з одиниці об'єму ґрунту в одиницю часу, (мм/доб).

Початкові й граничні умови задаються в такий спосіб:

$$w(z,0) = w_0 = const, \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial w(z,t)}{\partial t} + \frac{k(w)}{\mu} [w_1 - w(z_0,t)] = 0, \\ \frac{\partial w(z,t)}{\partial t} + \frac{k(w)}{\mu} [w_2 - w(z_1,t)] = 0, \end{cases} \quad (3)$$

де $w_0(x,y)$ – початковий вологозапас в орному шарі, що потребується для культури; $w_1(w_2)$ – вологість ґрунту на верхній (нижній) границі орного шару; $z_0(z_1)$ – верхня (нижня) границя орного шару.

Рівняння Дарсі (1) є рівнянням в частинних похідних, для отримання чисельного рішення якого можна використовувати метод кінцевих різниць. Вісь z (глибина ґрунту) розбивається на N вузлових точок з кроком $h = z_{\max}/N$, а інтервал часу спостереження t_n – на M точок з кроком $K = t_n/M$. Вологість ґрунту на глибині i та у час j у кінцевих різницях для елемента (i,j) $i = 0,1,\dots,N$, $j = 0,1,\dots,M$, буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} w(i,j+1) = & w(i,j) + \frac{K}{h^2} [k(w(i,j)) \cdot (\psi(w(i-1,j)) - \psi(w(i,j)) - h) + \\ & + k(w(i+1,j)) \cdot (\psi(w(i+1,j)) - \psi(w(i,j)) + h)] - I(w(i,j)) \cdot K. \end{aligned} \quad (4)$$

Значення w_{i0} на лівій стороні сітки визначаються з початкових умов ($w_{i0} = w(i,0) = w_0$). Крайові значення w_{0j} та w_{Nj} на верхній і нижній сторонах сітки відповідно отримуються у результаті апроксимації кінцевими різницями граничних умов (2), (3).

При $i = 0$:

$$w(0, j+1) = \frac{w(1, j+1) + \frac{h \cdot k(w(1, j+1)) \cdot w_{okr}}{\mu}}{1 + \frac{h \cdot k(w(1, j+1))}{\mu}}, \quad (5)$$

де w_{okr} – вологість на поверхні ґрунту, яка задається рівною 1, якщо на поверхню ґрунту поступив шар опадів або 0, якщо на поверхні ґрунту сухо; μ – кінематична в'язкість води.

При $i = N$:

$$w(N, j+1) = w(N-1, j+1) \cdot \left(1 - \frac{h \cdot k(w(N-1, j+1))}{\mu}\right) + \frac{h \cdot k(w(N-1, j+1)) \cdot w_2(j+1)}{\mu}, \quad (6)$$

де $w_2(j+1)$ – вологість на верхній границі підорного шару, для визначення якої пропонується формула:

$$w_2(j+1) = \frac{w(N, j+1) - w(N, j)}{k_0'} k_0' + w_2(j) \quad (7)$$

де k_0' – коефіцієнт фільтрації орного (підорного) шару.

На основі рівнянь (4) – (7) можна визначити значення вологості $w(i, j)$ по всій глибині орного шару протягом будь-якого інтервалу часу з вегетаційного періоду.

Дискретизоване рівняння Дарсі (4) можна представити в просторі станів як

$$\frac{dz}{dt} = \mathbf{f}(\mathbf{z}) + \mathbf{b}(\mathbf{z})\mathbf{u} + \mathbf{q}, \quad (8)$$

де $\mathbf{z} = (z_0, z_1, \dots, z_k, \dots, z_N)^T$ – вектор стану (значень вологості ґрунту по глибині); $\mathbf{f}(\mathbf{z})$ і $\mathbf{b}(\mathbf{z})$ – безперервні функції, залежні від елементів вектора стану, що формуються на основі гідрофізичних характеристик ґрунтів; \mathbf{q} – вектор зовнішніх впливів, що включає опади, водоспоживання культур, а також відтік в підорний шар; \mathbf{u} – вектор керування, сформований з урахуванням типу поливної системи.

Лінеаризація рівнянь (8) дала можливість отримати їх у векторно-

матричній формі. З урахуванням $\hat{z}_i = z_i - z_{is}$, $\hat{u} = u - u_s$ ($i = \overline{0, N}$) було розкладено рівняння (8) в ряд Тейлора, обмежуючись членами першого порядку. Рівняння динаміки були лінеаризовані навколо деякого сталого стану $\mathbf{z} = (z_{0s}, \dots, z_{Ns})$ і заданих керувань \mathbf{u}_s .

$$\dot{\hat{\mathbf{z}}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{z}} + \mathbf{B}\hat{\mathbf{u}} + \mathbf{q}, \quad (9)$$

де матриці \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{q} мають постійну структуру але їх елементи змінюються залежно від умов функціонування системи:

Висновки. Розроблена математична модель зміни вологості ґрунту в просторі станів дозволяє визначати вологовміст у прикореневому і приповерхневому шарах ґрунту залежно від його гідрологічних характеристик, виду культивованих рослин, об'єму води, що поступає на поля від поливних систем або випадкових опадів та може використовуватись для прогнозу параметрів руху ланок дощувальної машини «Фрегат».

Література

1. Черноволов В.А., Кравченко Л.В. Математическое моделирование процессов распределения жидкостей в агротехнологиях: монография. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016. 208 с.
2. Переоборудование ДМУ Фрегат спринклерами компании Сеннингер. URL: <https://ua.tegraco.com/irrigation/modernizirovannye-dozhdevlok/> (дата обращения: 11.03.2022).
3. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 167с.

SIMULATION OF SOIL HUMIDITY CHANGES IN THE PROCESS OF THE FRIGATE IRRIGATION MACHINE OPERATION

Bayrak Ihor, Polyvoda Oksana, Rudakova Hanna

Abstract. In this article, the authors analyze the modern methods and means of soil moistening, as well as existing mathematical models of soil moisture dynamics during the operation of the "Frigate" sprinkler. The necessity of developing a model of moisture distribution in the root and near-surface layers of the soil is substantiated. A mathematical model of soil moisture dynamics in the space of

states has been developed, which takes into account the volumes of water consumed by plants and fed to the fields by sprinklers, and also comes naturally in the form of random precipitation and groundwater.

Keywords: soil moisture, sprinkling machine, modeling, discretization, finite difference method, state space, linearization.

References

1. Chernovolov V.A., Kravchenko L.V. Matematicheskoe modelirovanie protsessov raspredeleniya zhidkostey v agrotekhnologiyah: monografiya Zernograd: Azovo-Chernomorskiy inzhenernyy institut FGBOU VO Donskoy GAU, 2016. 208 s.
2. Pereoborudovanie DMU Fregat sprinklerami kompanii Senninger. URL: <https://ua.tegraco.com/irrigation/modernizirovannye-dozhdevlok/> (data obrascheniya: 11.03.2022).
3. Sirotenko O.D. Matematicheskoe modelirovanie vodno-teplovogo rezhima i produktivnosti agroekosistem. L.:Gidrometeoizdat, 1981. 167s.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.019

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ НАСЛІДКІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЙ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Біляєв М.М.¹, Біляєва В.В.², Русакова Т.І.², Берлов О.В.³, Козачина В.А.¹

¹Український державний університет науки і технологій, Україна

²Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Україна

³Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Україна

Оцінювання рівня забруднення довкілля, оцінювання ризику ураження персоналу, населення при екстремальних ситуаціях на потенційно небезпечних об'єктах здійснюється шляхом використання математичних моделей. Найбільш поширено використовуються спрощені інженерні методики оцінювання наслідків таких екстремальних ситуацій. Зараз, до прогнозних моделей пред'являється ряд вимог: врахування просторового розсіювання токсичних речовин в атмосфері; врахування профілю швидкості вітрового потоку, атмосферної дифузії; врахування різних сценаріїв емісії токсичних речовин в атмосферу і т.д [1, 2].

Зараз в Україні для прогнозу аварійного забруднення навколишнього середовища практично не використовуються гідроаеродинамічні моделі. Тому актуальною проблемою є розробка комп'ютерних багатофакторних моделей, що дозволяють оперативно проводити серійні розрахунки по оцінюванню наслідків при можливих екстремальних ситуаціях на потенційно небезпечних об'єктах.

Слід підкреслити, що останнім часом значно посилився інтерес до проблеми оцінювання наслідків екстремальних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах саме в Україні. Це пов'язано з використанням застарілого обладнання на багатьох підприємствах, тому ризик виникнення екстремальних ситуацій дуже великий.

В роботі розглядаються «швидко розрахункові» чисельні моделі, що розроблені для рішення комплексу прикладних задач:

1. Прогнозування динаміки забруднення повітря при аварійному викиді в разі розгерметизації трубопроводу з хімічно небезпечною речовиною.

2. Прогнозування динаміки забруднення повітря в робочому приміщенні при аварійному витоку токсичної речовини.

3. Прогнозування динаміки забруднення водного середовища при потраплянні в річку хімічно небезпечної речовини з пошкодженого підводного трубопроводу.

4. Прогнозування ризику баричного ураження персоналу при русі ударної хвилі після вибуху.

5. Оцінювання ефективності використання захисних екранів для зниження рівня забруднення повітря в робочих зонах.

Розрахунок аеродинаміки вітрових потоків здійснюється на базі моделей потенціальної течії та рівняння Нав'є-Стокса. Для розрахунку поля тиску при русі ударної хвилі використовуються рівняння Ейлера. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря і водного середовища проводиться на базі тривимірного і двомірного рівнянь масопереносу. Для чисельного інтегрування моделюючих рівнянь використовуються кінцево-різницеві схеми чисельного інтегрування. На базі розроблених чисельних моделей створені комплекси спеціалізованих програм.

Представлені результати проведених комп'ютерних експериментів по оцінюванню динаміки забруднення повітря при різних екстремальних ситуаціях на потенційно небезпечних об'єктах м. Дніпро, а також при експертної оцінки різних засобів захисту працівників від шкідливих факторів.

Література

1. Беляев, Н. Н. Экспресс метод оценки потенциального территориального риска при авариях на транспорте / Н. Н. Беляев, Л. Я. Мунтян // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна «Наука та прогрес транспорту». – Дніпропетровськ, 2016. – Вип. 1 (61). – С. 30–38.
2. Беляев, Н. Н. Прогнозирование загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива в хранилище / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов // Зб. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. – № 42. – С. 160–167.

**USE OF MATHEMATICAL MODELS IN THE PROBLEMS OF ASSESSING THE
CONSEQUENCES OF EXTREME SITUATIONS ON INDUSTRIAL FACILITIES**

Bilyayev Mykola, Bilyayeva Viktoriya, Rusakova Tetyana,
Berlov Oleksandr, Kozachyna Vitaliy

Abstract. The report considers some classes of numerical models that were built to predict the consequences of emergencies at industrial enterprises. The first class of models has been developed to predict chemical air pollution in case of accidental emissions of toxic substances. Modeling is carried out on the basis of the fundamental equations of aerodynamics and mass transfer. Difference splitting schemes are used for the numerical solution of the modeling equations. The second class of numerical models has been developed to assess the risk of chemical injury to people in industrial rooms. The third class of models was developed to assess the risk of injury to people when a shock wave moves. To solve this problem Euler equations were used. The fourth class of models was developed to predict river pollution in case of accident chemical pollution. The fifth class of models was developed to assess the influence of protection barriers to reduce air pollution. Computer codes were developed on the base of proposed numerical models.

Keywords: mathematical modeling, numerical models, labor protection, extreme situations, environmental pollution

References

1. Biliaiev, M.M., Muntyan, L.Ya. Ekspres metod ocenki potencialnogo territorialnogo riska pri avariyah na transporte [Express method for assessing potential territorial risk in case of transport accidents]. Visnyk Dnipropetrovs`kogo nacional`nogo un-tu zaliznychnogo transportu im. akademika V. Lazaryana «Nauka ta progres transportu» [Bulletin Dnipropetrovsk. nat. University of Railway acad. V. Lazaryan "Science and Progress of Transport"], 2016, Vol. 1(61), pp. 30-38.
2. Belyayev, N.N., Berlov, A.V. Prognozirovaniye zagryazneniya prizemnogo sloya atmosfery pri gorenii tverdogo raketnogo topliva v khranilishche [Prognostication of contamination of the ground layer of atmosphere at burning of solid rocket propellant in depository]. Zbirnyk naukovykh prats natsionalnoho hirnychoho universytetu [Proc. of the National Mining University], 2013, no. 42, pp. 160-167.

ТОПОЛОГІЧНО ЗАПЛУТАНА ЕНЕРГІЯ ЯК МОДЕЛЬ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК

Грищенко А.А.

Дніпровський державний технічний університет, Україна

Вступ: не зважаючи на те, що у теоретичній фізиці вже створено багато математичних моделей елементарних частинок, це питання все ще залишається відкритим, бо модель елементарної частинки яка б задовольняла усім вимогам і експериментальним даним досі не знайдена. Ми вирішили запропонувати іще одну модель елементарних частинок, яка на наш погляд є такою, що добре співвідноситься з результатами спостережень. Наша модель полягає у тому, що елементарна частинка – це енергія, яка приймає топологічно заплутану форму. Елементарні частинки відрізняються не самою енергією, яка їх складає, а формою якою ця енергія циркулює. Якщо ця топологічна форма може за якихось обставин розплутатись, то частинка не буде елементарною. Якщо ж ця форма така, що розплутати її ні за яких обставин не можливо, або дуже складно, то ця частинка буде виглядати стабільною у результаті спостереження її у експериментах.

У топології, як розділі математики який вивчає характеристики просторів та об'єктів, які залишаються постійними при неперервних деформаціях[1], відомі форми, які ні за яких обставин не можуть бути переведені без розривів у форму, яка гомеоморфна сфері[2]. Ці форми можна називати складно заплутаними, бо вони не мають властивостей, які аналогічні властивостям сфери. А сфера, як відомо, є найпростішою топологічною фігурою. З іншої сторони існують форми і такі, які у результаті деяких неперервних деформацій можуть бути переведені у сферу, тобто ці форми топологічно гомеоморфні сфері і значить мають її властивості.

Ці топологічні форми можна представити як математичну модель елементарної частинки. Сама ця частинка складається із енергії, але ця енергія циркулює або знаходиться у різних формах, саме цим і відрізняються різні елементарні частинки. Тобто у експериментах ми спостерігаємо не принципово різні об'єкти із різним внутрішнім складом, але лише об'єкти, які мають різну топологічну структуру. Це є причиною того, що в одному експерименті ми бачимо, наприклад, електрон, а в іншому нейтрон.

Якщо енергія елементарної частинки із самого початку приймає форму, яка гомеоморфна сфері, то за якихось обставин (якщо прикласти достатню кількість енергії, якої було би достатньо, щоб перевести цю форму у більш просту) частинка могла би розпастися, тобто в експериментах вона б спостерігалась як нестабільна.

Якщо ж навпаки частинка приймає форму, яка не може бути розплутана, або переведена якимось чином у більш просту форму, то ця частинка виглядає стабільною, тобто такою, що не розпадається.

Також можливий варіант існування енергії не тільки у формі фігур, які вкладаються у тривимірний простір, але і у формі фігур, які існують у чотирьох вимірному просторі або у просторах більшої розмірності. Тобто принципи і ідеї, які були запропоновані вище, тепер розповсюджуються і на простори більшої розмірності.

Висновок: у нашій моделі елементарні частинки представляють собою енергію, яка циркулює по топологічно заплутаній формі. Якщо енергія цієї частинки має форму, яку розплутати легко, то ця частинка буде нестабільною, тобто розпадатися. Якщо ж форма така, що розплутати її неможливо або дуже складно, то частинка у спостереженнях буде виглядати стабільною.

Література

1. Борисович Ю. Г., Близняков Н. М., Ізраїлевич Я. А., Фоменко Т. Н. Введення в топологію. - Вид. 3-тє. - М.: ЛЕНАНД, 2015.
2. Прасолов В. В. Наочна топологія. - М: МЦНМО, 1995.

TOPOLOGICALLY ENTANGLED ENERGY AS A MODEL OF ELEMENTARY PARTICLES

Hryshchenko Alisa

Abstract. Despite the fact that many mathematical models of elementary particles have already been created in theoretical physics, this question still remains open, because a model of an elementary particle that would meet all the requirements and experimental data has not yet been found. We decided to propose another model of elementary particles, which in our opinion is one that correlates well with the results of observations. Our model is that an elementary particle is an energy that takes on a topologically entangled shape. Elementary particles differ not in the energy that makes them up, but in the form in which this energy circulates. If this topological form can unravel under some circumstances, then the particle will not be elementary. If this form is such that it is impossible or very difficult to unravel it under any circumstances, then this particle will look stable as a result of our observation in experiments.

Keywords: elementary particle, topology, energy, entangle, complex system, mathematical modeling.

References

1. Borisovich Yu. G., Bliznyakov N. M., Izrailevich Ya. A., Fomenko T. N. Introduction to topology. - Ed. 3rd. — М.: LENAND, 2015.
2. Prasolov V.V. Visual topology. — М.: MTsNMO, 1995.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.021

МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАННЯ СТАЛЕВОЇ ПЛАСТИНИ У ВОДІ ПІД ДІЄЮ НАВАНТАЖЕНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ КОНСТРУКЦІЇ

Дмитрієва І.С.

*Інститут промислових та бізнес технологій Українського державного
університету науки і технологій, Україна*

В цивільної інженерії більшість конструкцій схильні до впливу потоків повітря і рідини. Таким чином, загальні цивільні споруди повинні відповідати критеріям безпеки, таким як статичний опір і наявність безпечного спектра реакцій на вплив від дорожнього транспорту, землетрусів і т.д. Внаслідок значного числа руйнувань конструкцій, які в певний час вважалися інноваційними, були прийняті до уваги аеропружні ефекти при моделюванні легковагих конструкцій, які сильніше схильні до впливу потоку. Більш того, аеропружна безпека і аеродинамічний контроль стають вирішальними факторами для всіх конструкцій.

Як наслідок, інженерам відтепер необхідно дотримуватися допустимих правил проектування і оцінки безпеки конструкцій, що піддаються вібраціям. Однак складність більшості явищ взаємодії рідини і конструкції означає, що все ще дуже важко визначити надійні і точні оцінки ризику, які будуть застосовні до широкого діапазону експлуатаційних станів.

Відсутність універсальної і простої моделі взаємодії рідини і конструкції (FSI - fluid-structure interaction) спонукало створити область експериментального і чисельного дослідження коливань, викликаних потоком.

Метою даної роботи було дослідження поведінки пластини, зануреної в рідину, що здійснює вимушені коливання під дією прикладеного навантаження; механізм поведінки даної взаємодії та визначення приєднаних мас рідини. Знання приєднаних мас допомагає оцінити вплив рідини.

Визначення приєднаних мас складається з декількох важливих кроків: визначення моделі використовуваної рідини, опис руху конструкції і оцінки сил рідини, що викликають цей рух. Етап оцінки включає в себе обчислення чутливості сил рідини по модам руху і деформації твердого тіла з базових рівнянь моделі рідини. Це може бути досягнуто за допомогою наближених рішень. Якщо застосовується модель рідини і область течії не надто складні, то приєднані маси можуть бути визначені за допомогою аналітичних рішень [1].

Роботу методу FSI досліджували, вирішуючи представлену задачу методом

кінцевих елементів засобами комплексу ANSYS CFX. Для даної задачі було введено припущення про те, що коливання пластини створюють ламінарний потік рідини, що охоплює пластину. Таким чином, швидкості потоку рідини, що утворюються при коливаннях пластини, мають малі значення. Рух рідини описується системою диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса. Рішення задач ламінарної течії рідини простіше отримати чисельно, ніж експериментально.

При розрахунку пластин зазвичай приймають такі припущення:

1) згинальні деформації пластин при коливаннях малі в порівнянні з її товщиною, пружні деформації підкоряються закону Гука;

2) пластина має постійну товщину;

3) в пластині є нейтральний шар, який при згинальних коливаннях пластини не схильний до деформацій розтягу - стиску;

4) матеріал пластини ідеально пружний, однорідний і ізотропний.

В роботі було досліджено коливання сталеві пластини у воді під дією двох видів навантажень: імпульсного та періодичного. За допомогою коливань пластини під дією імпульсного навантаження було отримано оцінку першої власної частоти вільних коливань пластини у воді. Визначено першу власну частоту коливань пластини в повітрі. Далі була вирішена серія задач FSI для пластини під дією періодичного навантаження, побудована АЧХ коливань, за якою визначено оцінку резонансної частоти. За допомогою першої частоти коливань пластини у повітрі та воді була отримана оцінка приєднаної маси води при коливаннях пластини. Також була зроблена спроба уникнути рішення серії задач FSI для коливань пластини у воді до вирішення завдання гармонійного аналізу коливань пластини, з урахуванням наявності розподілених по пластині приєднаних мас води. Для гармонійного аналізу коливань пластини було побудовано власні АЧХ, які порівнювали з АЧХ, отриманої шляхом вирішення серії задач FSI. З порівняння отриманих АЧХ зроблено висновок про можливість використання гармонійного аналізу для дослідження напружено-деформованого стану пластини при її коливаннях. Метод гармонічного аналізу із додаванням приєднаної маси води можна використовувати на низьких частотах коливань до резонансу (у проміжку від 3 до 13 рад/с). На решті власних частот коливань використовувати метод гармонійного аналізу з урахуванням приєднаної маси води не рекомендується.

Рішення завдання про змушені коливання плоскої пластини в рідині допоможе в подальшому перейти до дослідження взаємодії більш складних об'єктів з водою.

Література

1. Короткин А.И. Присоединенные массы судна: Справочник – Ленинград: Судостроение, 1986. – 312 с.
2. Zilian A. (2014) Modelling of Fluid-Structure Interaction – Effects of Added Mass, Damping and Stiffness. In: Irschik H., Belyaev A.K. (eds) Dynamics of Mechanical Systems with Variable Mass. CISM International Centre for Mechanical Sciences, vol 557. Springer, Vienna.

MODELING OF OSCILLATIONS OF A STEEL PLATE IN WATER UNDER THE ACTION OF LOADS TO ASSESS THE SAFETY OF THE STRUCTURE

Dmytriieva Iryna

Abstract. Modeling the oscillations of a steel plate in water under the action of loads to assess the safety of the structure is an urgent task of modern design. The aim of this work was to study the behavior of a plate immersed in a fluid that performs forced oscillations under the action of an applied load; the mechanism of behavior of this interaction and the determination of the attached masses of fluid. Knowledge of the attached masses helps to assess the effect of the liquid.

The oscillations of a steel plate in water under the action of two types of loads were studied. For the harmonic analysis of the oscillations of the plate, our own frequency response was constructed, which was compared with the frequency response obtained by solving a series of FSI problems. From the comparison of the obtained frequency response it is concluded that the possibility of using harmonic analysis to study the stress-strain state of the plate during its oscillations. The method of harmonic analysis with the addition of the attached mass of water can be used at low oscillation frequencies to resonance.

Keywords: plate and fluid interaction, forced oscillations, ANSYS.

References

1. Korotkin A.I. Prisoedinennye massy sudna: Spravochnik – Leningrad: Sudostroenie, 1986. – 312 s.
2. Zilian A. (2014) Modelling of Fluid-Structure Interaction – Effects of Added Mass, Damping and Stiffness. In: Irschik H., Belyaev A.K. (eds) Dynamics of Mechanical Systems with Variable Mass. CISM International Centre for Mechanical Sciences, vol 557. Springer, Vienna.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ
МАСШТАБУВАННЯ ВІДЕО БІБЛІОТЕКИ LIBSWSCALE**

Зінченко А.В., Благій О.Ю.

Інститут транспортних систем і технологій НАН України, Україна

Анотація. У роботі досліджено продуктивність методів масштабування відео зі складу бібліотеки libswscale версії 5.9.100 з набору бібліотек з відкритим кодом FFmpeg. Додатково вивчався вплив роздільної здатності результуючого відеопотоку на продуктивність обробки відео. Отримані результати свідчать про те, що найбільшу продуктивність при збереженні доброї якості результуючого зображення продемонстрували алгоритми fast_bilinear та neighbor. Продуктивність алгоритму sinc виявилася найнижчою.

Ключові слова: ffmpeg, масштабування відео, бібліотека libswscale, транскодування відео, продуктивність обробки відео.

Масштабування зображення – це зміна роздільної здатності цифрового зображення із збереженням пропорцій у сторону збільшення або зменшення. Таке перетворення широко застосовується у комп'ютерній графіці, обробці відео, зокрема, реалізується на апаратному рівні у телевізорах та відеопрогравачах. У бібліотеці libswscale, що входить до складу бібліотек з відкритим кодом FFmpeg, реалізовано більше ніж півтора десятки різних методів масштабування відео. У відомій літературі питання тестування їх продуктивності залишилися поза увагою незважаючи на те, що продуктивність є дуже важливим показником, зокрема для обробки відео у режимі реального часу.

Дослідження продуктивності методів масштабування відео зі складу бібліотеки libswscale версії 5.9.100 було проведено на базі на процесорі Intel G2020 @ 2.90GHz під керуванням операційної системи Linux UbuntuCore 18.04. Для тестів використовувався відеофрагмент стандарту H.264: “Big Buck Bunny” тривалістю 596 секунд (бітрейт 9725 Кб/с, 1920x1080 пікселів).

Тести проведені для всіх наявних у даній версії бібліотеки алгоритмів, що задаються параметром -sws_flags для трьох різних результуючих роздільних

здатностей 1080x1920 пікселів – перевернуте відео, 1728x972 та 2112x1188 пікселів – зменшення та збільшення масштабу на 10% відповідно.

У зв'язку з цим деякі алгоритми масштабування типу `-sws_flags neighbor` теоретично демонструють кращі результати при масштабуванні в кратну кількість разів, додатково були проведені тести на збільшення роздільної здатності зображення в 2 і 3 рази від початкової, а також зменшення в 2, 3 і 4 рази відповідно.

Результати тестування показали, що метод `sinc` демонструє найнижчу продуктивність з усіх протестованих (у 2,3-3,5 рази менше порівняно зі значенням `sws_flags` за замовчуванням). Найкращими алгоритмами, що показали найбільшу продуктивність при збереженні доброї якості результуючого зображення, виявилися `fast_bilinear` і `neighbor`. При кратному збільшенні масштабу продуктивність `neighbor` трохи менше, ніж у `fast_bilinear`, при кратному зменшенні – трохи більше. Загалом максимальна різниця продуктивності між цими алгоритмами складала менше 10%.

При порівнянні якості зображень, отриманих з використанням методів `fast_bilinear` і `neighbor`, з початковими не було виявлено явних спотворень, чи артефактів Але в цілому якість була трохи гіршою, ніж в оригіналу.

Таким чином, для досягнення максимальної продуктивності масштабування відео за допомогою бібліотеки `libswscale` рекомендується явно задавати параметр `-sws_flags` зі значенням `fast_bilinear` або `neighbor`.

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ В
ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ ВТОРИННОЇ ПЕРЕРОБКИ
МЕТАЛЕВИХ ВОЛЬФРАМОВИХ СТРИЖНІВ**

Іванчук Я.В., Іскович-Лотоцький Р.Д., Коваль К.О., Куш Я.Ю., Воловик Б.П.

Вінницький національний технічний університет, Україна, Вінниця

Вступ. Вторинна переробка, або рециклінг відходів, дозволяє не лише звільнити місце на сміттєзбірних полігонах, але й залучити отриману сировину для виготовлення нової продукції народного вжитку. Одним із таких видів переробки відходів людської діяльності є отримання металевих порошоків вольфраму із стрижнів кумулятивних снарядів військового спорядження із обмеженим терміном придатності [1]. Подальше використання отриманої вторинної сировини у вигляді металевих порошоків вольфраму для виготовлення машинобудівної продукції загалом дозволить зменшити собівартість її виготовлення і підвищити економічну незалежність країни від імпорту тугоплавких металів.

Необхідність розробки і впровадження нових ресурсо- та енергозберігаючих технологій дозволило у Вінницькому національному технічному університеті розробити установку для розпилення вольфрамових стрижнів. Розробка ефективної конструкції неможлива без проведення всебічних наукових досліджень для вибору оптимального та обґрунтованого технічного рішення. Світова практика доводить, що проведення такого роду досліджень багато в чому ґрунтується на методах математичного моделювання з проведенням розрахунків за допомогою комп'ютерних систем. Це дозволяє запобігти невиправдано великій кількості складних та дорогих експериментальних досліджень, значно скоротити час та вартість проектних робіт, проводити якісні та кількісні оцінки фізичних явищ з достатньою для інженерної практики точністю.

Мета дослідження. Основною метою дослідження є визначення розподілу температури для оцінки працездатності підшипників кочення у шпіндельному вузлі установки для розпилення порошоків вольфраму при

застосуванні спеціальної системи охолодження.

Основний матеріал. Шпиндельний вузол установки для отримання порошків металів [2] зображений на рисунку 1. Розпилення порошків вольфраму відбувається розплавленням вольфрамового стрижня 3 за допомогою електричної дуги (катодний вузол 5), обертанням шпиндельного вузла, та повздожньої подачі стрижня 3 за допомогою механізму подачі 6.

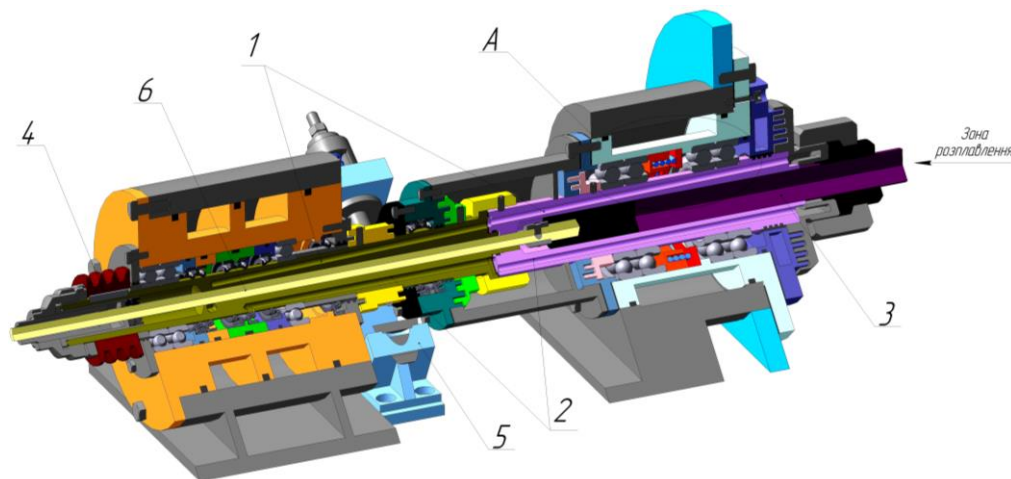


Рисунок 1 – Загальний вигляд конструкції шпиндельного вузла установки для розпилення вольфрамових стрижнів

Процес розплавлення супроводжується суттєвим підвищенням температури, яка викликає нагрів важливих елементів вузла, одним з яких є підшипниковий вузол в зоні А (див. рис. 1). Тому при відсутності відповідного охолодження це може призвести до виходу з ладу підшипників кочення. Розроблена у Вінницькому національному технічному університеті, охолоджувальна система шпиндельного вузла установки для розпилення вольфраму [3] є об'єктом дослідження процесів теплопередачі. Вона представлена у вигляді спеціальних охолоджувальних підвідних 1 та відвідних 2 каналів (див. рис. 1). З метою оцінки ефективності розробленої системи охолодження в шпиндельному вузлі установки для розпилення вольфраму, необхідно обчислити теплопередачу від вольфрамового стрижня, в зоні розплавлення якого підведена температура 3380 C° , до внутрішніх кілець підшипників, що встановлені на валу шпинделя в зоні А.

Розв'язок задач спряженого теплообміну, в яких одночасно розглядається течія рідини й теплопровідність у твердому тілі, наштовхується на певні

труднощі – характерний час протікання фізичних процесів в рідині суттєво менше характерного часу в твердому тілі. Це призводить до того, що типові задачі необхідно розв’язувати із мінімальним часом інтегрування по часу, наслідком якого є значний час комп’ютерних обчислень. У випадку стаціонарної задачі ця проблема вирішується двома способами: введенням власного кроку інтегрування по часу в підобласті твердого тіла або введенням фіктивної теплоємності твердого тіла.

Результати обчислення стаціонарного процесу теплообміну програмними засобами CFD-систем [1, 4] на базі методу кінцевих елементів [5] були отримані наступні результати моделювання (рис. 2). Аналізуючи отримані, в програмному CFD-комплексі, результати чисельного моделювання розподілу температури вздовж веденої частини пустотілого шпинделя можна побачити (рис. 2, а), що в місці встановлення підшипників максимальна температура досягає $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, що є експлуатаційним режимом роботи підшипників кочення. Також результати обчислювального експерименту дозволи визначити значення максимальної температури на поверхні графітової втулки (рис. 2, б), яка склала $1800\text{ }^{\circ}\text{C}$, що у свою чергу є також експлуатаційним режимом роботи деталей на основі графіту.

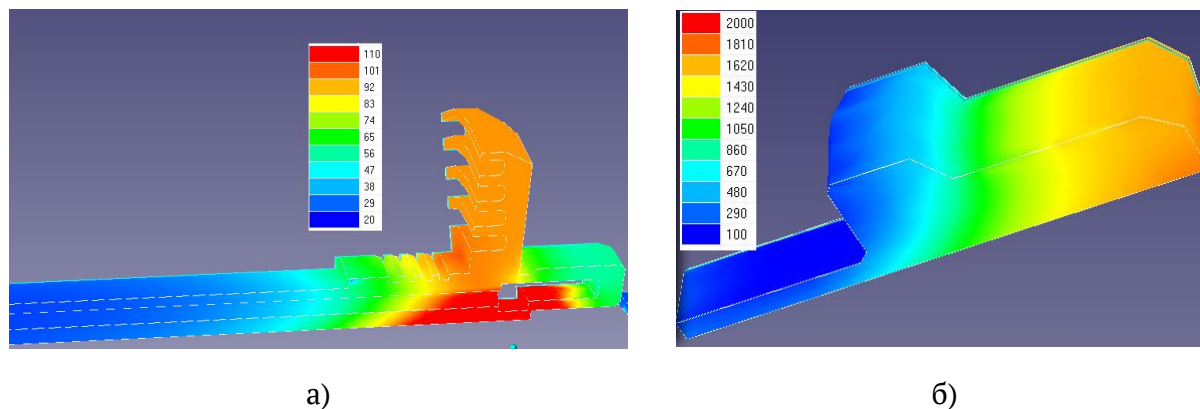


Рисунок 2 – Схема розподілу температури:

а) – вздовж веденої частини пустотілого шпинделя; б) – у графітовій втулці

Висновки. Отриманий, в результаті чисельного моделювання, розподіл температур, показав переваги обраного підходу до проектування, а також дозволив довести ефективність розробленої конструкції системи охолодження шпиндельного вузла установки для отримання порошків металу шляхом розпилення вольфрамових стрижнів.

Література

1. Іскович–Лотоцький Р. Д. Застосування гібридного моделювання при розробці установок для утилізації відходів. / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Д. В. Тесовський, Я. П. Веселовський // Технологічні комплекси. Науковий журнал – Луцьк, 2012. – № 1,2 (5, 6). – С. 122 – 126.
2. Іскович–Лотоцький Р. Д. Розрахунок температурних полів в робочих зонах піролізної установки / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Н. Р. Веселовська, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Міжвузівський збірник наукових праць "НАУКОВІ НОТАТКИ". – Луцьк, 2013. – Випуск 42. – С. 113 – 120.
3. Rostislav D. Iskovych-Lototsky, Yaroslav V. Ivanchuk, Natalia R. Veselovska, Wojciech Surtel, Samat Sundetov. "Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080860 (1 October 2018). doi: 10.1117/12.2501526.
4. Іскович–Лотоцький Р. Д. Основи резонансно–структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський// Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2014. – №5(53) – С.109 – 118. doi: 10.15802/stp2014/30458.
5. Rostislav D. Iskovych-Lototsky, Yaroslav V. Ivanchuk, Yaroslav P. Veselovsky, Konrad Gromaszek, Ayaulym Oralbekova. "Automatic system for modeling of working processes in pressure generators of hydraulic vibrating and vibro-impact machines", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080850 (1 October 2018). doi: 10.1117/12.2501532.

MODELING OF HEAT EXCHANGE PROCESSES IN THE TECHNOLOGICAL SYSTEM FOR THE RECYCLING OF METALLIC TUNGSTEN RODS

Ivanchuk Yaroslav, Iskovych-Lototsky Rostislav,
Koval Kostyantyn, Kush Yaroslav, Volovyk Bohdan

Abstract. A computational experiment was carried out to study heat exchange processes. They flow in the installation for the production of metal powders, by spraying tungsten rods. This unit uses a special cooling system. The thermophysical problem is solved by one of the numerous methods of mathematical modeling of

heat transfer processes. The finite element method was used, which is implemented in the CFD software package. The design and principle of operation of the spindle unit of the installation for sputtering tungsten rods are analyzed. It is represented by the object of mathematical modeling of heat transfer processes. The temperature distributions in the characteristic studied working areas of the parts of the installation units are obtained. Based on the simulation results in the CFD software package, the calculation results were analyzed. The results showed the high efficiency of the developed cooling system for the installation for spraying metal powders.

Keywords: heat transfer, temperature, spindle, cooling, bearing.

References

1. Iskovych-Lototsky R. D., Ivanchuk Y. V., Tesovsyi D. V., Veselovskyi Y. P. Hybrid modeling applications for waste management plants // Technological Complexes. Science Journal – Lutsk, 2012. – Vol. 1,2(5, 6). – PP. 122 – 126.
2. Iskovych-Lototsky R. D., Veselovska N. R., Ivanchuk Y. V., Veselovskyi Y. P. Calculation of temperature fields in the working areas of the pyrolysis unit // Interuniversity collection of scientific works "SCIENTIFIC NOTES". – Lutsk, 2013. – Vol. 42. – PP. 113 – 120.
3. Rostislav D. Iskovych-Lototsky, Yaroslav V. Ivanchuk, Natalia R. Veselovska, Wojciech Surtel, Samat Sundetov. "Automatic system for modeling vibro-impact unloading bulk cargo on vehicles", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080860 (1 October 2018). doi: 10.1117/12.2501526.
4. Iskovych-Lototsky R. D., Ivanchuk Y. V., Veselovsky Y. P. The basis of resonance-structure theory for vibroimpact unloading of the vehicles // Science Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan. – D., 2014. – №5(53) – PP.109 – 118. doi: 10.15802/stp2014/30458.
5. Rostislav D. Iskovych-Lototsky, Yaroslav V. Ivanchuk, Yaroslav P. Veselovsky, Konrad Gromaszek, Ayaulym Oralbekova. "Automatic system for modeling of working processes in pressure generators of hydraulic vibrating and vibro-impact machines", Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 1080850 (1 October 2018). doi: 10.1117/12.2501532.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.023

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

Карпенко С.Л., Рудакова Г.В.

Херсонський національний технічний університет, Україна

Перетворення сільськогосподарського виробництва у високо розвинутий сектор економіки неможливе без послаблення його залежності від несприятливих природно-кліматичних умов [1].

Важливим аспектом підтримання технологічного процесу вирощування агрокультур особливо на півдні країни є автоматизовані системи поливу, для ефективної роботи яких необхідно налаштування з урахуванням певних факторів.

В закритих зрошувальних системах на півдні України переважно застосовують дощувальні машини серії «Фрегат» [2]. При експлуатації таких систем виникають проблеми контролю тиску у системі, проблема дистанційного керування іригаційним обкладанням.

Для ефективної роботи такої системи необхідно своєчасне перемикання між режимами роботи насосного агрегату, що можливо при існуванні належної системи керування. При розробці методів керування та виборі технічних засобів насамперед постає задача аналізу ЗЗС як об'єкта керування.

Для побудови математичної моделі ЗЗС як об'єкта керування розглянемо взаємозв'язки між окремими компонентами системи. Схему взаємодії складових компонентів наведено на рис. 1.

До складу ЗЗС входять наступні компоненти:

1) насосний агрегат (НА), що забезпечує подачу води до системи трубопроводів з джерела рідини (ДР), яким може виступати відкрита водойма або магістральний трубопровід;

2) розподільний та зрошувальний трубопроводи (РТ та ЗТ), які поєднані в єдину систему за допомогою вузлів водорозподілу (ВР);

3) запірні арматури (ЗА) для підключення/відключення дощувального обладнання та регулювання потоку рідини за допомогою виконавчого

механізму (ВМ) та шарового крану (ШК);

4) дощувальні машини універсальні (ДМУ), які безпосередньо забезпечують зрошення та є основними споживачами;

5) система керування закритою зрошувальною системою (СКЗЗС) та система управління запірною арматурою (СУЗА).

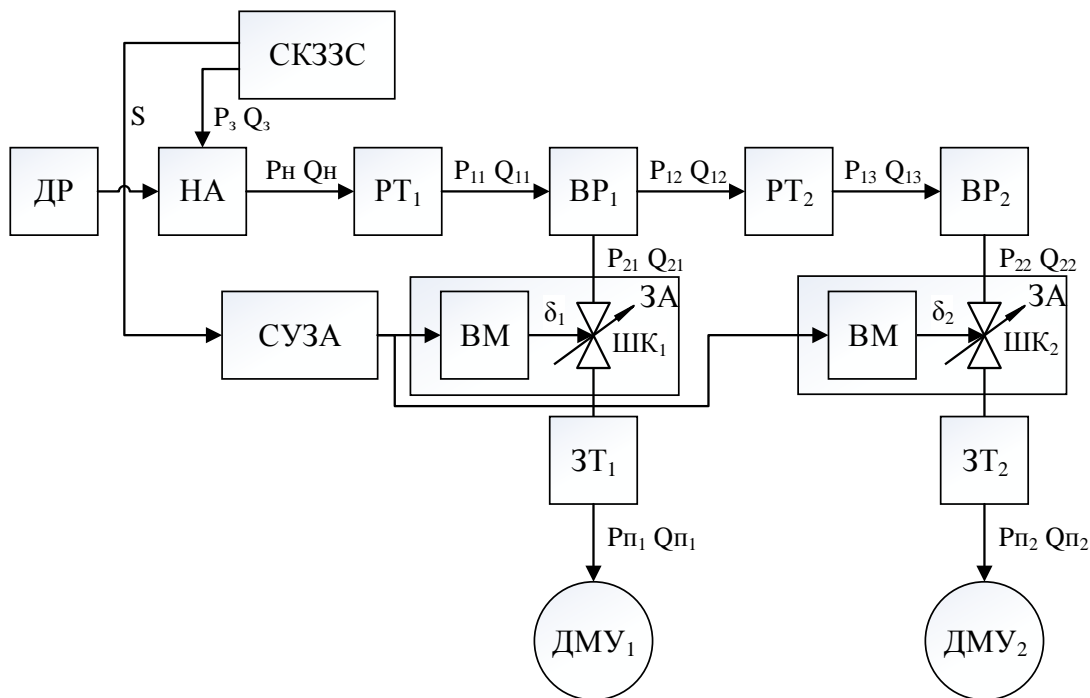


Рисунок 1 – Схема взаємозв'язків між складовими компонентами ЗЗС

Проаналізувавши складові моделі ЗЗС як об'єкту управління, можна виділити вхідні, вихідні та внутрішні параметри системи.

Вхідними параметрами, які діють на систему є: 1) схема розташування активного зрошувального обладнання, яка задається оператором згідно плану поливів; 2) сигнал завдання витрат рідини необхідних для зрошення агрокультур, який задається оператором згідно плану поливів; 3) сигнал завдання тиску необхідного для коректної роботи зрошувального обладнання, який задається оператором згідно технічних характеристик зрошувального обладнання; 4) сигнал з датчиків температури, розташованих у водоймі з якої йде забір води для поливу, перейдеться автоматично.

До вихідних параметрів системи відносяться: 1) тиск на різних ділянках трубопроводу, 2) напір та витрати рідини, що подаються на ДМУ.

До внутрішніх параметрів системи відносяться: 1) частота обертів валу двигуна/насосу насосної станції; 2) кут відкриття засувки на вході в

зрошувальний трубопровід; 3) кількість активного зрошувального обладнання.

Ефективне керування технологічним обладнанням повинне забезпечити рівномірність та виконання норм поливу згідно плану зволоження ґрунту. Для визначення адекватності математичної моделі, яка створюється за запропонованим підходом, доцільно здійснити імітаційне моделювання роботи ЗЗС для реальних умов в різних режимах роботи. Для визначення властивостей ЗЗС як об'єкта керування, таких як інерційність, керованість, стійкість, спостережливість, необхідно отримати модель комплексу у просторі станів.

Література

1. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року. Указ Президента України від 24.05.2012 р. № 4836.
2. Гурин В.А., Степаненко М.Г., Степаненко М.П. Технологія зрошування: навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 382 с.

MATHEMATICAL MODEL OF THE CLOSED IRRIGATION SYSTEM AS THE CONTROL OBJECT

Karpenko Serhii, Rudakova Hanna

Abstract. The article considers the scheme of relationships between the main components of a closed irrigation system such as pumping unit, distribution and irrigation pipeline, shut-off valves, universal sprinklers, control system with their subsequent mathematical description. The system as an object of control is analyzed, input, output and internal parameters of the system are revealed.

Keywords: pumping unit, valves, closed irrigation system, irrigation equipment, mathematical model.

References

1. National target program for the development of water management and environmental rehabilitation of the Dnieper River basin for the period up to 2021. Decree of the President of Ukraine of 24.05.2012 № 4836.
2. Gurin VA, Stepanenko MG, Stepanenko MP Irrigation technology: a textbook. - Rivne: NUVGP, 2013. - 382 p.

ТЕРМОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИЛКОТЕРМІЧНОГО МЕТОДУ ОТРИМАННЯ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОГО ФЕРОМАРГАНЦЮ У КОНВЕРТЕРІ

Киричок В.С., Надточій А.А., Великонська Н.М.

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

Марганець відіграє важливу роль у чорній металургії. Використання марганцю поділяється у відсотковому співвідношенні: 30% застосовують в процесах виробництва сталі для десульфурзації і в якості розкислювача [1], а 70% - виключно в якості легуючого елемента при отриманні різних марок сталей і сплавів на залізній основі. Потреба сталеплавильної промисловості у середньовуглецевому феромарганці і металевому марганці задовольнялася застосуванням досить складної технології: виплавка переробного малофосфористого марганцевого шлаку, виплавка переробного силікомарганцю, отримання металевого марганцю. Наскрізне вилучення марганцю знижувалося.

Широке використання марганцю при одержанні сталі дещо обмежує його застосування при розкисненні низьковуглецевих марок сталей в силу вживання марганцю переважно у вигляді високовуглецевого феромарганцю. Фізико-хімічна сутність силкотермічного способу отримання марганцю металевому, низько- і середньовуглецевого феромарганцю може бути представлена як поєднаний процес відновлення-рафінування з отриманням марганцевих феросплавів із заданим стандартним вмістом кремнію. У зв'язку з цим, актуальним є визначення термодинамічних характеристик процесів відновлення-окислення в системі Mn-Si-Fe-P-O-C шлак-метал-газ та розробка технології зневуглецьовування високовуглецевих марганцевих розплавів при застосуванні продувки газоподібним киснем та обробки шлаковими розплавами певного складу.

Автори [2, 3] випробували технологію силкотермічного відновлення оксидів марганцю із шлаку в конвертері з донним дуттям. Дослідні плавки проводилися в конвертері ємністю 1 т з трьома донними фурмами типу «труба в трубі», виготовленими з мідних і нержавіючих труб. Для розплавлення

силікомарганцю марки MnC17 використовувалася дугова сталеплавильна піч ємністю 1,5 т (ДСП-1,5). Алгоритм проведення плавки був таким. Після розплавлення 950-970 кг MnC17 і нагрівання його до температури 1620-1630 °С він заливався в конвертер, на підніжжя якого перед зливом рідкого силікомарганцю присаджувалось вапно в кількості 20 кг/т. З метою підігріву металеві ванни в конвертер вдували кисень протягом 5-6 хвилин з інтенсивністю 0,98-1,02 м³/т·хв і природний газ з інтенсивністю 7-10 % від витрати кисню. За цей період метал підігрівався до температури 1670-1680 °С. Потім переходили на продувку аргоном, який подавався із сумарною інтенсивністю 0,7 м³/т·хв. З переходом на продувку конвертерної ванни нейтральним газом в конвертер присаджували близько 800 кг офлюсованого агломерату. За цей період температура металеві ванни конвертера знизилася до 1320-1340 °С. Для підігріву розплав переходили на 6-7 хвилинну кисневу продувку. У цей період метал підігрівався до температури 1600 - 1620 °С. Після розігріву сплаву переходили на продувку нейтральним газом. У конвертер присаджували 25 кг/т вапна і близько 650 кг офлюсованого агломерату. Друга продувка нейтральним газом продовжувалася протягом 7-9 хв. При цьому температура металу знизилась до значень 1300-1320 °С [2].

Розрахунок термодинамічних параметрів процесів в складній гетерогенній системі Mn-Si-Fe-P-O-C виконано із застосуванням програмного комплексу "HSC Chemistry 6.0". Для детального вивчення поведінки компонентів металу та шлаку розрахунок рівноваги проводили для кожного періоду окремо. Отримані дані на кожному періоді були вхідними даними для наступного періоду. В якості вихідних даних для розрахунку рівноваги на першому періоді взяли силікомарганець (16,15% Si, 67,20% Mn, 1,74 % C, 0,37% P, 0,027% S) в кількості 950 кг та вапно в кількості 20 кг, кисню – 7,145 кг і природного газу – 0,357 кг. Розрахунок провели для температур 1620-1680 °С. Результат розрахунку для вмісту компонентів шлакової системи показав можливе утворення складних сполук: силікатів кальцію (3CaO·2SiO₂, CaO·SiO₂, 2CaO·SiO₂, 3CaO·SiO₂, 3CaO·SiO₂), силікатів марганцю (2MnO·SiO₂, MnO·SiO₂), а також вільні оксиди SiO₂, MnO та CaO, причому зі збільшенням температури відбувається невеликі зміни в кількості цих сполук. Маса отриманого шлаку

складає 39,80 кг, основність шлаку на першому періоді складає 1,04. Результати розрахунку складу металеві системи, % мас.: 67,88 Mn, 15,32 Si, 14,68 Fe, 1,73 C, 0,384 P, 0,0008 S. Розрахункова маса металу складає 940 кг, кратність шлаку – 0,042.

У другому періоді у розрахунку до шихтових матеріалів додали 800 кг офлюсованого марганцевого агломерату складу, % мас.: 44 MnO, 28,3 CaO, 14,8 SiO₂, 4,7 MgO, 4,5 Al₂O₃, 3,4 FeO, 0,3 P₂O₅. Розрахунок для другого періоду провели для температур 1680-1330 °С. Маса отриманого шлаку складає 628,9 кг, маса металу – 1151 кг, кратність шлаку – 0,55, основність шлаку – 0,83. Як показав розрахунок рівноваги, вміст марганцю зростає з 67,88% до 79,45%, а вміст кремнію знижується з 15,32% до 6,2%.

У третій період розрахунку добавили кисень в кількості 10 кг та природний газ – 0,5 кг для температур 1330-1610 °С. Маса отриманого металу складає 1120 кг. Склад та кількість компонентів шлакової системи на протязі третього періоду змінилися незначно, маса отриманого шлаку – 633,8 кг, кратність шлаку – 0,56 та основність шлаку – 0,86.

У четвертий період в розрахунок добавили 600 кг офлюсованого агломерату та 28 кг вапна. При цьому розрахунок проводили для температур 1610-1330°С. Маса отриманого шлаку складає 1154 кг, маса металу – 1771 кг, кратність шлаку – 0,9, основність шлаку – 0,92.

Вміст компонентів металеві системи в узлові моменти розрахунку представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад металу на всіх періодах розрахунку

Компонент	Вміст компонентів металу, чисельник – кг/ знаменник - %			
	1 період	2 період	3 період	4 період
Mn	638/67,878	901/79,447	876/78,209	1070/83,8
Fe	138/15,320	159/14,02	159/14,19	176/13,784
Si	144/14,682	70,3/6,20	64,1/5,72	8,98/0,703
C	16,3/1,734	16,3/1,437	16,3/1,45	15,3/1,277
P	3,61/0,384	4,66/0,411	4,66/0,416	5,51/0,431
S	0,012/0,001	8,07·10 ⁻⁴ /7,12·10 ⁻⁵	0,0136/0,001	0,00157/0,000123

Аналіз розрахункових даних показав зниження вмісту кремнію з 16,05% у вихідному матеріалі до 0,7 у кінцевому феромарганцю. Вміст вуглецю знижується незначно з 1,72% до 1,28%. Зниження вмісту вуглецю у металі пов'язано, вірогідно, з його «розбавленням» марганцем, що відновився. Вміст марганцю збільшується з 67,25% у вихідному матеріалі до 83,8% у кінцевому феромарганцю. Для фосфору спостерігається підйом вмісту на усіх періодах, у кінцевому продукті вміст фосфору вже 0,43%. Для досягнення прийнятних концентрацій фосфору в металі необхідно застосовувати низькофосфористі вихідні шихтові матеріали.

На рисунку 1 представлений розрахунок кількості оксидних компонентів, що внесені за усі періоди плавки, та кількості компонентів шлаку наприкінці четвертого періоду. Марганець відновлюється більш ніж на 87%, а кремній окислюється на 56 %.

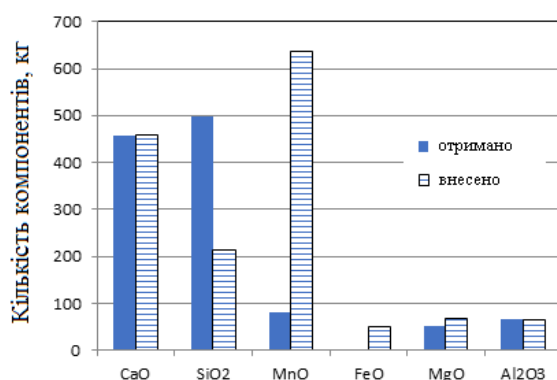


Рисунок 1 - Кількість компонентів шлакового розплаву, що внесені, та отриманні у кінці плавки

У результаті проведення дослідних плавок [2] наведено хімічний склад середньовуглецевого феромарганцю, що отримали, % мас.: 1,55 Si, 84,75 Mn, 1,47 C, 0,40 P, 0,026 S. Порівняння цих даних з даними таблиці 1 показує близькість отриманих даних.

Висновки. Отже, результати теоретичних досліджень та дослідних плавок [2, 3] свідчать про перспективність подальшої розробки технології зневуглецювання високовуглецевих марганцевих розплавів при застосуванні продувки газоподібним киснем та обробки шлаковими розплавами певного складу, але потребує проведення подальших досліджень.

Література

1. Физико-химия и технология электроферросплавов: Учебник для вузов / Гасик М.И., Лякишев Н.П. Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии». 2005. 448 с.
2. Величко А.Г., Ду Юньшен, Лысаков А.В. Силикотермический метод получения среднеуглеродистого марганца в конвертере с донным дутьём. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 3. С.23-25.
3. Величко А.Г., Ду Юньшен, Гасик М.И. Исследование термодинамики восстановления закиси марганца силикомарганцем при получении среднеуглеродистого ферромарганца. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 4. С.34-37.

THERMODYNAMIC SIMULATION OF SILICOTHERMAL METHOD FOR PRODUCTION OF MEDIUM CARBON MANGANESE IN A CONVERTER

Kyrychok Vladyslav, Nadtochij Anzhela, Velikonska Nataliya

Abstract. The widespread use of manganese in the production of steel somewhat limits its use in the deoxidation of low-carbon steel grades due to the use of manganese, mainly in the form of high-carbon ferromanganese. Thermodynamic modeling of equilibrium in a complex heterogeneous Mn-Si-Fe-P-O-C slag-metal-gas system was carried out for a detailed study of the behavior of metal and slag components for each period separately using the technology of silicothermal reduction of manganese oxides from slag in an envelope with bottom blast.

An analysis of the calculated data showed a decrease in the silicon content from 16.05% in the starting material to 0.7 in the final ferromanganese. The carbon content decreases slightly from 1.72 to 1.28%. The manganese content increases from 67.25% in the starting material to 83.8% in the final ferromanganese. For phosphorus, an increase in content is observed in all periods. To achieve acceptable concentrations of phosphorus in the metal, it is necessary to use low-phosphorus initial charge materials. The results of theoretical studies indicate the prospects for further development of the technology for decarburization of high-carbon manganese melts using blowing with gaseous oxygen and treatment with slag melts of a certain composition.

Keywords: silicomanganese, medium carbon ferromanganese, converter, oxygen, slag melt, equilibrium.

References

1. Fiziko-himiya i tekhnologiya elektroferrosplavov: Uchebnik dlya vuzov / Gasik M.I., Lyakishev N.P. Dnepropetrovsk: GNPP «Sistemnye tekhnologii». 2005. 448 s.
2. Velichko A.G., Du Yun'shen, Lysakov A.V. Silikotermicheskij metod polucheniya sredneuglerodistogo marganca v konvertere s donnym dut'yom. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2015. № 3. S.23-25.
3. Velichko A.G., Du Yun'shen, Gasik M.I. Issledovanie termodinamiki vosstanovleniya zakisi marganca silikomargancem pri poluchenii sredneuglerodistogo ferromarganca. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2015. № 4. S.34-37.

МУЛЬТИФІЗИЧНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В СИСТЕМІ ПРИЙОМУ ТА АКУМУЛЮВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Книш Л.І., Масаликін С.С., Юрков Р.С., Борисенко А.Г.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Використання невичерпаних можливостей енергії Сонця в наземній та космічній енергетиці гальмується складними науковими проблемами, що виникають під час проектування та функціонування відповідних систем перетворення. Для прямого фотоелектричного перетворення ці проблеми обмежуються рівнем технологій, що необхідні для створення нових, більш ефективних фотоелектричних напівпровідникових матеріалів. Наукова проблема, що виникає під час створення термодинамічних систем, є більш глибокою та всебічною. Для безперебійного функціонування термодинамічних енергетичних систем з машинним перетворенням енергії Сонця необхідно вирішувати комплексну мультифізичну задачу, яка полягає у забезпеченні відповідної фіксованої температури теплоносія на вході в цикл при нерівномірному розподілі сонячного сьйва протягом часу, доби, року. В даній роботі розглянуті лише де-які аспекти цього питання, а саме, оптимізація геометричних та енергетичних параметрів системи «концентратор – теплоприймач»; вибір типу теплоносія, його динамічних показників, методів інтенсифікації конвективного теплообміну; вибір типу системи акумулювання теплової енергії, можливих видів теплоакумуючого матеріалу, визначення розподілу температурних та енергетичних полів в теплового акумуляторі.

Оптимізація геометрії системи «концентратор – теплоприймач» проводилась, базуючись на узагальненій математичній моделі, яка буда розв'язана методом статистичних випробувань Монте-Карло. На основі створеного програмного коду були проведені параметричні числові дослідження, що визначили відповідні параметри концентратора та теплоприймача з урахуванням їх взаємного розташування, орієнтації на Сонце, можливості дефокусування тощо [1]. Дані нерівномірного розподілу щільності теплового потоку, які отримані методом Монте-Карло, передавалась в окремий програмний модуль, який був розроблений для визначення температурних

полів теплоносія в теплоприймальному каналі. Числовий алгоритм конвективного переносу в теплоприймальному каналі було побудовано на основі розробленої 3D математичної моделі, яка складалась із рівняння енергії та рівняння руху для теплоносія і доповнювалась граничними умовами, що визначали нерівномірний розподіл теплового потоку від концентратора, конвективні та радіаційні втрати з поверхні теплоприймача в навколишнє середовище. Побудований числовий алгоритм було розв'язано методом контрольних об'ємів в нелінійній постановці, яка передбачала визначення залежності теплофізичних властивостей теплоносія від температури. Під час дослідження ставилась окрема задача, пов'язана із можливістю інтенсифікації конвективного теплообміну в теплоприймальному каналі. Така задача може бути розв'язана шляхом збільшення площі концентратора, що приводить до зменшення надійності системи «концентратор – теплоприймач»; шляхом введення в теплоприймальний канал додаткових систем турбулізації потоку, що ускладнює конструкцію теплоприймача, збільшує потужність насосної системи; шляхом вдосконалення параметрів самого теплоносія. Саме останній підхід було обрано в якості головного для інтенсифікації конвективного теплообміну. Передбачалось, що параметри теплоносія будуть удосконалені шляхом додавання в нього частинок нанометрового розміру. Такі наночастинки покращують теплофізичні та динамічні показники базового теплоносія, сприяють підвищенню коефіцієнту конвективної тепловіддачі, що призводить до підвищення загальної теплової ефективності системи прийому [2].

Безперебійність функціонування системи перетворення неможливе без введення в термодинамічний контур системи акумулювання енергії, яка згладжує піки навантаження, пов'язані із нерівномірним надходження сонячної радіації. Запропонований фазоперехідний теплоакумулятор «тверде тіло – рідина» має суттєві переваги перед іншими типами акумулювання [3]. Розроблена математична модель та створено числовий алгоритм для визначення розподілу температур, теплових потоків та швидкість руху границі розподілу фаз в теплоакумуляторному матеріалі. Вибір типу теплоакумуляторного матеріалу визначався його температурою фазового переходу, яка відповідає температурі теплоносія в системі перетворення.

Література

1. Масаликін С.С., Книш Л.І. Алгоритм Монте-Карло для розрахунку переносу випромінювання в системі «Сонце – параболоїдний концентратор – теплоприймач», Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій, 2021, Т.33, №1, С. 114 – 125, DOI: <https://doi.org/10.15421/4221010>
2. Борисенко А.Г., Книш Л.І. Моделювання теплообміну в сонячних термодинамічних системах з нанорідиною в якості теплоносія, Збірник наукових праць «Питання прикладної математики і математичного моделювання», Збірник наукових праць Питання прикладної математики і математичного моделювання, 2021, Випуск 21, С. 16 – 25. doi: 10.15421/322102
3. Юрков Р.С., Книш Л.І. «Верифікація математичної моделі задачі Стефана в рамках методу «Mushy layer», Технічна механіка, 2021, № 3 , С. 119 – 125. <https://10.15407/itm2021.03.119>

MULTIPHYSICAL MATHEMATICAL MODEL OF HEAT AND MASS EXCHANGE IN RECEIVER AND THERMAL STORAGE SYSTEM OF THE SOLAR THERMODYNAMIC PLANT

Knysh Lyudmyla, Masalykin Stanislav, Yurkov Roman, Borysenko Andriy

Abstract. The main stages of creation of the multiphysical mathematical model of heat exchange in receiver system of the solar thermodynamic system with concentrator are presented in this study. The statistic approach for modeling of the heat fluxes in system «concentrator – heat receiver» is used in first stage. Obtained distribution of concentrated solar flow at outer heat receiver surface is applied as boundary condition for numerical modeling of the convective heat exchange in the heat transfer fluid. The average heat transfer fluid temperature is found in the second stage research. This temperature is determined type of the thermal storage material for the thermal storage module with phase change «solid - liquid». Geometry of the thermal storage module, temperature fields in the thermal storage material, heat transfer flow rate, which ensures given input temperature in energy conversion system were determined.

Keywords: mathematical model, solar energy, concentrator, heat receiver, thermal storage module, numerical modeling.

References

1. Masalykin S.S., Knysh L.I., Monte-Carlo algorithm for calculation of radiation transfer in

the «Sun – parabolic concentrator – heat receiver» system, Problems of computational mechanics and strength of structures, 2021, Vol. 33, no.1, P. 114-125, DOI: <https://doi.org/10.15421/4221010>.

2. Borysenko A.G., Knysh L.I. Heat transfer modeling in solar thermodynamic systems with nanofluid as heat transfer fluid, Problems of applied mathematics and mathematical modelling, 2021, Vol. 21, P. 16-25. DOI: [10.15421/322102](https://doi.org/10.15421/322102)

3. Yurkov R. S., Knysh L. I., Verification of a mathematical model for the solution of the Stefan problem using the mushy layer method, Technical Mechanics, 2021, no.3, C. 119 – 125. DOI: [https:// 10.15407/itm2021.03.119](https://doi.org/10.15407/itm2021.03.119)

ВПЛИВ ПРУЖНИХ ТА ІНЕРЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ШКІВА ЗМІННОГО МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ НА ЙОГО ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Куроп'ятник О. С.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Вступ. У кожній механічній системі є цілий спектр власних частот. Це певні значення власних частот (частот вільних коливань), за яких система може увійти в резонанс у разі, коли частота зміни зовнішнього навантаження буде близькою до однієї з власних частот системи. В межах даної роботи механічною системою є привід канатної дороги. Дослідження показали, що під час розгону привід долає декілька резонансних зон за власними частотами [1]. Зважаючи на те, що виникнення явища резонансу для приводів є небезпечним і вкрай небажаним, у даній роботі пропонується змінити конструкцію шківа. Змінений шків буде відрізнятися від типового тим, що під час розгону та сповільнення приводу його момент інерції буде змінюватися. Такий шків будемо називати шківом змінного моменту інерції.

Змінити момент інерції шківа можливо декількома способами: за допомогою інерційних дисків, які вводяться в зачеплення зі шківом послідовно [2]; шляхом використання додаткових вантажів на важелях, які відхиляються від вертикальної осі обертання системи під дією відцентрових сил під час розгону [3]; за рахунок зміни радіуса інерції шляхом зміни вручну кута нахилу радіальних штанг, до кінців яких прикріплено вантажі [4]; за рахунок зміни фізико-механічних властивостей феромагнітної рідини, у якій перебуває порожнистий диск з магнітом'якого матеріалу, під дією змінного магнітного поля [5]; інші способи [6, 7]. Такі способи мають ряд недоліків: суттєве збільшення маси та габаритів шківа; необхідність використання індивідуальних джерел енергії; складність виготовлення. Дещо простіший та більш ефективний спосіб зміни моменту інерції реалізовано у конструкції шківа, схему та принцип дії якого захищено патентом на корисну модель [8]. Відповідно до цього патенту, шків змінного моменту інерції складається з базової конструкції, напрямних, уздовж яких переміщуються вантажі, які з'єднано з маточиною шківа за допомогою пружних блоків. Його принцип дії (реалізація зміни моменту інерції) полягає в наступному: під час розгону

приводу вантажі під дією сил інерції рухаються від маточини до ободу, за рахунок чого підвищується радіус інерції, а отже, й момент інерції шківів, що дозволяє долати резонансну зону раніше та швидше.

Метою даної роботи є визначення впливу пружних та інерційних параметрів на момент інерції шківів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. розробити модель шківів змінного моменту інерції;
2. дослідити кінематику шківів за різних поєднань пружних та інерційних параметрів;
3. оцінити вплив пружних та інерційних параметрів на момент інерції шківів;
4. виконати попередню оцінку впливу параметрів шківів на його власну частоту.

В якості апарату для проведення досліджень будемо використовувати імітаційне моделювання, що полягає у відтворенні процесу «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення» в системі автоматизованого моделювання та проектування Solidworks із застосування додатку SW Motion.

Розробка моделі шківів. Під час розробки 3D-моделі шківів змінного моменту інерції будемо орієнтуватися на його схему (рис. 1) та параметри, які подано в табл. 1. При цьому приймаємо діаметр шківів рівним 3 м, а максимальну швидкість на його ободі (швидкість усталеного руху) – 5 м/с. Відповідно до вказаних даних після конструктивного опрацювання було розроблено моделі шківів типової конструкції та шківів змінного моменту інерції.

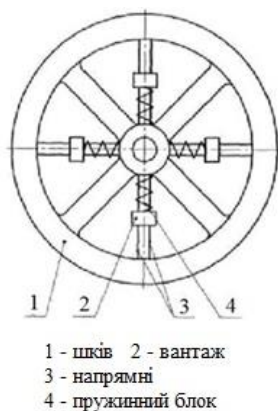


Рисунок 1 – Схема шківів

Таблиця 1 – Параметри шківів

Маса вантажу, кг	Жорсткість пружини, Н/м	Коефіцієнт дисипації, Н/(м/с)
60	1200	120
120	2400	240
200	4000	400

Опис імітаційної моделі та методики досліджень. Для 3D-моделі

шківа змінного моменту інерції було розроблено імітаційну модель у середовищі Solidworks Motion, яка дозволяє моделювати кінематику шківа впродовж періоду «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення». Визначення моменту інерції шківа в окремий момент часу здійснювалося за формулою $J = 2E_k / \omega^2$, де E_k – сумарна кінетична енергія системи (шківа в зборі); ω – кутова швидкість обертання шківа. Величини E_k та ω було отримано на основі показників датчиків, розташованих на елементах 3D-моделі:

- датчик сумарної кінетичної енергії;
- датчик кутової швидкості обертання.

Реєстрація зміни відповідних величин здійснювалася впродовж 20 секунд.

Аналіз результатів дослідження. За наведеною вище формулою на основі результатів імітаційного моделювання було отримано графіки, що відображають зміну моменту інерції шківа у часі при реалізації процесу «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення» (рис. 2). У табл. 2 представлено мінімальні та максимальні значення моменту інерції шківа, а також їх різниця за різних значень маси вантажів. Як бачимо, зі збільшенням маси вантажів діапазон зміни моменту інерції шківа розширюється, набуваючи найбільшого значення для конструкції з вантажами масою 200 кг. При цьому мінімальне значення моменту інерції для шківа є майже незмінним.

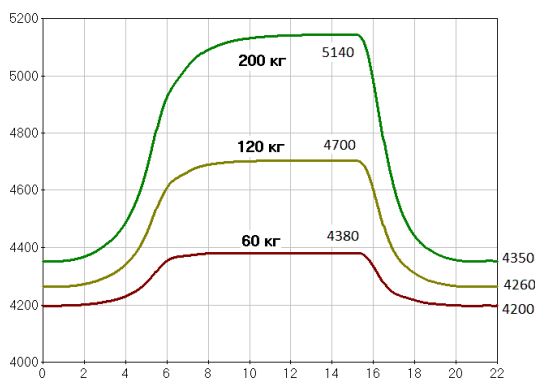


Рисунок 2 – Графік зміни моменту інерції шківа базової конструкції за різних значень маси вантажів

Таблиця 2 – Результати моделювання (момент інерції)

Маса вантажу, кг	Моменти інерції, кг·м ²		
	min	max	max – min
60	4200	4380	180
120	4260	4700	440
200	4350	5140	790

Також за результатами досліджень було отримано криві, що відображають зміну власної частоти шківа впродовж циклу «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення» (рис. 3). Під час проведення імітаційних досліджень

було розглянуто й конструкцію за наявності обмежувача ходу вантажів, який призначено для зупинки руху вантажів на певній відстані біля ободу шківів. Застосування такого конструктивного елемента є виправданим у разі, коли жорсткість пружин є малою, що призводить теоретично – до віддалення вантажів за межі ободу, а практично – до удару вантажів по ободу під час розгону приводу. Доцільність застосування обмежувачів також виправдана й тим, що при цьому інтенсивність проходження резонансної зони підвищується, а резонансна частота знижується (це видно на укрупненому зображенні, розміщеному в межах рис. 3).

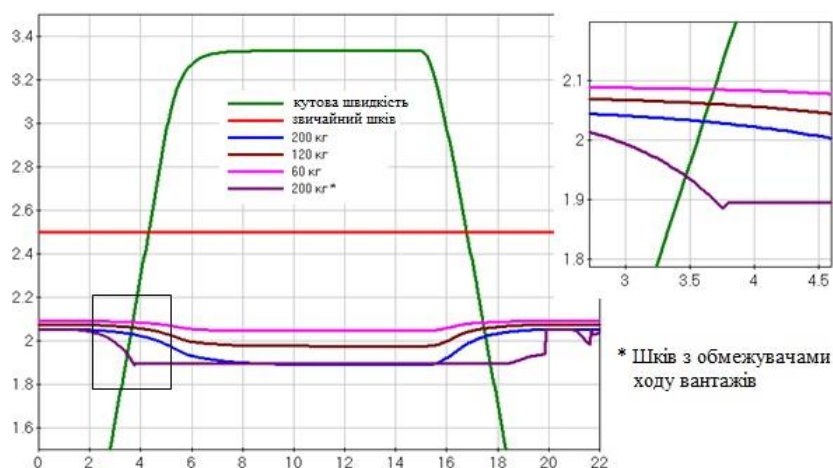


Рисунок 3 – Графік зміни власної частоти шківів базової конструкції у часі за різних значень маси вантажів

Аналіз результатів, отриманих під час проведення досліджень, дозволяє дійти таких **висновків**:

– зменшення маси вантажів з пропорційним підвищенням жорсткості та коефіцієнта дисипації пружинних блоків призводить до зниження власної частоти шківів;

– зменшення жорсткості пружинних блоків за умови незмінної маси вантажів спричинює суттєве зниження власної частоти шківів, однак вимагає застосування обмежувачів ходу вантажів;

– підвищення частки маси вантажів у загальній масі шківів призводить до розширення діапазону зміни моменту інерції шківів.

Література

1. Ракша С. В., Горячев Ю. К., Куроп'ятник О. С. Застосування частотних діаграм для вивчення динаміки приводів підвісних канатних доріг. Подъемно-транспортная техника. 2014. № 3 (43). С. 38–53.

2. Привод машины : пат. 2016292 Россия : F16H 25/00. № 4933587/28 ; заявл. 06.03.1991; опубл. 15.07.1994.
3. Способ увеличения гироскопического момента и устройство для его осуществления: пат. 2009106963 Россия : F16H 33/00. № 2009106963/11 ; заявл. 27.02.2009 ; опубл. 10.09.2010. Бюл. № 25. 2 с.
4. Способ преобразования направления и величины угловой скорости вращения и реверсивная электромеханическая передача: пат. 2451321 Россия: F16H33/04. № 2009115402/07; заявл. 27.04.2009; опубл. 20.05.2012. Бюл. № 14. 6 с.
5. Маховик переменного момента инерции: пат. 2435084 Россия: F16F 15/31. № 2010125545/11; заявл. 21.06.2010; опубл. 27.11.2011. Бюл. № 33. 6 с.
6. Маховик: пат. 59946 Україна : F16F 15/30. № u201012559; заявл. 25.10.2010; опубл. 10.06.2011. Бюл. № 11. 2 с.
7. Маховик: пат. 42107 Україна: F16F 15/30. № u200900044; заявл. 05.01.2009; опубл. 25.06.2009. Бюл. № 12. 3 с.
8. Привід зі шківом змінного моменту інерції: пат. 100668 Україна: F16F 15/31. № u201412899; заявл. 02.12.2014; опубл. 10.08.2015. Бюл. № 15. 5 с.

INFLUENCE OF ELASTIC AND INERTIAL PARAMETERS OF THE PULLEY OF VARIABLE MOMENT OF INERTIA ON ITS DYNAMIC CHARACTERISTICS

Kuropiatnyk Oleksiy

Abstract. In order to reduce the dangerous effects of resonant phenomena that occur during the start of the ropeway drive, this paper proposes the use of a pulley of variable moment of inertia. The influence of elastic and inertial parameters of the pulley on the values of eigenfrequencies was investigated using simulation modeling in the Solidworks computer-aided design system with Motion application. As a result, it was found that a decrease in the mass of the load with a proportional increase in stiffness and dissipation coefficient of the spring blocks leads to a decrease in the eigenfrequency of the pulley; reducing the stiffness of the spring blocks under conditions of constant weight of the load causes a significant reduction in the eigenfrequency of the pulley, but requires the use of load limiters; increasing the share of the mass of the load in the total mass of the pulley leads to an expansion of the range of changes in the moment of inertia of the pulley.

Keywords: імітаційне моделювання; кінематика; власна частота; резонанс; момент інерції.

References

1. Raksha S. V., Goryachev Yu. K., Kuropiatnyk O. S. Application of frequency diagrams to study the dynamics of drives of ropeways. Handling equipment. 2014. № 3 (43). P. 38–53.
2. Machine drive : patent RU2016292 : F16H 25/00. № 4933587/28 ; declared 06.03.1991; published 15.07.1994.
3. Method for increasing the gyroscopic moment and a device for its implementation: patent RU 2009106963: F16H 33/00. № 2009106963/11; declared 27.02.2009; published 10.09.2010.
4. Method for converting the direction and magnitude of the angular velocity of rotation and reversible electromechanical transmission: patent RU2451321: F16H33/04. № 2009115402/07; declared 27.04.2009; published 20.05.2012.
5. Flywheel with variable moment of inertia: patent RU2435084: F16F 15/31. № 2010125545/11; declared 21.06.2010; published 27.11.2011.
6. Flywheel: patent UA59946 : F16F 15/30. № u201012559; declared 25.10.2010; published 10.06.2011.
7. Flywheel: patent UA42107: F16F 15/30. № u200900044; declared 05.01.2009; published 25.06.2009.
8. Drive with pulley of variable moment of inertia: patent UA100668: F16F 15/31. № u201412899; declared 02.12.2014; published 10.08.2015.

АВТОМАТИЗАЦІЯ АНАЛІЗУ КОРЕКТНОСТІ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ У НАУКОВИХ РОБОТАХ

Куроп'ятник О.С., Шинкаренко В.І.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Вступ. Сьогодні значна кількість інформації представлена у текстовому вигляді. Тексти можуть бути класифіковані за багатьма критеріями, в тому числі за мовою написання. Серед типів мов слід визначити два принципово різні: природні та формальні. До останніх відносяться математичні викладення та мови програмування. Для позначення текстів, що мають фрагменти двома зазначеними типами мов, будемо використовувати термін гібридних мов.

До гібридомовних текстів відносяться наукові роботи, технічні документація, навчальні посібники, вихідний текст програм з коментарями тощо. Такі тексти, що містять математичні викладки, потребують пояснення використаних позначень змінних, операцій та відношень. Зазвичай вони наводяться один раз, безпосередньо після першого входження. Проте введені позначення можуть використовуватися протягом всієї роботи, тож доцільним є формування коректного переліку умовних позначень. Під коректністю будемо розуміти наявність повного, точного та однозначного опису (специфікації) всіх введених позначень та відсутність його дублювання.

Особливістю задачі формування списку позначень є необхідність роботи з текстом. Дана робота направлена на розробку засобів формування списку для текстів, представлених у форматі Tex.

Основний матеріал. Формування переліку позначень передбачає розбір фрагментів формальними мовами – формул, та природними – текст навколо формул, що містить пояснення позначень. Існуючі методи розбору передбачають роботу з візуальним представленням формул у цифрових документах [1, 2], з перетворенням в LaTeX-токени [3], розбору формул в документах та їх представлення у деревовидній структурі [4], в тому числі для спеціалізованих форматів [5]. Основною метою вже проведених досліджень є розпізнавання формул. Задачею даної роботи є розбір гібридних текстів і

формування специфікацій позначень, використаних у формулах, що забезпечить коректність списку умовних позначень.

З метою автоматизованого формування списку умовних позначень пропонується розробка системи, яка складається з таких модулів:

– інтерфейсного – завантаження файлу роботи, подання запиту на формування списку умовних позначень та його перегляд.

– лексично-семантичного аналізу – розбір тексту, виокремлення ідентифікаторів змінних та відношень у ізольованих та вбудованих формулах [4];

– пошуку в тексті пояснень до знайдених позначень;

– формування списку умовних позначень.

Лексично-семантичний аналіз виконується на основі LL1 грамматики, побудованої для окремого виду файлів: tex, doc, pdf.

Для формату tex граматики має такий вигляд:

$$G = \langle T, N, \sigma, P \rangle, \quad (1)$$

де T – множина терміналів, що включає множини кирилических та латинських символів, що формують основний текст наукової роботи, та множини позначені, які використовуються в LaTeX: грецькі символи, бінарні операції, відношення, математичні функції, додаткові символи, в тому числі з пакетів `amssymb`, дужки різних видів [6]. Також до терміналів віднесемо символи та їх сполучення: `$`, `$$`, `\begin{equation}`, `\end{equation}`, `_`, `^`. До не терміналів входять допоміжні символи. Для збільшення читабельності правил грамматики будемо позначати їх словами англійської мови: *paragraph*, *formula*, *body*, *bracket*, *variables*, *rel (relation)* тощо. $\sigma \in N$ – аксіома, початковий нетермінал для виведення.

Правила розбору для тексту мають вигляд:

$$\sigma \rightarrow \text{paragraph formula } \sigma \quad (2)$$

$$\sigma \rightarrow \text{paragraph } | \text{ formula} \quad (3)$$

$$\text{formula} \rightarrow \$\text{body}\$ | \$\$body\$\$ \quad (4)$$

$$\text{formula} \rightarrow \backslash\text{begin}\{equation\}\text{body} \backslash\text{end}\{equation\}\$ \quad (5)$$

$$\text{body} \rightarrow \text{operand} \quad (6)$$

$$body \rightarrow bracket\ operand\ rel\ body\ bracket \quad (7)$$

$$bracket \rightarrow \varepsilon | (| \{ |) | \} | \dots \quad (8)$$

У правилах (6) – (7) операндами можуть виступати: ідентифікатори, що позначають назви змінних або математичних функцій, літерали. Правило (8) може бути доповнене різними видами дужок, що набираються безпосередньо з клавіатури та вводяться за допомогою спеціальних послідовностей символів *tex*. ε – порожній елемент (символ).

Для формування списку умовних позначень особливу увагу слід приділити виявленню в тексті та тілі формул позначок змінних. Змінні можуть бути представлені символами грецького алфавіту, латиницею, кирилицею.

Для формату *tex* відповідні правила розпізнавання змінних мають вигляд:

$$variable \rightarrow title \quad (9)$$

$$variables \rightarrow title_index | title_{\index} | \{ _index \} title \quad (10)$$

$$variables \rightarrow title^{\index} | title^{\{ \index \}} \quad (11)$$

$$variables \rightarrow \{ _index^{\index} \} title | \{ title_index \}^{\index} \quad (12)$$

Правила (10) та (11) позначають змінні, що мають нижній або верхній індекс відповідно. Правило (11) описує наявність у змінної верхнього та нижнього індексу одночасно.

Програмна реалізація підходу на основі граматики передбачає створення автоматної структури даних. Стани описуються у вигляді записів таблиці, що містять: номер стану, очікуваний термінал, номер стану, до якого можливий перехід, позначку про прийняття. Позначка про прийняття вказує на те, що зчитана лексема тексту наукової роботи розпізнана.

Пошуку в тексті пояснень до знайдених позначень виконується на основі результатів попереднього етапу. Формування списку умовних позначень полягає у формуванні асоціативної структури даних, яка в якості ключа приймає позначку змінної чи відношення.

Висновки. Використання LL1 граматики для розробки автоматизованої системи формування списку позначень дозволяє модифікувати та доповнювати систему правил, враховуючи спец символи додаткових пакетів. Включення у граматику дій дозволяє сумістити етапи лексично-синтаксичного

аналізу та формування списку. Отримана система може бути корисною для підвищення якості представлення текстів, написаних гібридними мовами.

Література

1. Shah A. K., Dey A., Zanibbi R. A Math Formula Extraction and Evaluation Framework for PDF Documents //International Conference on Document Analysis and Recognition. – Springer, Cham, 2021. – С. 19-34.
2. Li X. H., Yin F., Liu C. L. Page object detection from pdf document images by deep structured prediction and supervised clustering //2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). – IEEE, 2018. – С. 3627-3632.
3. Mahdavi M. et al. LPGA: Line-of-sight parsing with graph-based attention for math formula recognition //2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). – IEEE, 2019. – С. 647-654.
4. Kostalia E. E., Petrakis E. G. M., Bourbakis N. Evaluating Methods for the Parsing and Understanding of Mathematical Formulas in Technical Documents //2020 IEEE 32nd International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). – IEEE, 2020. – С. 407-412.
5. Kaliszyk C., Urban J., Vyskocil J. System description: statistical parsing of informalized Mizar formulas //2017 19th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC). – IEEE, 2017. – С. 169-172.
6. Львовский С. М. Набор и вёрстка в системе LATEX. – 2003.

AUTOMATION OF THE OF SYMBOLS CORRECTNESS ANALYSIS IN SCIENTIFIC WORKS

Kuropiatnyk Olena, Shynkarenko Viktor

Abstract. In paper we propose the system of automated formation of the list of symbols in scientific works as kind of hybrid language texts, which are presented in the format of Tex. We describe the main system components. To analyze the text, it is suggested to use LL1 grammar. For grammar, terminal and nonterminal sets and a set of rules are defined. The rules for recognizing variables are described. The usage of LL1 grammar allows expanding the system for new characters of mathematical packages and combining the stages of parsing the text and forming a list. The system can be useful for improving the quality of presentation of texts in hybrid languages.

Keywords: lexical analysis, semantic analysis, formulas, tex, LL1-grammar.

References

1. Shah A. K., Dey A., Zanibbi R. A Math Formula Extraction and Evaluation Framework for PDF Documents //International Conference on Document Analysis and Recognition. – Springer, Cham, 2021. – P. 19-34.
2. Li X. H., Yin F., Liu C. L. Page object detection from pdf document images by deep structured prediction and supervised clustering //2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). – IEEE, 2018. – P. 3627-3632.
3. Mahdavi M. et al. LPGA: Line-of-sight parsing with graph-based attention for math formula recognition //2019 International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). – IEEE, 2019. – P. 647-654.
4. Kostalia E. E., Petrakis E. G. M., Bourbakis N. Evaluating Methods for the Parsing and Understanding of Mathematical Formulas in Technical Documents //2020 IEEE 32nd International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). – IEEE, 2020. – P. 407-412.
5. Kaliszyk C., Urban J., Vyskocil J. System description: statistical parsing of informalized Mizar formulas //2017 19th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC). – IEEE, 2017. – P. 169-172.
6. Lvovsky S. M. Typing and layout in the LATEX system. – 2003.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.027

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ КЛАСИЧНОГО ТА МОДИФІКОВАНОГО КРИТЕРІЮ БУША-ВІНДА В ЗАДАЧАХ КІБЕРБЕЗПЕКИ

Малайчук В.П., Клименко С.В., Лисенко Н.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

При проектуванні і випробуванні технічних об'єктів інформація про їх причинно-наслідкові зв'язки міститься у вибірках експериментальних вимірювань, як правило, з невідомими статистичними закономірностями. Розуміння цих закономірностей може бути отримано шляхом комп'ютерної обробки експериментальних вимірювань.

Практична значущість критерія Буша-Вінда щільно пов'язана з довжиною вибірок вимірювань. Якщо критерій характеризується високими значеннями ймовірностей вірного розпізнавання навіть в умовах обмеженості вхідних даних, то його можна рекомендувати для практичного застосування. Досліджено ефективність класичного та модифікованого критеріїв Буша-Вінда, застосовуючи короткі вибірки вимірювань $n = 10; 20$. При використанні вибірок вимірювань довжиною $n = 10$ і 20 середні значення класичного і модифікованого показників критерію Буша-Вінда залишаються без суттєвих змін і відхиляються від середніх значень, отриманих при використанні вибірок довжиною $n = 100$, не більше ніж на 7%. При зменшенні довжини вибірок вимірювань звужується діапазон розмаху, а вибіркові дисперсії зменшуються в середньому на 16%. Особливо слід звернути увагу на те, що значення ймовірностей прийняття вірного рішення, як за класичним критерієм Буша-Вінда, так і за його аналогом, при застосуванні коротких вибірок вимірювань ($n = 10$ і 20) залишаються на такому ж високому рівні, як і при застосуванні довгих вибірок вимірювань випадкових величин ($n = 100$). Отже, можна зробити висновок про ефективність класичного та модифікованого критеріїв Буша-Вінда при застосуванні коротких вибірок вимірювань ($n = 10$ і 20), але саме модифікований критерій характеризується зменшенням обчислювальної складності при його застосуванні в задачах кібербезпеки.

Література

1. Кобзарь А.М. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

STUDY AND COMPARISON OF CLASSICAL AND MODIFIED BUSH-WIND CRITERIA IN CYBER SECURITY TASKS

Malaychuk Valentin, Klymenko Svitlana, Lycenko Natalia

Abstract. A study of the use of the classical Bush-Wind test in cybersecurity problems has been conducted and it has been determined that this criterion has shortcomings. A new modified Bush-Wind criterion is proposed, which allows to reduce the calculated complexity while maintaining its efficiency in conditions of limited experimental data. Studies have been conducted to assess the informativeness of classical and modified Bush-Wind criteria for samples of logistic, Rayleigh and exponential random variables by computer processing of experimental measurements.

Keywords: recognition, criterion, mathematical statistics, empirical probabilities, random variables, cybersecurity.

References

1. Kobzar' A.M. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. M.: Fizmatlit, 2006. – 816s.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.028

МОЖЛИВОСТІ ЗМЕНШЕННЯ ОБСЯГІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ РУДНОТЕРМІЧНОЮ ПІЧЧЮ

Міщенко В.Ю., Качан Ю.Г.

Національний університет «Запорізька політехніка», Україна

Вступ. Сучасний рівень розвитку електротермії сприяє інтенсивному використанню існуючих електропічних установок та введенню в експлуатацію нових електродугових печей змінного струму. При цьому актуальним залишається питання застосування енергозберігаючих технологій. Так завдяки комплексному підходу цього математичного моделювання з врахуванням того, що у ванні одночасно протікають безпосередньо пов'язані між собою електричні, теплові та хімічні процеси стає можливим досягти економії енергоресурсів.

Основний матеріал. В працях [1-3] розглядаються елементи динамічної алгоритмічної моделі роботи круглої трьохелектродної руднотермічної печі, яка враховує специфіку протікання електричних, теплових та хімічних процесів, що безпосередньо взаємопов'язані між собою, при одержанні феросплавів. Представлена повна узагальнена структура такої моделі.

Головною метою її створення є можливість контролю та впливу на технологічний процес задля зменшення питомих витрат електричної енергії на одиницю готової продукції.

Алгоритм розрахунків розбитий на основні блоки: введення початкових параметрів; розбиття внутрішньої області печі на елементарні об'єми (для проведення в них розрахунків); визначення шляхів розтікання струму; розрахунок енергії, що виділилась в елементарних об'ємах внаслідок проходження струму через шихту; розрахунок температурного поля ванни; визначення моменту самозаймання коксика; перерахунок температурного поля ванни внаслідок процесів теплопередачі; визначення кількості утвореного розплаву; розрахунок кількості шихти, що необхідно підсипати у ванну; виведення параметрів роботи печі.

Так як піч поділена на елементарні об'єми, то шихта в кожній

однооб'ємній елементарній складовій ΔV за певної температури має свій питомий електричний опір. Також маючи шляхи розтікання струму в робочому просторі РТП можна розрахувати кількість введеної в них електричної енергії за певний проміжок часу. Для цього необхідно виділити конкретну траєкторію протікання струму і розрахувати її повний електричний опір. Після цього за законом Ома визначаємо величину струму. В результаті кількість енергії, що виділилась в елементарному об'ємі за рахунок електричного струму за проміжок часу $\Delta\tau$ може бути визначена як:

$$Q_{e(R,\phi,z)} = I_i^2 \cdot X_{R,\phi,z} \cdot \Delta\tau, \quad (1)$$

де I_i – величина сили струму, що проходить через елементарний об'єм; $X_{R,\phi,z}$ – електричний опір елементарного об'єму; $\Delta\tau$ – проміжок часу.

Отже, знаючи кількість енергії, що виділилась в кожному елементарному об'ємі за рахунок проходження через нього електричного струму та підсумувавши їх, можна визначити кількість спожитої електричної енергії піччю за певний проміжок часу:

$$W_f(\Delta\tau) = \sum Q_{e(R,\phi,z)}, \quad (2)$$

де $W_f(\Delta\tau)$ – кількість споживаної електричної енергії піччю за проміжок часу $\Delta\tau$, кВт·год; $Q_{e(R,\phi,z)}$ – кількість енергії що виділилась в одному елементарному об'ємі.

Після цього розраховується температурне поле ванни внаслідок чого можна визначити кількість утвореного розплаву та шлаку. Далі алгоритм працює циклічно, що дає можливість на кожному кроці розрахунків отримувати оперативну інформацію про обсяги спожитої електричної енергії та кількість утвореного розплаву.

Висновки. Використовуючи розроблену комплексну модель роботи руднотермічної печі стає можливим за заданими вхідними параметрами спрогнозувати кількість спожитої електричної енергії для кожної плавки, визначити кількість утвореного розплаву та шлаку. А це, в свою чергу, дає можливість розрахувати питомі витрати електроенергії на тону готової продукції. Також модель дозволяє за спрогнозованою кількістю утвореного розплаву зупинити плавку та почати злив феросплавів, що в свою чергу може зменшити час плавки та кількість споживаної електричної енергії.

Література

1. Качан Ю.Г. Алгоритм розрахунку температурного поля ванни руднотермічної печі /Ю.Г. Качан, Ю.Б. Ліуш, В.Ю. Міщенко // Вісник ХНУ. – 2018. – № 3 (261). – С. 19-22.
2. Kachan Yu. H. Determination of distribution of introduced energy by volume of ore-thermal furnace. / Yu.H. Kachan, V.Yu. Mishchenko// Naukovyi Visnyk NHU. – 2019. – № 3. – 138-145
3. Mishchenko V.Yu. Definition ways of the current spreading process in the internal volume of the ore-thermal furnace./ V.Yu. Mishchenko, Yu.H. Kachan// Electrical Engineering And Power Engineering. – №2. – 2019. – 51-57.

POSSIBILITIES OF REDUCING THE VOLUME OF ORE THERMAL FURNACES ELECTRIC CONSUMPTION

Mishchenko Vladyslav, Kachan Yuriy

Abstract. An analysis of existing models of electric current distribution in an ore thermal furnace is presented. A complex algorithmic model of operation of such a furnace is proposed. With the help of this mathematical description it becomes possible to predict the consumption of electrical energy in obtaining different types of ferroalloys. The model also allows the predicted amount of melt formed to stop the process and start draining ferroalloys, which in turn will reduce the melting time and the amount of electricity consumed.

Keywords: ore-thermal furnace, electric power, complex model, charge electrical resistance, elementary volume.

References

1. Kachan Yu.H. Algorithm for calculating the temperature field of the bath of the ore thermal furnace /Yu.H. Kachan, Yu.B. Liush, V.Yu. Mishchenko // Bulletin of KhNU. - 2018. - № 3 (261). - P. 19-22.
2. Kachan Yu. H. Determination of distribution of introduced energy by volume of ore-thermal furnace. / Yu.H. Kachan, V.Yu. Mishchenko// Naukovyi Visnyk NHU. – 2019. – № 3. – 138-145.
3. Mishchenko V.Yu. Definition ways of the current spreading process in the internal volume of the ore-thermal furnace./ V.Yu. Mishchenko, Yu.H. Kachan// Electrical Engineering And Power Engineering. – №2. – 2019. – 51-57.

THEORETICAL INVESTIGATION OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF A DOWNHOLE EJECTION SYSTEM

Panevnyk Denis

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

Abstract. To analyze the peculiarities of the local swirling of injected flow, there are studied design and technological parameters in the form of the inclination angle of guiding elements and the flow rates of the swirling flow. Based on the application of the conservation law of fluid momentum in adjacent jets with a parabolic pressure distribution, there are obtained equations to determine the pressure characteristic of a jet pump, taking into account the additional dynamic pressure made by swirling the injected flow. In the process of analyzing the obtained relations, there has been set the dependence of the relative pressure growth and the efficiency of the ejection system under the conditions of injected flow swirling on the relative flow rate of a jet pump and an inversely proportional dependence of the above parameters on its main geometric parameter in the form of the ratio of cross-sectional areas of the mixing chamber and the nozzle.

Keywords: jet pump, ejection system, swirling the flow.

The first oil downhole jet pump was used in 1875. The jet pump was steam driven and required a significant borehole diameter, with the result that it did not find wide commercial use in the oil industry. In 1933, the University of California published the theoretical foundations for the use of jet pumps. In the 50s of the last century, computational algorithms were developed to select the design and operating parameters of borehole jet pumps, and in 2005 the ejection system was first placed under water to operate a well the mouth of which was on the seabed [1]. The above-bit ejection system began to be used simultaneously with oil jet pumps. The use of above-bit ejection systems made it possible to intensify bottomhole flushing [2] and reduce the pressure in the well during the initial opening of the productive horizon [3]. Further spread of borehole jet pumps is limited by their low energy efficiency: the efficiency of an ejection system, as a rule,

does not exceed 35% [4]. The need to improve the energy efficiency of borehole jet pumps is of particular relevance in the implementation of long-term technological operations and, in particular, in the operation of oil wells. One of the ways to optimize the characteristics of ejection systems is to swirl mixed flows in the flow path of jet devices [5], [6]. Despite a simple design, mechanism of mixing swirling flows is insufficiently studied today.

The purpose of the research, the results of which are presented in this article, is to simulate the characteristics of a jet vortex pump.

The construction of a hydraulic model of the ejection system operation process is based on the use of the equation for conservation of the fluid momentum in the characteristic sections of the flow path of the jet pump [7]. The force created by injected flow swirling in the inlet section of the mixing chamber is determined by integrating the unit forces acting on the elementary section area. The flow rates in the characteristic sections of the jet pump are determined taking into account the specific density of the operating, injected and mixed flows. The relationship between the hydrodynamic parameters of the mixing chamber and characteristic cross-sections of a jet pump is carried out using the Bernoulli equation.

Taking into account the latter dependences, head characteristics of the jet pump under conditions of injected flow swirling have the following form

$$h = \frac{\varphi_1^2}{K_p} \times \left[2\varphi_2 + \left(2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2} \right) \frac{i^2}{K_p - 1} - (2 - \varphi_3^2) \frac{(1+i)^2}{K_p} \right] + \frac{2\varphi_1^2 i^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_s (1+K_p^{-1})}{(1+K_p^{0.5})^2 (K_p - 1)}, \quad (1)$$

where $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – the velocity factor for the nozzle, inlet section of the mixing chamber; mixing chamber outlet and a suction port;

K_p – the basic geometric parameter of the jet pump;

i – the injection coefficient;

α_s – the inclination angle of guiding elements for swirling the injected flow.

The efficiency of using the guiding elements in the flow path of the jet pump can be determined by comparing the value of the relative head obtained for the direct and swirling flows

$$\Delta h = \frac{h - h_s}{h} \times 100\%, \quad (2)$$

where h, h_s – the relative head for swirling and direct injected flows.

The dependencies are made using equations (1), (2) and have an upward character (Figure 1).

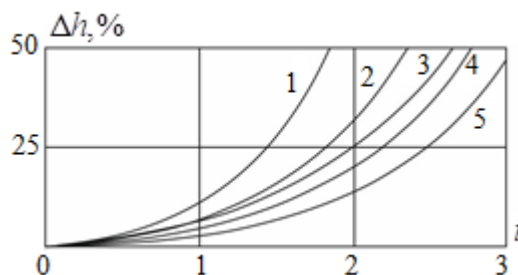


Figure 1 – Dependence of the pressure growth on the injection coefficient of the jet pump for different values of the main geometric parameter:
1 – $K_p=4.0$; 2 – $K_p=5.0$; 3 – $K_p=6.0$; 4 – $K_p=7.0$; 5 – $K_p=8.0$

The proposed and theoretically substantiated mechanism of local circulation of mixed flows is based on the use of the law of momentum conservation of fluid in adjacent jets with parabolic pressure distribution. The obtained equations make it possible to additionally take into account the presence of guiding elements in the flow path of the jet pump for swirling the flow and to establish the features of the operating process of vortex ejection systems:

- additional pressure, caused by the rotation of the fluid, is determined by the value of rotating and axial velocities of swirling flows;
- in the case of zero values of the injected flow rate and the value of the injection coefficient, there is no additional dynamic pressure caused by the rotation of the operating medium;
- an increase in the relative pressure and efficiency caused by swirling of the mixed flows, in direct proportion to the flow rate of the injected flow and the value of the injection coefficient of the jet pump;
- an increase in the main geometric parameter of the jet pump reduces the efficiency of swirling the mixed flows.

References

1. Khelifa C.B., Fraser K., Pugh T. Subsea hydraulic jet pump optimizes well development offshore Tunisia. World Oil, 2015. Vol. 11.5 p.
<http://www.worldoil.com/magazine/2015/november-2015/special-focus/subseahydraulic-jet-pump-optimizes-well-development-offshore-tunisia>.

2. Velychkovych A.S., Panevnyk D.O. Study of the stress state of the downhole jet pump housing. Scientific bulletin of National Mining University. 2017. No 5. P. 50-55. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvngu_2017_5_10.
3. Kryzhanivskiy E.I., Panevnyk D.A. Improving use efficiency above-bit jet pumps. Socar proceeding. 2020. No 2. P. 112-118. <http://www.DOI:10.5510/OGP20200200437>.
4. Sheha A.A.A., Nasr M., Hosien M.A., Wahba E.M. Computational and experimental study on the water-jet pump performance. Journal of Applied Fluid Mechanics. 2018. Vol. 11. No 4. P. 1013–1020. <https://doi.org/10.29252/jafm.11.04.28407>.
5. Wittrisch C., Trapy J. Hydraulic jet pumps. Modeling and improvements. Offshore Mediterranean Conference and Exhibition, 26th March to 28 March, 2003, Ravenna, Italy. OMC-2003-099, 9 p. ISBN: 9788894043662.
6. Panevnyk D.A. Simulation of a downhole jet-vortex pump's working process. Nafta-Gaz. 2021. No. 9. P. 579–586. [http://www. DOI: 10.18668/NG.2021.09.02](http://www.DOI:10.18668/NG.2021.09.02).
7. Sokolov E.Ya., Zinger N.M. Inkjet devices. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 352 p. (In Russian).

ОЦІНКА РЕАЛІЗОВАНОСТІ АЛГОРИТМУ ЗА ЙОГО СТРУКТУРНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Поліський Ю.Д.

Науково-дослідний інститут автоматизації чорної металургії, м.Дніпро

Постановка задачі. При складанні алгоритму можлива поява у його схемі контурів різної довжини. Відповідно до вимог технології роботи об'єкта в одних випадках ці контури можуть бути необхідні, в інших випадках – небажані. Аналіз різних співвідношень структурних елементів, тобто ланцюгів та контурів, алгоритму дозволяє отримати оцінки його реалізованості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У ряді робіт запропоновані різні за складністю методи вирішення задачі оцінювання реалізованості проектів. Публікацій щодо оцінювання реалізованості алгоритму за його структурними елементами автор не зустрів.

Формулювання мети дослідження. Метою дослідження є оцінка реалізованості алгоритму за його структурними елементами.

Виклад основного матеріалу. Нехай схема алгоритму задана орієнтованим графом $D=(V, X)$ – рис.1, де $V = \{v_1 = 1, v_2 = 2, v_3 = 3, v_4 = 4, v_5 = 5\}$ – вершини графа. $X = \{x_1 = a, x_2 = b, x_3 = c, x_4 = d, x_5 = e, x_6 = f, x_7 = g\}$ – дуги графа.

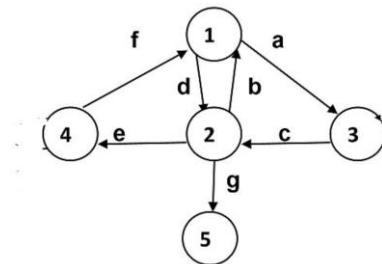


Рисунок 1 – Граф алгоритму

Робота аналізованого алгоритму полягає у переході від початкової вершини 1 до кінцевої вершини 5.

На підставі структурного аналізу схеми алгоритму отримано: елементарний контур другого порядку $K_{21} = db$ з довжиною дуги, що дорівнює 2; два елементарні контури третього порядку $K_{31} = acb$ і $K_{32} = def$ з довжиною дуги, що дорівнює 3; елементарний контур четвертого порядку $K_{41} = acef$ з довжиною дуги, що дорівнює 4; елементарний ланцюг $C_1 = dg$ довжиною 2 від вершини 1 до вершини 5 та елементарний ланцюг $a_{15} = acg$ довжиною 3 від

вершини 1 до вершини 5.

У ряді випадків робота об'єкта потребує наявності контурів у схемі алгоритму. Нехай за умов завдання потрібно виключити контур $K_{21} = db$ при збереженні контурів $K_{31} = acb$, $K_{32} = def$ і $K_{41} = acef$. Цю вимогу можна висловити системою рівнянь

$$\begin{cases} acb = 1, \\ def = 1, \\ acef = 1, \\ db = 0. \end{cases}$$

З першого та другого рівнянь випливає $b = 1$ і $d = 1$. Проте за четвертим рівнянням $bd = 0$. Отже, система рівнянь не сумісна, і за таких умов завдання алгоритм не може бути реалізований.

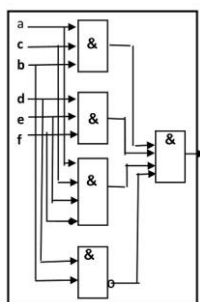


Рисунок 2 – Моделюючий автомат 1

Отриманий висновок може бути промодельовано на логічному автоматі – рис.2.

Нехай за умов завдання потрібно виключити всі контури. Цю вимогу можна висловити системою рівнянь

$$\begin{cases} dg = 1, \\ acg = 1, \\ db = 0, \\ acb = 0, \\ def = 0, \\ acef = 0. \end{cases}$$

З першого рівняння $d = 1$. Підстановка у друге рівняння дає $b = 0$. Підстановка $d = 1$ у п'яте рівняння дає $ef = 0$. Отже, система сумісна, і за таких умов завдання алгоритм реалізується.

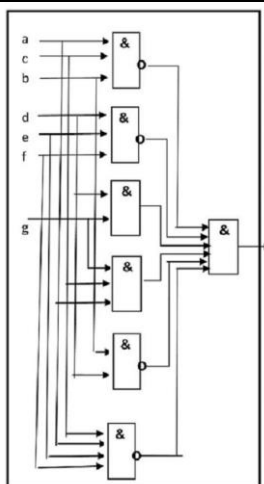


Рисунок 3 – Моделюючий автомат 2

Отриманий висновок може бути промодельовано на логічному автоматі – рис. 3.

Продовживши подібний аналіз різних співвідношень структурних елементів алгоритму, отримаємо оцінки його реалізованості.

Висновки. Розглянутий підхід вирішення задачі оцінювання реалізованості алгоритму за його структурними елементами. Показано, що запропонований підхід забезпечує отримання шуканого результату.

EVALUATION OF THE ALGORITHM IMPLEMENTATION ON ITS STRUCTURAL ELEMENTS

Polis'kyu Yuryu

Abstract. When compiling the algorithm, the appearance of circuits and chains of different lengths in its scheme is possible. In a number of works methods of the decision of a problem of an estimation of realization of projects are offered. The author did not meet any publications on estimating the feasibility of the algorithm according to its structural elements. The aim of the study is to assess the feasibility of the algorithm for its structural elements. The research methodology is based on the analysis of different variants of the relationship between the structural elements, on the basis of which a conclusion is made about the possibility or impossibility of the algorithm. The result of the work is the completed theoretical substantiation of the proposed approach to the effective solution of the problem of estimating the feasibility of the algorithm by its structural elements. This approach provides the desired result.

Keywords: algorithm, graph, contour, circuit, modeling machine.

КЛАСИФІКАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Пошивалов В.П., Данієв Ю.Ф.

Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України

Математична модель надійності системи встановлює зв'язок між окремими показниками надійності системи, характеристиками надійності окремих елементів та параметрами її процесу функціонування.

У моделі надійності системи повинні бути відображені тільки ті властивості або характеристики елементів і ті їх взаємні зв'язки в системі, які є суттєвими з позиції надійності системи в цілому.

Використовуючи класифікаційний підхід, моделі надійності складної системи можна поділити на:

– моделі стосовно до поступових та раптових відмов для невідновлюваних та відновлюваних систем одноразового та багаторазового використання;

– моделі надійності елементів за ступенем деталізації обліку факторів, такі як моделі типу "навантаження-міцність", де як навантаження розглядаються механічні, теплові, електричні, радіаційні та інші впливи;

– моделі за принципами побудови (аналітичні, статистичні та комбіновані).

В даний час розглянуті математичні моделі широко використовуються при проектуванні складних технічних систем, таких як ракетно-космічні комплекси, системи технологічного обладнання для атомної, металургійної та хімічної промисловості, енергетики тощо.

Так як складні технічні системи мають велику кількість функціональних елементів, то проведення розрахунку всіх елементів на надійність є досить трудомістким процесом і методики для проведення відповідних розрахунків досить складні.

Тому доцільно, щоб у кожного спеціаліста з експлуатації виробу була б у розпорядженні обчислювальна система для вирішення конкретних практичних завдань.

Така система для аналізу надійності повинна містити алгоритм вирішення наступних задач:

– розрахунок ймовірності безвідмовної роботи та середнього квадратичного відхилення систем з постійним резервуванням з цілою та дробовою кратністю (при рівнонадійних та нерівнонадійних елементах);

– аналіз надійності при резервуванні заміщенням з цілою кратністю та ненавантаженим резервом;

– розрахунок значень ймовірності безвідмовної роботи складових частин при виконанні технологічних операцій;

– розрахунок значень показників надійності складової частини загалом та порівняння отриманих значень показників надійності з вимогами технічного завдання.

FRACTAL HEAT AND MASS TRANSFER FOR SIMULATION OF PROCESSES IN THE TWO-PHASE ZONE OF METAL SOLIDIFICATION

Selivorstova Tetiana, Selivorstov Vadim

Abstract. The work is devoted to the development of the fundamental foundations of mathematical modeling of non-local processes of heat and mass transfer in media with a fractal structure - in complex systems modeled by fractals, the study of initial and mixed boundary value problems for the main types of local and non-local differential equations of state and transfer.

Keywords: modeling, heat transfer, mass transfer, solidification, metal, alloy, two-phase zone, fractal.

The need to develop new mathematical methods and highly efficient computational algorithms was demanded by the problems of modeling non-local processes and phenomena of a fractal nature and, first of all, the processes of heat and mass transfer in media with a fractal organization and memory, anomalous transfer of particles with a finite speed of free motion. These problems lead to fundamentally new initial, boundary and mixed problems for fractal differential equations and equations of mixed type of the first and second kind.

In particular, loaded differential equations containing fractional partial derivatives serve as an adequate apparatus for the analytical description of anomalous diffusion found in a wide variety of physical processes, and in the absence of diffusion through the fractal boundary of two media, where the effective diffusion coefficient of ideal molecules vanishes, the role such a mathematical apparatus can be played by an equation of a parabolic type with a sign-changing characteristic form.

References

1. Simpson, R., Jaques, A., Nuñez, H., Ramirez, C., & Almonacid, A. (2013). Fractional calculus as a mathematical tool to improve the modeling of mass transfer phenomena in food processing. *Food Engineering Reviews*, 5(1), 45-55. doi:10.1007/s12393-012-9059-7
- Zhao, J., Zheng, L., Zhang, X., & Liu, F. (2016). Convection heat and mass transfer of fractional MHD maxwell fluid in a porous medium with soret and dufour effects.

International Journal of Heat and Mass Transfer, 103, 203-210.

doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.07.057

2. Ahmad, M., Asjad, M. I., & Singh, J. (2021). Application of novel fractional derivative to heat and mass transfer analysis for the slippage flow of viscous fluid with single-wall carbon nanotube subject to newtonian heating. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, doi:10.1002/mma.7332

3. Magin, R. L. (2010). Fractional calculus models of complex dynamics in biological tissues. *Computers and Mathematics with Applications*, 59(5), 1586-1593. doi:10.1016/j.camwa.2009.08.039

4. Kang, J., Zhang, D., Zhou, F., Li, H., & Xia, T. (2019). Numerical modeling and experimental validation of fractional heat transfer induced by gas adsorption in heterogeneous coal matrix. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 128, 492-503. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.08.087

5. Simpson, R., Jaques, A., Nuñez, H., Ramirez, C., & Almonacid, A. (2013). Fractional calculus as a mathematical tool to improve the modeling of mass transfer phenomena in food processing. *Food Engineering Reviews*, 5(1), 45-55. doi:10.1007/s12393-012-9059-7

Zhao, J., Zheng, L., Zhang, X., & Liu, F. (2016). Convection heat and mass transfer of fractional MHD maxwell fluid in a porous medium with sores and dufour effects. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 103, 203-210. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.07.057

6. Ahmad, M., Asjad, M. I., & Singh, J. (2021). Application of novel fractional derivative to heat and mass transfer analysis for the slippage flow of viscous fluid with single-wall carbon nanotube subject to newtonian heating. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, doi:10.1002/mma.7332

7. Magin, R. L. (2010). Fractional calculus models of complex dynamics in biological tissues. *Computers and Mathematics with Applications*, 59(5), 1586-1593. doi:10.1016/j.camwa.2009.08.039

8. Kang, J., Zhang, D., Zhou, F., Li, H., & Xia, T. (2019). Numerical modeling and experimental validation of fractional heat transfer induced by gas adsorption in heterogeneous coal matrix. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 128, 492-503. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.08.087

**МОДЕЛЬНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ І ТЕПЛОФІЗИЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПЛЕКСНОГО ФЕРОЦИРКОНІЮ**

Снігура І.Р., Петров О.П., Гловко Л.А., Ходотова Н.Є., Кукса О.В.

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

Анотація. Обґрунтовано необхідність розробки нових комплексних феросплавів, зокрема феросилікоцирконію, як важливої складової у процесах розкислення металургійних розплавів і легуванні з метою одержання якісного металу. Зроблено акцент на важливості розвитку розрахункових методів визначення першочергових властивостей феросплавів, що забезпечать одержання металургам-промисловцям адекватних даних для подальшого прийняття оперативних рішень при виплавці конкурентоздатної та якісної сталі і їх впровадження в автоматизовані системи управління технологічними процесами на сталеплавильних заводах України. На основі концепції спрямованого хімічного зв'язку отримано аналітичні залежності, що дозволяють прогнозувати фізико-хімічні та теплофізичні властивості феросилікоцирконію стандартних марок з достатньою точністю для промислового використання.

Ключові слова: концепція спрямованого хімічного зв'язку, феросплави, властивості, модельні параметри, критерії, аналітичні залежності.

Феросплавне виробництво зазнало суттєвих змін за останні роки, що спричинено пришвидшенням темпів розвитку металургійної галузі, як найбільшого її споживача з метою задоволення невпинно зростаючих потреб металоспоживачів та виснаженням мінерально-сировинних запасів країни. Пошук шляхів підвищення фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей сталей і сплавів спеціального призначення ініціює розширення номенклатури феросплавів. Одним із варіантів вирішення вказаної задачі є розробка, дослідження можливості створення комплексних феросплавів та освоєння технологій їх виробництва з залученням у якості основи сплаву – хімічний склад вітчизняних феросплавів.

Введення у феросплав стандартного складу додаткового елемента та

перехід на комплексні феросплави спрощує процеси легування та доведення сталі у металургійних агрегатах, оскільки не потрібно вводити цей легувальний чи рафінувальний компонент окремо, що зменшує витрату дороговартісної сировини, час обробки і раціоналізує ефективність використання добавок. У випадку вибору елемента, що сприятиме розробці комплексних сплавів у першу чергу слід відштовхуватись від його природних запасів, так по запасам цирконієвих пісків Україна посідає одне з провідних місць у світі та перше місце у Європі. Цирконій володіє рядом важливих властивостей для виробництва спеціальних сталей та сплавів, а саме уваги заслуговує його розкислююча здатність, яка перевищує навіть алюміній. Однак його значна вартість обмежує широке використання у чорній металургії [1].

Незважаючи на наявні відомості, дані про властивості більшості мікролегуючих феросплавів залишаються ще мало вивченими. Існуючі експериментальні методи їх визначення досить трудомісткі і обмежені технічними можливостями використовуваного обладнання та, головне, через хімічну та структурну неоднорідність аналізованих добавок, не завжди дозволяють отримувати адекватні результати. Тому особливий науковий та практичний інтерес представляють розрахункові методи визначення їх фізико-хімічних та теплофізичних властивостей, що дозволяють прогнозувати склади з оптимальними характеристиками. У цій роботі авторами розглянута можливість використання раніше розроблених критеріїв та методики для прогнозування фізико-хімічних та теплофізичних властивостей сплавів з рідкісними металами, яка заснована на описі будови та властивостей бінарних розплавів та твердих розчинів [2]. Хімічний склад досліджуваних феросплавів та розраховані параметри міжатомної взаємодії по методиці Приходько Е.В. наведені у табл.1.

У результаті проведеного кореляційно-регресійного аналізу властивостей фероцирконію (температура початку та кінця плавлення, густина, теплопровідність, теплоємність, теплова плавлення) та параметрів міжатомної взаємодії встановлено найбільш значимі з точки зору їх інформативності, що дозволило їх структурувати у моделі наступної комплектації ($r \geq 0,94$): $D, T_{\text{поч. пл.}}, T_{\text{кін. пл.}}, \lambda, C, Q = f(Z^y, \Delta Z^y, \Delta d, d)$.

Таблиця 1 – Хімічний склад та розраховані

модельні параметри феросилікоцирконію

№	Марка Феросплаву	Хімічний склад, % вес.					Модельні параметри				
		Zr	C	Al	S	P	Zr:Si	Z ^y	d	ΔZ ^y	Δd
1	ФСЦр50	45,0	0,2	9,0	0,02	0,14	0,55	1,8604	2,6834	0,7707	-0,0723
2	ФСЦр40	38,0	0,2	7,5	0,02	0,15	1,1	1,7108	2,5284	0,6197	-0,0166
3	ФСЦр35	38,0	0,2	6,0	0,02	0,15	1,3	1,6815	2,4943	0,5832	+0,0026
4	ФСЦр30	38,0	0,4	6,0	0,04	0,20	1,5	1,7269	2,4816	0,6354	-0,0121
5	ФСЦр20	38,0	0,5	5,0	0,04	0,25	1,7	1,7842	2,4967	0,6912	-0,0302

Наявні в науковій літературі експериментальні значення властивостей деяких розглянутих феросплавів ФСЦр40, ФСЦр50 [3] перебувають усередині інтервалу їх розрахункових значень по запропонованим моделям. Таким чином, розроблені аналітичні залежності на основі інтегральних параметрів міжатомної взаємодії дозволяють прогнозувати вплив зміни складу на властивості стандартних марок феросилікоцирконію. Їх можна рекомендувати для оцінки властивостей конкретних сплавів щодо ефективності їх застосування на основних етапах сталеплавильного переділу.

Література

1. Низюта Л.Ю. Особенности применения циркония в качестве микролегирующего элемента при выплавке качественных сталей. / Л.Ю. Низюта, А.А. Зраенко // Университетская наука – 2017: Междунар. Научно-тех. конф.: тез. докл.: в 3 т. Т.1. - Мариуполь: ПГТУ, 2017. – 318 с.
2. Влияние параметров направленного межатомного взаимодействия на термодинамические свойства металлических расплавов / Э.В. Приходько, А.Ф. Петров // «Процессы литья». – 1995. – №1. – С. 64–74.
3. Игнатъев В.С. Изучение свойств ферросплавов и лигатур для микролегирования и раскисления стали / В.С. Игнатъев, В.А. Вихлевщук, В.М. Черногорецкий [и др.] // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. - 1988. - № 6. - С. 37-42.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.031

КРИТЕРІЇ ТА МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ У СИСТЕМІ «МЕТАЛ-ШЛАК» ПРИ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛІ

Снігура І.Р., Тогобицька Д.М., Степаненко Д.О.

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

Металургійна галузь є однією з основних складових фундаменту економіки країни та вимушена йти в ногу з сучасними міжнародними тенденціями розвитку, а саме раціональним використанням сировинних, енергетичних запасів, максимальним залученням потенціалу добавок і їх ступеня засвоєння при виготовленні якісного металу, розробкою альтернативних технологічних та безвідходних схем виробництва. Зазначені сфери є безумовно актуальними для освоєння, оскільки вирішують не лише нагальні питання металургійної промисловості, що цілеспрямовані на задоволення зростаючих потреб металоспоживачів і утримання лідируючих конкурентоздатних позицій на світовому ринку, але й відкривають надію на шляхи розв'язання масштабних екологічних питань. Поглиблення знань стосовно економного використання дорогих лігатур та фізико-хімічних особливостей їх взаємодії в системі «метал-шлак-добавка», розподілу і засвоєння металевим розплавом, розробка нових складів комплексних феросплавів з використанням вітчизняної сировинної бази забезпечать спрямоване формування якісно нових властивостей готової сталі. Значний вклад у формування наукового доробку та промислового освоєння інноваційних технологічних рішень з виробництва та доведення сталі на вітчизняних заводах та підприємствах ближнього зарубіжжя склали напрацювання Гасика М.І., Віхлевщука В.А., Нікітіна М.С., Жучкова В.І., Лякішева М.П. та інших.

Фактори, такі як момент присадки добавки, агрегатний стан, форма, спосіб введення, механізм розплавлення чи її розчинення, конкретний сировинно-шихтовий та технічний потенціал виробництва, лімітують формування єдиного науково-обґрунтованого підходу для прогнозування коефіцієнтів розподілу та оцінки ступеню засвоєння й ефективності

використання добавок. Багатокритеріальність міжфазних взаємодій у системі «метал-шлак» можна спростити із застосуванням методів «згортки» хімічного складу, апарату факторного аналізу та генерації моделей оптимальної структури з залученням комплексних співвідношень властивостей розплавів [1]. Значні досягнення в області моделювання металургійних процесів на рівні міжатомної взаємодії реалізовані в концепції спрямованого хімічного зв'язку, розробленої Приходько Е.В. в Інституті чорної металургії ім. З.І. Некрасова [2].

Головна ідеологія концепції спрямованого хімічного зв'язку, що робить її унікальним інформаційно-алгоритмічним апаратом оформленим у програмні комплекси «Метал» та «Шлак», заключається у розгляді металургійних розплавів, як хімічно єдиних систем, а не просто механічної суміші складових та вираженню їх зв'язків в інтегральних параметрах міжатомної взаємодії: Z^y – параметр зарядового стану системи, e ; d – середньостатистична між'ядерна відстань, 10^{-1} нм; tga – константа для кожного елемента, яка характеризує градієнт зміни радіусу іона при зміні його заряду; ρ_1 – спрямована зарядова щільність, е/нм. У якості вихідних даних при моделюванні нами використано створені в ІЧМ НАНУ - репрезентативні бази даних «Банка даних «Металургія» (БДМет) – «Метал», «Шлак», «Феросплави» [4], які знаходяться в стадії постійної експлуатації і активного поповнення сучасними промисловими та літературними даними. Ґрунтуючись на достовірних даних та вказаних напрацюваннях раніше розроблені оперативні прогнозні моделі для визначення температур плавлення та кристалізації, в'язкості та щільності залізовуглецевих та хромонікелевих сталей широкого сортаментного ряду, алюмінієвих, магнієвих, жароміцних нікелевих сплавів з високими показниками детермінованості на рівні $R^2 \geq 0,97$ і пройшли експертну оцінку їх працездатності [4].

Найбільш затребуваними при позапічній обробці сталей на установці «ківш-піч» в умовах вітчизняного виробництва є добавки феросиліцію, феромарганцю та феросилікомарганцю, саме тому обрані як наступні об'єкти дослідження при взаємодії в системі «метал-шлак». Аналіз взаємозв'язків першочергових властивостей феросплавів серед яких - температура плавлення, щільність, окислюваність, теплопровідність, теплоємність, теплота плавлення,

коефіцієнт температуропровідності та інші з параметрами міжатомної взаємодії дозволив встановити їх інформативну навантаженість та сформувати структуру прогнозних моделей. Враховуючи основні положення концепції спрямованого хімічного зв'язку та встановлені залежності між параметрами міжатомної взаємодії з властивостями розплавів феросиліцію отримані аналітичні вирази, які мають вид: $T_{пл} = f(Z^Y, \rho_l) R^2 = 0,6488$; $D = f(Z^Y) R^2 = 0,9607$; $C_{ТВ} = f(d) R^2 = 0,7696$; $\lambda = f(\rho_l) R^2 = 0,9843$; $Q = f(\rho_l) R^2 = 0,9537$; $\rho = f(\rho_l) R^2 = 0,9666$; $\sigma = f(\text{tg}\alpha) R^2 = 0,9817$. Сформований блок одержаних закономірностей для прогнозування фізико-хімічних, теплофізичних властивостей розплавів сталей, сплавів та феросплавів, покладено в основу алгоритму прогнозування закономірностей розподілу елементів при доведенні сталі на УВП.

У якості оцінки ефективності процесів доводки сталі запропоновано показники розподілу елементів в системі «метал-шлак» Лел, які є результатом реалізації нерозривного ланцюгового зв'язку «Склад – Технологія – Структура – Властивості». В результаті проведеного аналізу отримано адекватні моделі для обчислення коефіцієнтів розподілу Si та Mn в залежності від інтегральних параметрів початкового хімічного складу сталі, шлаку та параметрів технології, які мають вигляд: $L_{Si} = f(Z^{Y_{\text{поч Me}}, T_{\text{плFeMn}} / T_{\text{сталі}}, I_{\text{прод}})$; $L_{Mn} = f(d_{\text{поч Me}}, \text{tg}\alpha_{\text{поч Шл}}, T_{\text{плFeSi}} / T_{\text{сталі}}, T_{\text{поч Me}}, I_{\text{прод}})$. Адекватність розроблених аналітичних виразів та оцінка їх стійкості проводилась шляхом зіпівставлення отриманих розрахункових значень з фактичним кінцевим розподілом елементів (рис.1).

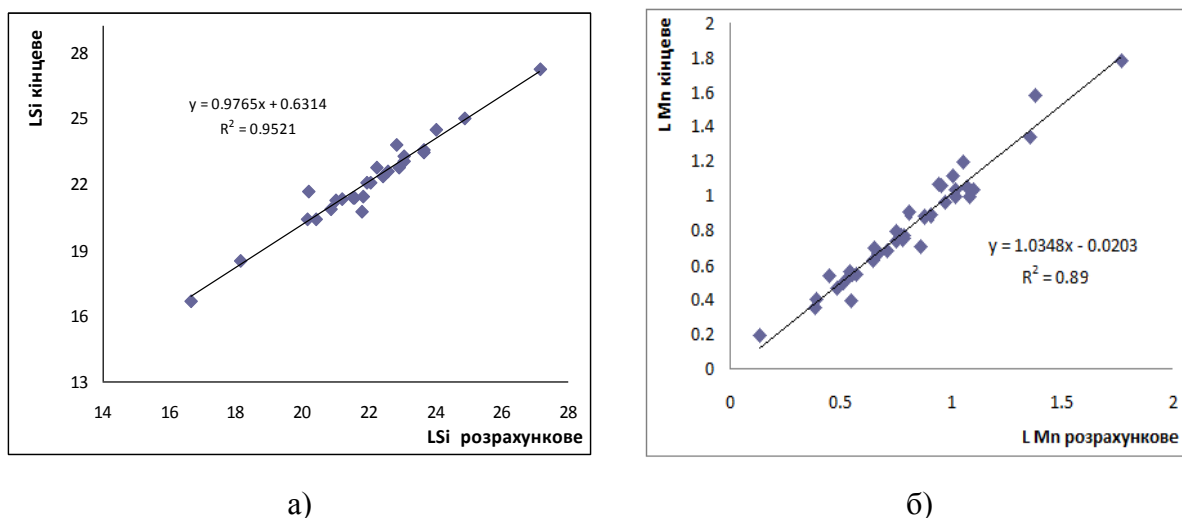


Рисунок 1 - Порівняльна оцінка точності розрахованих значень з кінцевим фактичним вмістом кремнію (а), марганцю (б) конструкційних сталей

Одержані в роботі результати по прогнозуванню коефіцієнтів розподілу елементів між кінцевими продуктами у системі «метал-шлак» на установці «ківш-піч» є підґрунтям для вироблення рекомендацій щодо вибору ефективних добавок та технологічних факторів, які забезпечать одержання сталі, що відповідатиме затребуваним металоспоживачами показникам.

Література

1. Снігура І.Р., Тогобицька Д.М., Піптюк В.П., Греков С.В., Петров О.П., Головка Л.А. Фізико-хімічні передумови для розробки комплексних співвідношень властивостей металургійних розплавів з метою прогнозування закономірностей розподілу елементів при доведенні сталі на УКП // «Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2020. – Вип. 34. – С. 150 – 158. (In Ukrainian). DOI 10/52150/2522-9117-2020-34-150-158
2. Приходько Э.В. Эффективность комплексного легирования сталей и сплавов. – К.: Наукова думка, 1995. – 292с.
3. Babachenko, O., Kononenko, N., Snigura, I., & Togobytska, N. (2021). Optimisation of chemical composition of high-strength structural steels for achieving mechanical property requirements. Paper presented at ESAFORM 2021. 24th International Conference on Material Forming, Liège, Belgique. doi: 10.25518/esaform21.3654
4. Тогобицкая Д.Н. Базы данных и модели для экспертной оценки эффективности использования ферросплавов при производстве стали / Тогобицкая Д.Н., Пиптюк В.П., Петров А.Ф., Греков С.В., Снигура И.Р., Лихачев Ю.М. Головка Л.А. // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. 2017. – № 31. – С. 150 – 165.

CRITERIA AND MODELS FOR FORECASTING THE DISTRIBUTION COEFFICIENTS OF ELEMENTS IN THE «METAL-SLAG» SYSTEM IN OUT-OF-FURNACE STEEL PROCESSING

Snihura Iryna, Tohobytska Darya, Stepanenko Dmytro

Abstract. Based on the analysis of experimental information accumulated in the Metallurgy Data Bank, models were developed to predict the properties of special purpose steels and alloys (chromium-nickel, ferroc carbon steels of wide assortment, aluminum, magnesium, heat-resistant nickel alloys) and domestic ferroalloys. The obtained high accuracy of the forecast ($R^2 \geq 0,97$) and the stability of analytical expressions was confirmed on data that were not included in the initial samples and

by comparison with calculations performed on a well-known foreign software computer complex. Based on the starting positions of the concept of directed chemical bonding and taking into account significant parameters of interatomic interaction of metallurgical melts (slags, steels, additives) in combination with factors of processing technology, we obtained analytical expressions for quantifying the distribution of elements, in particular silicon, manganese in out-of-furnace processing of bearing and structural steels. The research results are recommended for use in industrial conditions in order to scientifically substantiate the choice of alloying additives and targeted formation of the final product, which will reduce energy costs by integrating the developed models into the Automated Control System of Steelmaking Technological Processes.

Keywords: interatomic interaction parameters, criteria, predictive models, metal melts, distribution coefficients, out-of-furnace steel processing.

References

1. Snihura I.R., Togobitskaya D.N., Piptyuk V.P., Grekov S.V., Golovko L.A. Physico-chemical prerequisites for the development of complex ratios of properties of metallurgical melts in order to predict the patterns of distribution of elements in bringing steel to the UCP // "Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy". - 2020. - Vip. 34. - P. 150 - 158. (In Ukrainian). DOI 10/52150 / 2522-9117-2020-34-150-158
2. Prikhodko E.V. The effectiveness of complex alloying of steels and alloys. - K.: Naukova Dumka, 1995. - 292 p.
3. Babachenko, O., Kononenko, H., Snigura, I., & Togobytska, N. (2021). Optimisation of chemical composition of high-strength structural steels for achieving mechanical property requirements. Paper presented at ESAFORM 2021. 24th International Conference on Material Forming, Liège, Belgique. doi: 10.25518/esaform21.3654
4. Togobitskaya D.N. Databases and models for expert evaluation of the efficiency of ferroalloys in steel production / Togobitskaya 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.

ЧИСЛОВИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ

Сохацький А.В.

*Університет митної справи та фінансів, Україна
Інститут транспортних систем та технологій НАН України*

Abstract. The problem of determination of aerodynamic descriptions of aircrafts is in-process examined. Methods are examined: Direct Numerical Simulation(DNS); Large Eddy Simulation(LES); Reynolds Averaged Navier-Stokes(RANS). For the mathematical modeling of turbulent flow of the Navier-Stokes equations averaged by Reynolds are used. The problem of shorting of equalizations of Navier-Stokes is analysed. For shorting of the Navier-Stokes equations averaged by Reynolds the one-parameter model of turbulence Spalart – Allmaras. Methodology, algorithm of numeral decision of task and software, is worked out. For numeral integration of the initial system of differential equations a by certainly-volume method is used. Testing of the worked out methodology is conducted on the standard tasks of aerodynamics. A task is decided on determination of aerodynamic descriptions of aircraft of type bearing wing.

Keywords: aerodynamics of transport vehicles, numerical simulation, Navier-Stokes equations, model of turbulence.

Постановка проблеми. Аеродинамічні характеристики високошвидкісних транспортних засобів є важливими показниками їх досконалості. Вони впливають на експлуатаційні параметри та показують їх рівень енергоспоживання. Окрім цього аеродинамічні характеристики формують відповідні показники стійкості та керованості високошвидкісних транспортних засобів. При досягненні значних швидкостей аеродинаміка транспортного засобу стає одним з переважних чинників оцінки експлуатаційних характеристик та динаміки руху і отже вимагає детального вивчення. Раніше для оцінки експлуатаційних показників наземних транспортних засобів аеродинамічні характеристики транспортних засобів застосовували наближені підходи з використанням експериментальних даних для тіл простої геометричної форми. Проте стрімкий розвиток транспорту вимагає урахування аеродинамічних характеристик з використанням складних математичних

моделей фізичних процесів. Розвиток чисельних методів різного рівня складності, комп'ютерної техніки дозволив приступити до систематичного застосування моделей і методів механіки рідини і газу при аеродинамічному проектуванні високошвидкісних транспортних засобів.

Аналіз останніх досліджень. Реальні течії навколо транспортних засобів є турбулентними. Складна стохастична природа ускладнює процес їх вивчення. Моделювання таких течій є надзвичайно складним, як фізичної так і з математичної точки зору. Розрахунок характеристик турбулентних потоків і на сьогодні залишається скоріше всього мистецтвом обчислювача. Це пояснюється надзвичайною фізичною складністю турбулентності і також її стохастичною природою. Математичне моделювання турбулентних течій залишається невирішеною проблемою аеродинаміки.

На сьогодні виділяються наступні підходи моделювання турбулентних течій навколо транспортних засобів: метод прямого чисельного моделювання (Direct Numerical Simulation або DNS); метод моделювання великих вихорів (Large Eddy Simulation або LES); осереднених за Рейнольдсом рівняннях Нав'є-Стокса (Reynolds Averaged Navier-Stokes – RANS).

Їх широке застосування обмежене через крайню обчислювальну трудомісткість. Турбулентна течія носить тривимірний нестационарний характер. Має широкий спектр просторово-часових масштабів. Вважається, що широке практичне використання методів DNS та LES для розв'язування складних задач аеродинаміки може початися лише у кінці нинішнього сторіччя [1, 2]. Наприклад сумарні витрати на проведення моделювання методами DNS зростають із збільшенням числа Рейнольдса як $Re^{1/4}$. Таким чином в даний час і DNS може використовуватися лише для розрахунку течій з відносно низькими числами Рейнольдса і застосовується, головним чином, у фундаментальних дослідженнях, метою яких є отримання детальної інформації про структуру і основні закономірності турбулентності. Це ніскільки не зменшує важливості цього підходу, оскільки отримані за допомогою DNS результати, разом з експериментальними даними, складають основу для калібрування і тестування напівемпіричних моделей турбулентності. Більше того, слід ураховувати, що в майбутньому DNS може стати мабуть, домінуючим підходом для розв'язування аеродинамічних задач.

Передбачається, що DNS може отримати розповсюдження і в суміжних областях техніки, таких як хімічні технології, атомна енергетика і т. п.

Метод LES є другим по трудомісткості з існуючих підходів до моделювання в обчислювальній аеродинаміці. Метод моделювання турбулентних течій на основі моделювання великих вихорів (LES) сформувався на початку 80-х років 20-го століття [3]. Ідея цього підходу полягає в заміні "глобального" усереднювання характеристик реальної турбулентної течії за часом, на якому базується виведення рівнянь Рейнольдса, "фільтрацією" цих характеристик їх просторовим усереднюванням за областями з розмірами порядку розміру фільтру.

Система рівнянь LES за формою аналогічна системі рівнянь RANS. Проте фізичний зміст цих двох систем різний. Так, додаткові (напруження Рейнольдса, що містить) члени RANS описують вплив усіх турбулентних неоднорідностей на усереднене рішення, тоді як аналогічні члени рівнянь LES ("підсіткова" напруженість) описують вплив тільки відносно дрібних (з розмірами меншими розміру фільтру Δ) вихорів на залежне від часу розв'язування відфільтрованих рівнянь. Іншими словами, у рамках LES вихрові структури з розмірами, що перевищують розміри фільтру, розрізняються "точно" [2], а моделюються лише вихрові структури менших розмірів. Для того, щоб підкреслити це, моделі турбулентності для LES називають "підсітковими".

Зрозуміло, що якщо розміру фільтру відповідає хвильове k_Δ число k_Δ , що лежить в універсальній ("інерційній") області енергетичного спектру турбулентності, тобто, якщо $k_I < k_\Delta < k_d$, то моделюванню підлягають тільки відносно універсальні (не залежні від конкретної геометрії і межових умов) вихори [1, 2]. В результаті, роль підсіткової моделі в LES зводиться до забезпечення правильної швидкості каскадної передачі енергії турбулентності від великих до дрібних вихорів в межах інерційного інтервалу хвильових чисел або, іншими словами, - правильній швидкості дисипації найменших з "розрізнявальних" вихорів.

Саме у цьому полягає принципова перевага LES перед RANS підходом, у рамках якого потрібне моделювання усіх, у тому числі великих вихорів, що є енергомісткими і не підлягають певним універсальним законам. З практичної точки зору ця перевага означає істотне зниження вимог до підсіткових

моделей для LES в порівнянні з моделями турбулентності для замикання рівнянь RANS.

Досвід застосування LES переконливо свідчить про те, що він забезпечує високу точність розрахунку не лише усереднених і основних статистичних, але і пульсаційних характеристик турбулентності навіть при використанні простих підсіткових моделей, наприклад, класичної алгебраїчної моделі Смагоринського [2].

Мета дослідження. Реальні течії навколо транспортних засобів є турбулентними. Математична модель для розрахунку аеродинамічних характеристик повинна враховувати цілий ряд особливостей фізичних процесів. Метою роботи є перевірка придатності вибраної моделі, розробленого числового методу та програмного забезпечення для розв'язування поставленої задачі.

Математична модель та методика розв'язування задачі. Для розв'язування задачі з визначення аеродинамічних характеристик транспортного апарату обрано модель течії в'язкого стисливого газу, що описується осередненими за Рейнольдсом рівняннями Нав'є-Стокса. Розрахункова область навколо транспортного апарата є складною, тому необхідно використовувати криволінійну систему координат. Система рівнянь Нав'є-Стокса в формі Рейнольдса для довільної криволінійної системи координат запишеться.

$$\frac{\partial \hat{Q}}{\partial t} + \frac{\partial(\hat{E} - \hat{E}_v)}{\partial \xi} + \frac{\partial(\hat{F} - \hat{F}_v)}{\partial \eta} + \frac{\partial(\hat{G} - \hat{G}_v)}{\partial \zeta} = \hat{H}, \quad (1)$$

де \hat{Q} – вектор невідомих змінних; $\hat{E}, \hat{F}, \hat{G}$ – вектори нев'язких потоків; $\hat{E}_v = \xi_x E_v + \xi_y F_v + \xi_z G_v$, $\hat{F}_v = \eta_x E_v + \eta_y F_v + \eta_z G_v$, $\hat{G}_v = \zeta_x E_v + \zeta_y F_v + \zeta_z G_v$ – вектори в'язких потоків; $\hat{H} = 1/jH$ – вектор джерельних членів.

Для замикання системи рівнянь (1) використано модель турбулентності Спаларта – Аллмараса [3] в реалізації DES. Розрахункова область течії навколо транспортних апаратів має складну геометрію. Тому було обрано багатоблочний підхід. Розроблено відповідну методику для передачі параметрів течії між розрахунковими блоками. Для побудови скінченно-різницевого аналогу диференціальних рівнянь застосовувався метод контрольного об'єму. Проведено тестування розробленої методики на задачах

обтікання колового циліндру, профілю крила та кулі в широкому діапазоні чисел Рейнольдса. Отримані результати порівнювалися з експериментальними даними та розрахунками інших фахівців, що підтвердило придатність розробленої методики та програмного забезпечення. Виконано розрахунки аеродинамічних характеристик високошвидкісних транспортних апаратів типу Maglev, що рухаються поблизу шляхової структури та літального апарата типу літаюче крило.

Висновки. Розроблено методику, алгоритми та програмне забезпечення моделювання течії в'язкого стисливого газу з на основі розв'язування осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса. Проведені дослідження показали, що розроблена методика є працездатною і може використовуватися для оцінки аеродинамічних характеристик транспортних засобів. В подальших дослідженнях потрібно проводити пошуки з удосконалення моделей турбулентних течій.

Література

1. Волков К.Н, Емельянов В.Н. Моделирование крупных вихрей в расчетах турбулентных течений. М.: Физматлит, 2008. 368с.
2. Гарбарук А.В., Стрелец М.Х., Травин А.К., Шур М.Л. Современные подходы к моделированию турбулентности. СПб. Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 234 с.
3. Spalart P.R., Allmaras S.R. A one-equations turbulence model for aerodynamic flows. AIAA paper.1992. Vol. 0439. 21p.

References

1. Volkov K.N, Emelyanov V.N. Modelirovanie krupnyih vihrey v raschetah turbulentnyih techeniy. M.: Fizmatlit, 2008. 368s.
2. Garbaruk A. V., Strelets M.H., Travin A.K., Shur M.L. Sovremennyye podhodyi k modelirovaniyu turbulentnosti. SPb. Izd-vo Politehn. un-ta, 2016. 234 s.
3. Spalart P.R., Allmaras S.R. A one-equations turbulence model for aerodynamic flows. AIAA paper.1992. Vol. 0439. 21p.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.032

MATHEMATICAL MODELING OF TECHNICAL CONDITION OF MECHANISMS

Sushko Larissa

State Agrarian and Economic University, Ukraine, Dnipro

Abstract. The research is aimed at revealing the problems of modeling technical diagnostics of mechanisms and machines. To assess the technical condition of machines and the formation of diagnostic features, a method based on the application of the mathematical theory of pattern recognition is proposed. It is shown that technical diagnostics of machines and mechanisms can be interpreted as the recognition of classes of technical condition of the object by the set of its technical characteristics. At the same time, it is established to what class the current recognized state belongs. The conducted studies are covered against the background of the assessment of gear defects. Such studies have shown that in the early stages of defect development there is a process when synchronous components do not grow, and all the extra power from the defect is concentrated in asynchronous harmonics.

Keywords: diagnostics, mechanisms, machines, pattern recognition, technical status, defects, gear transmissions.

Introduction. Mathematical modeling of machines is carried out in order to determine the technical condition of machines and individual mechanisms, identify feasibility, conditions and terms of safe operation, taking into account the actual mode of operation, as well as the need for repairs, reconstruction or decommissioning. The organization of work on the technical diagnosis of machines includes the construction of information models of machines [1]. The information model is a database consisting of operational, design, repair, and other documentation. A dynamic model of a particular machine is built to study the operating conditions to determine the places of control and modes of operation [2 – 3].

The mathematical model of diagnosis is chosen depending on the definition and provision of goals. An algorithmic model of diagnosis, which can be complicated or simplified depending on the goals and operating conditions, is built [4]. With the

help of Petri nets, a graph of the state of the machine is formed and limited in terms of information set of diagnostic parameters for different operating conditions is determined. For diagnostic parameters, the program is used to build reference surfaces (based on information model data) that correspond to normal or optimal functioning and surfaces of the current state, which are constantly changing over time in the process of monitoring diagnostics [5].

Based on the mathematical theory of pattern recognition, the reference surface and the state surface are compared and a diagnosis, which determines the further operation of the machine, is made. The actual technical condition of the machine is assessed by the results of comparison of surfaces and predicting changes in diagnostic parameters allows to determine the period of safe operation before the appearance of signs of a sharp decrease in reliability.

The purpose of the study. Based on the review of literature sources and the results of the analysis of the current state of development of problems of technical diagnostics of mechanisms and machines propose a method of estimating the diagnostics of devices based on the theory of pattern recognition. To show that technical diagnostics of machines and mechanisms can be interpreted as the recognition of classes of technical condition of the object based on the set of its technical characteristics. The efficiency of the proposed mathematical models should be illustrated by conducting a numerical experiment and comparative analysis of the obtained estimates against the background of the study of gear defects.

Main research material statement. In relation to machine diagnostics, the recognition problem can be formulated as follows.

Let the initial set W of phenomena, situations, processes in the object is divided into classes:

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}.$$

Different technical characteristics of the object are combined into range of features:

$$U = \{u_1; u_2; \dots; u_n\}.$$

Let's make the description of each class $W_i (i = 1, \bar{m})$ in the language of features

$u_j (j=1, \bar{n})$, i.e., make the functional dependence $W_i = p_i(u_1, u_2, \dots, u_n)$. The information contained in this relationship is a priori information of the recognition system.

Suppose that as a result of experiments it is established that for the located state of the sign following values are accepted:

$$u_1 = u_1^0; u_2 = u_2^0, \dots, u_n = u_n^0.$$

It needs to be determined to which class the currently recognized state belongs. The solution of the recognition problem is based on the comparison of a posteriori information on the a priori description of classes using the recognition algorithm.

Signs of states of machines and mechanisms that are being recognized can be deterministic, probabilistic, and logical.

Recognition algorithms are based on comparing the recognized state with each class carrying one or another degree of proximity. If selected degree of proximity L of features U of a given state W with the features of any class W_* exceeds the degree of proximity to the characteristics of other classes, the decision is made on the affiliation of the state W to the class W_* , i.e., $W \in W_*$.

Information about the technical condition while the programming diagnostic studies of gears is generalized, i.e., it describes the change in structural parameters over time. This raises the problem of rapid response as a function of time to deviations of structural parameters from their standard. This can be achieved by moving from general functional descriptions of gear characteristics to operational commands as a function of time for executive bodies.

Prediction of gear performance is directly related to the detailed analysis of the operation of the teeth at the corresponding points of contact. In contrast to the engagement of non-actuated teeth, which have a constant value of the gear ratio, for the profile of the actuated teeth, the gear ratio is variable and is a function of the angle of rotation of the traction link. To describe such a profile, piecewise-spline approximations, which are modulated by introducing a state function are used.

The technical condition of any, even almost perfectly made, gear-pair can be assessed in the course of work by means of signals of sensors of speed of rotation (SSR). This statement is true for a single pair of gears, as well as for complex

gearboxes and multipliers. The advantage of this method when it's used for the analysis of the state of the gearbox is that the diagnosis is carried out "indiscriminately" in operating modes. All other methods, except vibration and analysis of the composition of impurities in the oil, require disassembly of equipment.

By changing the gear, experiments were performed for different types of defects. The magnetic measuring equipment was the same as in previous experiments. Gear module $m= 5,0$ mm, number of teeth $z = 49$. Measurements were performed in a mode close to static ($= 1$ mm, $= 2,5$ mm, $= 1$ mm, $= 2,5$ mm).

Obviously, when the tooth is broken, the information signal can be obtained by simply subtracting the reference and real signals using an amplitude discriminator. Wear of the teeth reduces the amplitude of the sensor signal in proportion to the change in the parameter δ . Change of the parameter δ from 0 to 0,2 mm corresponds to the change in signal amplitude by 1,5 – 2%. A defect in the tooth in the form of a crack or chip distorts the shape of the output signal of the sensor of the corresponding tooth with the defect. The discrepancy between the experimental data and the data obtained by theoretical calculation does not exceed 7-8%.

Conclusions. The research is aimed at revealing the problems of modeling technical diagnostics of mechanisms and machines. To assess the technical condition of machines and the formation of diagnostic features, a method based on the use of mathematical theory of pattern recognition is proposed. It is shown that technical diagnostics of machines and mechanisms can be interpreted as recognition of classes of technical condition of object on set of its technical characteristics. At the same time, it is established to what class the current recognized state belongs. The solution of the recognition problem is based on the comparison of a posteriori information on the a priori description of classes using the recognition algorithm. It is revealed that the states of recognizable machines and mechanisms can be deterministic, probabilistic, and logical. Deterministic features take specific numerical values on the set U and geometrically represent the coordinates of a point in the n -dimensional space of features Probabilistic features are random; they determine the probability of correct measurement of numerical values of deterministic features. It is shown that for classification of states of machines and

mechanisms it is more convenient to use not a reference vector, and a reference surface. For each class of machines and mechanisms, reference curves are formed - in some way approximated and averaged within the class values of diagnostic features, as well as their threshold values are formed, which correspond to the limit values of the diagnosed parameters of the technical condition.

Such studies have shown that in the early stages of defect development there is a process when synchronous components do not grow, and all the extra power from the defect is concentrated in asynchronous harmonics.

References

1. Sobolev V.S. Software for modern systems for collecting and processing measurement information. Collection of scientific papers Devices and control systems. 1998. №1. P. 55 – 63.
2. Pokojski J. Komputerowe wspomaganie decyzji wielokriterialnych u dynamice maszyn. Pr. nauk. Mech. Pwarsz. 1990. P. 108.
3. G.G. Shvachych, V.U. Hrygorenko, T.M. Kadylnykova, L.F. Sushko Computer system of comprehensive assessment of technical condition of functions of mechanics. World Science. 2019. № 9(49), Vol. 1. P. 4 – 11.
4. G.G. Shvachych, I.A. Pobochnii, O.V. Ivaschenko, L.F. Sushko Mathematical modeling of thermophysical properties of materials using inverse methods. Bulletin of Kherson National Technical University. 2019. №2(69), P. 3. C. 210 – 215.
5. Sushko L.F. Mathematical modeling of the process of recognizing the technical condition of gears. Dispatch of Kherson National Technical University. 2018. № 3(66), P. 2. P. 306 – 310.

**СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЯК ЗАСІБ ВИЗНАЧЕННЯ
МАТРИЦІ ПЕРЕДАТОЧНИХ ФУНКЦІЙ БАГАТОВИМІРНОГО ОБ'ЄКТА З
РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ І ЗАПІЗНЕННЯМ**

Федотова М. О., Скриннік І.О., Березюк І.А.,
Трушаков Д.В., Зубенко В.О., Сербул О.М.

Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна

Анотація. В даній роботі застосовано методики структурно-параметричної ідентифікації для визначення динаміки багатовимірного об'єкта з розподіленими параметрами із запізненням.

Ключові слова: киплячий шар, зерносушарка, каскади, теплоносій, спектральна щільність вхідного і вихідного сигналу, матриця передаточних функцій, запізнення, факторизація, сепарація.

Вступ. Сушіння різних дисперсних матеріалів у киплячому шарі має великі переваги в порівнянні з іншими способами сушіння, а саме: процес теплообміну між теплоносієм і зерновою масою відбувається інтенсивніше за рахунок збільшення геометричної площі дотику між агентом і матеріалом; нагрів зерна по всьому об'єму рівномірний, що дуже важливо для сушки термолабільних продуктів; можливість обробки сирого, неочищеного зерна, що, практично, може замінити один з етапів поточної лінії – сепарацію; простота і компактність конструкції надає можливість використовувати її мобільно; створюються сприятливі умови для автоматизації (контроль, регулювання, управління). Автоматизація контролю і управління процесами сушіння дисперсного матеріалу в сушарках киплячого шару відкриває широкі можливості для підвищення ефективності використання, збільшення продуктивності поточних ліній, подальшого зниження затрат праці і покращення якості обробки матеріалу.

Аналіз літературних джерел показав, що для опису динаміки багатовимірного об'єкта, до категорії яких і належать сушарки з киплячим шаром, доцільно використати методику структурно-параметричної ідентифікації [6]. А враховуючи те, що у статті [4] нами вже знайдена математична модель сигналів вхід-вихід у вигляді спектральних і взаємно спектральних щільностей, то тепер ми використовуємо цю інформацію для знаходження матриці передаточних функцій сушарки дисперсного матеріалу в киплячому шарі.

Основний матеріал. Відповідно до цієї методики, вихідними даними для розв'язання поставленої задачі є транспоновані матриці спектральних щільностей $(S_{uu}^k)'$, $(S_{xx}^k)'$ та взаємних спектральних щільностей $(S_{ux}^k)'$ сигналів «вхід-вихід» зерносушарки, сформовані для каскаду з номером k . Нижче показано поетапне застосування зазначеної методики на прикладі каскаду №7. Решта розрахованих таким чином моделей об'єкта і збурень на основі даних інших шести каскадів наведені у [1].

Вихідні дані були знайдені у [4]

Згідно технології виконаємо підстановку виразів спектральних щільностей у відповідне рівняння, в результаті чого знайдемо наступні матриці S_{uu}^{-1} , S_{ux}' та S_{xx} для сьомого каскаду

$$S_{uu}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{-1718.2642(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)}{(s+0.025)(s-0.025)(s+0.4)(s-0.4)} & 0 \\ 0 & \frac{-512.8649(s+0.006)(s-0.006)(s^2+0.096s+0.0064)(s^2-0.096s+0.0064)}{(s+0.5)(s-0.5)(s+0.0055)(s-0.0055)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$S_{ux}' = \begin{bmatrix} \frac{-0.0003(s+0.025)(s-0.025)(s+0.09)(s+0.4)(s-0.4)}{(s+0.026)(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ 0 \\ \frac{-0.00037(s+0.025)(s-0.025)(s+0.07)(s+0.4)(s-0.4)}{(s+0.009)(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.00035(s+0.5)(s-0.5)(s+0.07)(s+0.0055)(s-0.0055)}{(s+0.01)(s+0.006)(s-0.006)(s^2+0.096s+0.0064)(s^2-0.096s+0.0064)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$S_{xx} = \begin{bmatrix} \frac{-0.0009(s+0.09)(s-0.09)(s+0.4)(s-0.4)}{(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.0022(s+0.0012)(s+0.1)(s^2-0.072s+0.0081)(s^2-0.14s+0.0196)}{(s+0.0015)(s+0.03)(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.0022(s-0.0012)(s-0.1)(s^2+0.072s+0.0081)(s^2+0.14s+0.0196)}{(s+0.0015)(s+0.03)(s+0.05)(s-0.05)(s^2+0.108s+0.0081)(s^2-0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.010843}{(s-0.012)(s+0.012)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Наступним кроком є формування матриці S_{yy}' ,

$$S_{yy}' = \begin{bmatrix} -0.0058 \left| \frac{(s+0.4)(s+0.025)}{(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} \right|^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.00195 \left| \frac{(s+0.5)(s+0.055)}{(s+0.006)(s^2+0.096s+0.0064)} \right|^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Факторизація рівняння зв'язку, дозволила отримати матрицю $S_{\Delta x}$

$$S_{\Delta x} = \begin{bmatrix} \frac{0.027(s+0.1523)(s^2+0.1357s+0.0071)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)} & \frac{0.072894(s+0.026)(s^2+0.036s+0.0088)}{(s+0.012)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} \\ \frac{-0.01025(s+0.003)(s+0.096)}{(s+0.05)(s+0.03)(s^2+0.108s+0.0081)} & \frac{0.072281(s+0.09194)(s^2+0.046s+0.0041)}{(s+0.012)(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

В результаті факторизації матриці S_{yy}' була отримана матриця D

$$D = \begin{bmatrix} \frac{0.024124(s+0.025)(s+0.4)}{(s+0.05)(s^2+0.108s+0.0081)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{0.044157(s+0.5(s+0.0055))}{(s+0.006)(s^2+0.096s+0.0064)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Матриця Т має наступну структуру

$$T = \begin{bmatrix} T(1.1) & T(1.2) & T(1.3) & T(1.4) \\ T(2.1) & T(2.2) & T(2.3) & T(2.4) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

Завершальним кроком методики ідентифікації є визначення шуканої блочної матриці Ф, структура якої наступна: $\Phi = [F_{11}, F_{12}]$, де матриця передаточних функцій від вектору сигналів керування до вектору вихідних координат F_{11} дорівнює

$$F_{11} = \begin{bmatrix} \frac{0.51373e-05(s+0.09)}{(s+0.03)} & 0 \\ \frac{0.64413e-02(s-0.07)}{(s+0.01)} & \frac{0.17955(s+0.07)}{(s+0.01)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\alpha_1(\Delta)(s+w_1(\Delta))}{s+w_2(\Delta)} e^{-s\tau_{S_hh}(\Delta)} & 0 \\ \frac{\alpha_2(s-\phi)}{s+p_2} e^{-s\tau_{S_hw}} & \frac{\alpha_3(s+\phi)}{s+p_2} e^{-s\tau_{Tw}} \end{bmatrix}; \quad (8)$$

де τ_{S_hh} , τ_{S_hw} , τ_{Tw} – запізнення між сигналами «вхід-вихід»: шибер – висота матеріалу на кожному каскаді ($S_h - h$), шибер – вологість ($S_h - w$), температура – вологість ($T - w$) відповідно. В табл. 1 зведені дані по всім семи каскадам.

Таблиця 1 – Параметри елементів матриці F_{11}^k

Каскад (k)	α_1 , М/М $\times 10^{-1}$	α_2 , %/М $\times 10^2$	α_3 , %/°С	w_1 , с ⁻¹	w_2 , с ⁻¹	ϕ , с ⁻¹	p_2 , с ⁻¹	Δ , М $\times 10^{-2}$
№1	1.0389	0.64413	0.17955	0.15	0.022	0.07	0.01	15
№2	0.83932	0.64413	0.17955	0.1	0.015	0.07	0.01	30
№3	0.7166	0.64413	0.17955	0.1	0.018	0.07	0.01	45
№4	0.62788	0.64413	0.17955	0.09	0.02	0.07	0.01	60
№5	0.55393	0.64413	0.17955	0.085	0.022	0.07	0.01	75
№6	0.53007	0.64413	0.17955	0.08	0.025	0.07	0.01	90
№7	0.51373	0.64413	0.17955	0.09	0.026	0.07	0.01	105

де каскад №1 – верхній, каскад №7 – найнижчий; Δ – відстань між каскадами

Висновки. Отримані таким чином матриці передаточних функцій зерносушарки дозволяють розпочати процедуру синтезу системи автоматичного керування з урахування особливостей сушарки, а саме: багатовимірності, розподіленості та запізненості в каналах керування.

Література

1. Федотова М.О. Автоматизація процесу стабілізації висоти киплячого шару насіння у зерносушарці за неповними вимірами: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.13.07. Кропивницький, 2017. 276 с.
2. Sergey Osadchy, Valentina Zubenko, Marianna Fedotova. Synthesis of an Optimal Stochastic Stabilization System for an Unstable Multivariable Object with Time Delays in Controls. 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), October, 16-18, 2018 Kyiv, Ukraine. P. 114-118
3. Trushakov, D., Kozlovskiy, O., Rendzinyak, S., Fedotova, M., Korud, V. Automated System for Measuring the Temperature of the Desiccator Proceedings of 2020 IEEE 21st International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering, CPEE 2020, 2020, 9238716 Conference Paper.
4. Федотова М.О., Скриннік І.О., Осадич С.І., Трушаков Д.В. Ідентифікація сигналів як один з етапів синтезу системи стабілізації висоти киплячого шару в зерносушарці «Системні технології» 4 (135) 2021 «System technologies» [DOI 10.34185/1562-9945-4-135-2021-09]
5. Трушаков Д. Козловський О., Рендзіняк С., Коруд В., Федотова М Автоматизована система фільтрації завад під час вимірювання температури сушильної шафи. Електроніка та інформаційні технології. 2021. Випуск 15. С. 80–89 Electronics and information technologies. 2021. Issue 15. P. 80–89 [<http://elit.lnu.edu.ua/en/15/8.html>]
6. Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий, монография. К.: НАУ, 2006. 438 с

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.033

FEATURES OF FRACTIONAL APPLICATION DERIVATIVES FOR MODELING TEMPERATURE AND MASS TRANSFER IN NON-EQUILIBRIUM CONDITIONS

Chunikhin Artem, Selivorstova Tetiana

Abstract. A new class of problems on heat and mass transfer in fractal media, which is extremely topical for polymer structures, percolation clusters, amorphous semiconductors, porous materials, etc., is considered. The ideology of considering these problems stems from deep statistical, thermodynamic considerations and mathematically reduces to solving differential equations with fractional derivatives with respect to time and spatial variables.

Keywords: fractal environment, equations with fractional derivative, anomalous diffusion (heat conductivity), thermoelasticity, laplace transform, function mittag-leflera, qualitative and quantitative regularities.

The processes of particle and energy transfer (diffusion and thermal conductivity, respectively) that occur in porous materials, amorphous semiconductors, percolation clusters, and polymer structures are called anomalous and sometimes fractal because of their connection with fractional differential calculus [1–5]. The most natural and convenient mathematical apparatus for describing the processes of anomalous diffusion (heat conduction) on a certain set are equations in partial fractional derivatives both in space coordinates and in time [6, 7].

The fractional derivative is a non-local characteristic of a function: it depends not only on the behavior of the function in the neighborhood of the point x under consideration, but also on the values it takes on the entire interval (a, x) (or (x, b)). This nonlocality means that the change in the particle flux density depends not only on its values in the vicinity of the considered point (as is the case in the case of normal diffusion or classical heat conduction), but also on its values at remote points in space. A random process, the rate of change of density of which depends on the density values at previous moments of time, is called hereditary. Such processes are conveniently described by equations containing a fractional derivative with respect to time [8 – 11].

Numerical procedures for solving a new three-dimensional boundary value problem of fractal heat conduction for a layer with a through cylindrical cavity are considered. Numerical results are presented that characterize the evolution of temperature in time for various values of the order of the derivative under the action of an impulse load on the body surface.

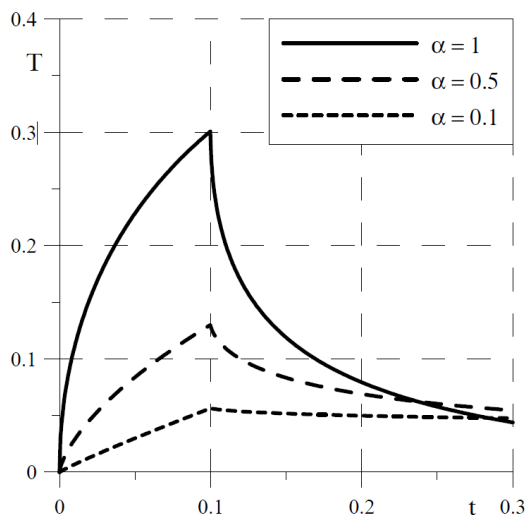


Figure 1 - Dependence of temperature on time for various values $0 < \alpha \leq 1$

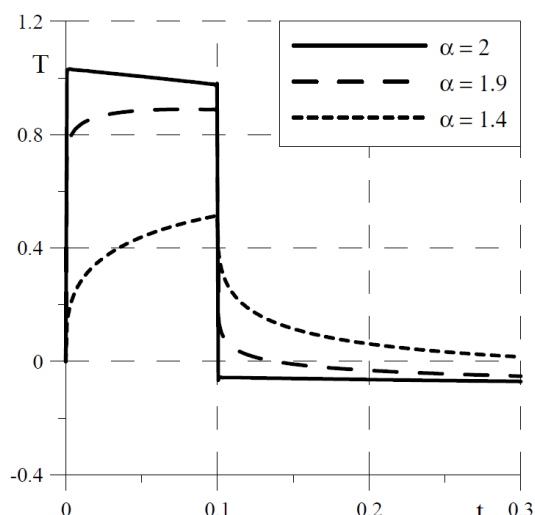


Figure 2 - Dependence of temperature on time for various values $1 < \alpha \leq 2$

Analyzing the graphs depicted in fig. 1, we can conclude that heat propagation (heating) in a layer with a cavity for media with an index of $\alpha < 1$ is slower, in contrast to media for which $\alpha = 1$. At $1 < \alpha \leq 2$ (Fig. 2), the process occurring in a fractal medium, can be characterized as a process of transition from classical heat conduction to wave behavior.

References

1. R. Metzler, J. Klafter. The random walk's guide to anomalous diffusion: a fractional dynamics approach // Phys. Rep. – 2000. – 339, p. 1-77.
2. S. Lepri, R. Livi, A. Politi. Anomalous heat conduction, in book: Anomalous transport: foundations and applications edited by R. Klages, G. Radons, I.M. Sokolov, — Wiley, VCH (Berlin), 2008, – 584 p.
3. A.M. Nakhshuev. Drobnoe yschyslenye y eho pryomenenye. - M.: Fyzmatlyt, 2003. - 272 s.
4. Uchaikyn V.V. Avtomodelnaia anomalnaia dyffuziia y ustoichyvye zakony. // UFN, - 2003. – t. 173, №8, – S. 847-876.
5. Smyrnov B.M. Enerheticheskiye protsessy v makroskopycheskykh fraktalnykh

strukturakh. // UFN. – 1993. – t. 161, №6. – S. 171-200.

6. Beibalaev V.D. Matematycheskaia model teploperenosa v sredakh s fraktalnoi strukturoi. // Matematycheskoe modelyrovanye. – 2009. – 21: 5. – S. 55-62.
7. Boyadjiev L., Scherer R. Fractional extensions of the temperature field problem in oil strata. // Kuwait. J. Sci. Eng. – 2004. – 31 (2). – p. 15-32.
8. Povstenko Y.Z. Fractional heat conduction equation and associated thermal stresses. // J. Thermal Stresses. – 2005. – 28. – p. 83-102.
9. Povstenko Y. Signalling problem for time-fractional diffusion-wave equation in a half-plane. // Fractional calculus and applied analysis. – 2008. – vol. 11, 3. – p. 329-352.
10. Mainardi F. Fractional relaxation-oscillation and fractional diffusion-wave phenomena. // Chaos, Solitons and Fractals. – 1996. – 7. – p. 1461-1477.
11. Mainardi F., Gorenflo R. Time-fractional derivatives in relaxation processes: a tutorial survey. // Fractional calculus and applied analysis. – 2007. – vol. 10, 3. – p. 269-308.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.034

ONTOLOGICAL SUPPORT OF METALLURGICAL AND MACHINE-BUILDING TECHNOLOGICAL PROCESSES

Shynkarenko V. I., Zhuchyi L. I.

Ukrainian State University of Science and Technologies

Technological processes of metallurgical and machine-building enterprises include such stages as obtaining material, casting, rolling, welding, workpiece processing and assembly.

When working with metallurgical processes materials, various disparate databases are used, such as the Inorganic Crystal database and the thermodynamic FactSage database at the University of Qld. The MatOnto ontology contains concepts representing materials at a high level of abstraction, is based on the DOLCE ontology, and reuses concepts from such ontologies as Ontolingua's Standard Units and Dimensions, the joint academic classification of Subjects (JACS), OWL Time Ontology, and AIFB's Semantic Web for Research Communities ontology, EXPO ontology. An ontology represents a general dictionary of concepts about data (table, histogram), measurement results, processes and material properties, etc.

Functionally graded materials (produced by powder metallurgy processes) are featured in (FGM) Ontology, developed in Protégé and reusing concepts from ontologies such as Basic Formal Ontology, Ontology for Biomedical Investigation, and MatOnto. The ontology provides a general vocabulary and includes the following classifications: material properties, including properties such as resistance and hardness, FGM properties, and their production processes and applications. FGMO 2.0 is enriched with logical definitions of functionally graded materials. After filling with instances of the ontology, queries can be performed into the knowledge base, for example, searching for materials that have biological compatibility.

Materials ontology from YAGO (MMOY) is the metals ontology, populated in an automated way with concepts and facts from YAGO (Yet Another Great Ontology) in contrast to MatOnto and FGM, developed according to literary sources such as "Materials science and engineering: an introduction" by Callister and Rethwisch. The method for automated ontology development is searching for synonyms of the initial data set (metal, steel, iron, alloy) in the wordnet and then comparing the strings of the resulting synonyms with classes and instances of Yago.

Another automated ontology development method is Named-entity recognition implemented in the Helping Interdisciplinary Vocabulary Engineering for Materials Science (HIVE-4-MAT) domain-specific application based on ten existing ontologies such as the US Geological Survey and Physico-chemical process. HIVE-4-MAT allows one to perform knowledge extraction from natural language texts for automated ontology population.

To conceptualize the ontology, the taxonomy of the thesaurus ASM Thesaurus of Metallurgical Terms and the properties of alloys defined in the domain-specific markup language MatML are used by Japanese scientists in [1]. Through inference, algorithms can be obtained to calculate the creep curve of a material. In continuation of the work [1], the Materials Ontology was developed in OWL in the Protégé ontology editor, integrating databases of National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, National Institute of Materials Science and MatDB data schema.

Steel Cold Rolling Ontology (SCRO) developed in OWL in Protégé, reuses OWL Time Ontology and was tested on data of the Talbot plant. The ontology allows one to integrate disparate tables data, such as Roll, Roll Grinding and Roll Storage using the Ontop method.

Polish scientists developed the CastNode platform based on ontology [2] for Foundry employees Research Institute in Cracow. The ontology is used to integrate databases that include information about metallurgical companies, rolling, casting and forging processes, patents and innovations and allows one to search for relevant information with SPARQL queries.

Welding processes of the OWL ontology [3] are classified by material, physical form of materials and energy source, are linked by logical definitions and contain restrictions, for example, such that the classes of welding of homogeneous and inhomogeneous materials do not intersect. The ontology makes it possible to formalize the specifications of welding processes and check their consistency using logical inferences.

The Ontological Assembly Model is developed in OWL in Protégé and contains SWRL (Semantic Web Rule Language) rules, a logical definition of the assembly and constraints such as that an artefact cannot be part of itself. The problem is relevant since the components of the assembly can be produced by different manufacturers and it is necessary to ensure the interoperability of their information support. The

ontology allows one to check the consistency of assembly part specifications heterogeneous data.

The OntoSTEP ontology is a formalized model of STandard for Exchange of Product model data, a standard for describing machine building parts. Thanks to formalization, it becomes possible to execute SQWRL (Semantic Query-Enhanced Web Rule Language) queries, for example, about detail functions. The ontology is implemented as a Protégé plugin. The principle of separating classes and instances into separate files makes it possible to check the data for consistency with the schema.

Metallurgical and machine-building enterprises and research institutes include many disparate databases that can be integrated using ontologies, which are not just general vocabularies but allow one to perform logical inferences to get implicit knowledge.

ONTOLOGICAL SUPPORT OF METALLURGICAL AND MACHINE-BUILDING TECHNOLOGICAL PROCESSES

Shynkarenko Viktor, Zhuchyi Larysa

Abstract. The analysis of ontological developments for materials of the metallurgical industry and finished products, such as functionally graded materials, processing of machine-building workpieces, both for practitioners and researchers, is carried out. Ontologies are used to integrate databases of materials and steel companies as common vocabularies and to check the consistency of welding specifications and part assemblies.

Keywords: ontology, metallurgy, materials, welding, OWL, Protégé.

References

1. Ashino T., Fujita M. Definition of a web ontology for design-oriented material selection //Data Science Journal. - 2006. - T. 5. - S. 52-63.
2. Regulski K., Wilk-Kołodziejczyk D., Kluska-Nawarecka S., Integration of technological data using ontologies in the InnoCast database mapping to CastNode knowledge base //METAL Conference, 2015, Brno, Czech Republic
3. Solano L. Ontological modeling of welding processes //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - IOP Publishing, 2021. - T. 1193. - no. 1. - S. 012019.

**КЕРУВАННЯ СТРУКТУРОЮ ПОТОКА ПОВІТРЯ
ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАЗМОВИХ АКТУАТОРІВ**

Редчиць Д.¹, Тучина У.¹, Заїка В.¹, Моїсеєнко С.²,
Старун Н.², Маломуж Т.², Вигоднер І.²

¹ *Інститут транспортних систем і технологій НАН України (Україна)*

² *Херсонський національний технічний університет (Україна)*

Розроблено нову фізично обґрунтовану математичну модель розвитку в часі процесів аеродинаміки, електродинаміки, динаміки частинок і хімічної кінетики для моделювання особливостей взаємодії суцільного в'язкого середовища з плазмою діелектричного бар'єрного розряду. Аналіз проблеми базується на розв'язку рівнянь Нав'є-Стокса, замкнених диференціальною моделлю турбулентності, а також моделлю ламінарно-турбулентного переходу, і рівнянь, що описують поведінку низькотемпературної плазми.

Побудовано нову математичну модель низькотемпературної нерівноважної ідеальної плазми діелектричного бар'єрного розряду в повітрі. У якості базового обраний дифузійно-дрейфовий підхід для опису просторово-тимчасової структури, включаючи нестационарні електродинамічні процеси, кінетичні явища та плазмохімічні реакції. У моделі враховуються електронно-збуджені та метастабільні стани молекул азоту та кисню, нейтральні атоми кисню, електрони, а також позитивні та негативні іони, у цілому 14 частинок і 97 плазмохімічних реакцій, включаючи поверхневі процеси. Хімічні реакції включають: процеси дисоціації, іонізації молекул електронним ударом з основного стану; ступінчасту, асоціативну іонізацію та фотоіонізацію; збудження молекул; іонізацію збуджених (метастабільних) молекул; прилипання і відлипання електронів; рекомбінацію електронів і позитивних іонів; хімічні перетворення нейтральних атомів, молекул та іонів, а також процеси вторинної емісії електронів з відкритого електрода і діелектричної поверхні.

Основною особливістю розробленої чисельно-аналітичної моделі є використання раціональної кількості рівнянь для опису всіх основних нестационарних параметрів діелектричного бар'єрного розряду в повітрі.

Обрані 14 видів частинок забезпечують високу точність математичного моделювання основних плазмохімічних реакцій, включаючи як поверхневі процеси, так і швидкоплинні явища в просторі (розвиток стримера й електронних лавин). Розроблена нова чисельно-аналітична модель діелектричного бар'єрного розряду дозволяє якісно та кількісно відтворювати процеси діелектричного бар'єрного розряду при роботі плазмового актуатора та призначена для адекватного відтворення сили Лоренца, що діє на турбулентний потік частково іонізованого повітря, у широкому діапазоні амплітуд і частот прикладеної напруги, а також параметрів і властивостей діелектричної поверхні.

Система вихідних рівнянь аеродинаміки, записувалася щодо довільної криволінійної системи координат на рухливих сітках. Узгодження полів тиску та швидкості здійснювалося за допомогою методу штучної стисливості, модифікованого для розрахунку нестационарних задач. Інтегрування системи вихідних рівнянь проводилося чисельно з використанням методу контрольного об'єму. Для конвективних потоків використовувалася протипоточна апроксимація Rogers-Kwak третього порядку точності, яка заснована на схемі Roe. Запропоновано модифікацію схеми Rogers-Kwak першого та третього порядку точності для конвективних членів. Основна відмінність модифікованої схеми Rogers-Kwak від класичної полягає в тому, що потоки розраховуються з використанням метричних коефіцієнтів на гранях контрольного об'єму за значеннями гідродинамічних параметрів у точках. У моделях турбулентності та ламінарно-турбулентного переходу для апроксимації конвективних складових застосовувалася схема TVD з обмежувачем потоків ISNAS третього порядку. Побудовано неявний алгоритм для модифікованої схеми Rogers-Kwak першого та третього порядку точності.

Нова взаємно узгоджена система вихідних рівнянь низькотемпературної плазми, що складається з рівняння для електричного потенціалу та рівнянь динаміки частинок, записувалася у довільній криволінійній системі координат. Вперше вводиться несиметрична скінченно-об'ємна апроксимація других похідних для електричного потенціалу в рівняннях для динаміки заряджених частинок плазми з метою збереження фізичних особливостей процесу адвекції.

Апроксимація проводиться з урахуванням несиметрично «відфільтрованого» значення густини заряджених частинок плазми, тому що формальна математична апроксимація оператора за допомогою симетричних скінченно-різницевого співвідношень (як для дифузійних доданків) призводить до втрати фізичних особливостей процесу переносу потоку заряджених частинок у суцільному середовищі.

Розроблено чисельно-аналітичну модифікацію рівняння Пуассона для електричного поля в криволінійній системі координат для безпосереднього виділення операторів електричного потенціалу, замість опосередкованого впливу через значення густини заряджених частинок в джерельному доданку, з використанням протипоточної апроксимації густини заряджених частинок у других похідних для електричного потенціалу.

Для нестационарних рівнянь динаміки плазми розроблено неявний чисельний алгоритм з підітераціями за псевдочасом, який базується на скінченно-об'ємному підході. Рівняння для електричного потенціалу з джерелами вирішувалося за допомогою методу мінімізації узагальненої нев'язки (GMRES) з неповним LU-розкладанням (ILU) загальної матриці системи у якості передзумовлювання. У нестационарних рівнянь для густини частинок плазми апроксимація дрейфових (адвективних) похідних здійснювалася за допомогою схеми TVD з функцією-обмежувачем MinMod. Реалізовано єдиний неявний чисельний алгоритм для ефективного розв'язку неоднорідної системи вихідних рівнянь.

Проведено серію обчислювальних експериментів з моделювання нестационарних процесів низькотемпературної нерівноважної плазми діелектричного бар'єрного розряду, а також її вплив на керування структурою потоку повітря. Проведено детальне вивчення стадій зародження, розвитку і гасіння катодоспрямованого стримера для реальних конфігурацій плазмових актуаторів на основі розробленої математичної моделі. Проаналізовано нестационарні характеристики плазми в області над діелектричною поверхнею, включаючи розподіл густини частинок, електричного потенціалу і компонент сили Лоренца.

Вперше встановлено вплив структури частинок плазми та густини

заряджених частинок на зміну сили Лоренца в часі. Показано, що основний внесок в формування сили Лоренца на позитивному напівперіоді коливання прикладеної напруги надають іони кисню. Для випадку негативного напівперіоду основний внесок здійснюється за рахунок негативно заряджених іонів кисню.

Проведено параметричні дослідження геометричних параметрів плазмових актуаторів та їх вплив на швидкість повітря, що генерується. Показано, що зі збільшенням амплітуди прикладеної напруги відбувається зростання швидкості повітря, що генерується, яка носить асимптотичний характер. Зменшення товщини діелектрика призводить до збільшення швидкості повітря.

Продемонстровано виникнення рушійної сили циліндра в результаті впливу чотирьох плазмових актуаторів на основі діелектричного бар'єрного розряду на повітря, що знаходиться у стані спокою. Показано можливість зменшення коефіцієнта опору циліндра за допомогою плазмових актуаторів за рахунок придушення вихрової доріжки Кармана.

СЕКЦІЯ 4

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧІ
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

SECTION 4

**INTELLIGENT INFORMATION MANAGEMENT
SYSTEMS AND TECHNOLOGIES**

ЗАСТОСУВАННЯ АСИМПТОТИЧНОГО МЕТОДУ ПРИ

РОЗВ'ЯЗАННІ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ МЕХАНІКИ

Білова О.В.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Анотація. За допомогою методу збурень розв'язані плоскі задачі теорії пружності. Отримано точне розв'язання задачі для анізотропної пластини з круговим отвором та прикладеним періодичним навантаженням на його контурі, а також задача про одновісний розтяг анізотропної пластини, послабленої круговим отвором.

Остання задача також розв'язується асимптотичним методом. При цьому отримано розв'язок у вигляді ряду за степенями малого параметра, що характеризує анізотропію. Показано, що перші члени розкладання в ряд за степенями малого параметра отриманого точного розв'язку збігаються з асимптотичним отриманим рішенням.

Встановлено, що у разі ізотропного матеріалу пластини цей розв'язок переходить у відомий розв'язок задачі Кірша.

Ключові слова: асимптотичний аналіз, метод збурень, математична модель, задача Кірша, анізотропна пластинка, криволінійна анізотропія.

Вступ. Питання точності асимптотичних методів, що застосовуються при розв'язанні задач механіки, є дуже актуальним [1]. Не завжди вдається порівняти асимптотичний розв'язок з точним, щоб з'ясувати ефективність застосовуваного методу [2]. У цій статті отримано рішення задачі декількома методами, що дає змогу зробити висновки щодо ефективності запропонованого методу збурень.

Основна частина. Розглянемо задачу для нескінченної криволінійно-анізотропної пластинки з круговим отвором та прикладеним на його контурі періодичним навантаженням. Нехай пружна нескінченна пластинка, що має циліндричну анізотропію, ослаблена круговим отвором радіуса r . Контур отвору навантажений радіальним та дотичним напруженнями, на нескінченності напруження дорівнюють нулю (рис.1). Розв'язання задачі

зводиться до інтегрування рівнянь рівноваги пластини [3]

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0, \\ \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{2\tau_{r\theta}}{r} = 0; \end{cases} \quad (1)$$

за наступних граничних умов:

$$\begin{aligned} \sigma_r = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos n\theta \quad (r=1), \quad \tau_{r\theta} = B_0 + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin n\theta \quad (r=1), \\ \sigma_r \rightarrow 0; \quad \tau_{r\theta} \rightarrow 0 \quad (r \rightarrow \infty). \end{aligned} \quad (2)$$

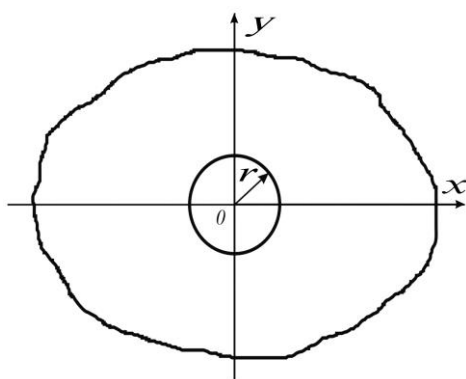


Рисунок 1

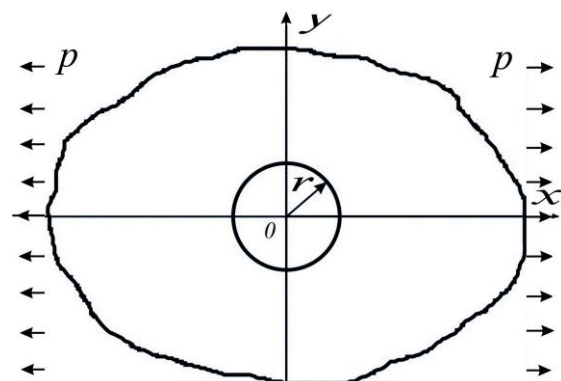


Рисунок 2

Результати розв'язання цієї задачі застосовуються для розв'язання наступної задачі про одноосний розтяг анізотропної пластини з криволінійною анізотропією, послабленої круговим отвором.

Розглянемо нескінченну пластину, що має криволінійну анізотропію. Пластина ослаблена круговим отвором одиничного радіусу (рис. 2).

Зокрема, розглянемо першу основну задачу, коли контур отвору вільний від зовнішніх зусиль, а на нескінченності діють зусилля, що розтягують пластину, інтенсивності p (задача Кірша).

Пластина має у кожній точці площину пружної симетрії, паралельну серединній площині $Хоу$. У суцільній пластині без отвору

$$\sigma_x^0 = p; \quad \sigma_y^0 = 0; \quad \tau^0 = 0. \quad (3)$$

Введемо полярну систему координат. Якщо скористатися формулами перетворення [4], то за умов (3) отримаємо, що в суцільній пластині без отвору

$$\sigma_r^0 = \frac{p}{2} + \frac{p}{2} \cos 2\theta, \quad \sigma_\theta^0 = \frac{p}{2} - \frac{p}{2} \cos 2\theta, \quad \tau_{r\theta}^0 = -\frac{p}{2} \sin 2\theta. \quad (4)$$

Оскільки контур отвору вільний від нормальних і дотичних напружень, то утворення в пластині отвору рівносильне додатку до точок уявного контуру напружень

$$\sigma_r = -\sigma_r^0; \quad \tau_{r\theta} = -\tau_{r\theta}^0.$$

Дія напружень і призводить до виникнення другого поля напруги, яке визначається з розв'язку задачі, розглянутої вище.

Повний розв'язок поставленої задачі складається із суми розв'язання (4) та зазначеного другого поля напруги, яке необхідно визначити.

Ця ж задача про одновісний розтяг криволінійно-анізотропної пластини вирішується асимптотичним методом.

Таблиця 1 – Порівняння асимптотичного та точного рішення для максимальної напруги на контурі отвору

ε	Відомий розв'язок	Отриманий розв'язок	Отриманий асимптотичний розв'язок	Погрішність
1/3 (ізотропний випадок)	$3p$	$3p$	$2,85p$	$\approx 5\%$
1/4	–	$3,22p$	$3,25p$	$\approx 0,93\%$
1/9	–	$3,658p$	$3,667p$	$\approx 0,24\%$

Висновки. Навіть у самому несприятливому, з погляду застосовуваного методу, випадку ізотропної пластинки (параметр має максимальне значення) похибка наближення не перевищує 5% (p -коефіцієнт Пуассона) і в нульовому наближенні отриманий розв'язок переходить у відоме рішення задачі Кірша.

Література

- Маневич Л. И. Асимптотический метод в микромеханике композиционных материалов / Л. И. Маневич, А.В. Павленко. – К.: Вища шк., – 1991. – 131 с.
- Гузь А. Н., Бабич С.Ю., Рудницкий В. Б. Контактное взаимодействие упругих тел с начальными (остаточными) напряжениями. Развитие идей Л. А. Галина в механике: монография / Ижевск: Изд-во Ин-т компьютерных исследований, 2013. 480 с.

3. Приварников А.К., Спиця О. Г. Осесиметричні контактні задачі для пружних багат шарових плит. Вісник Донецького університету. Серія А. Природничі науки, 2005. Вип. 1. С. 53–57.
4. Калоеров С. А., Самодуров А. А. Задача електров'язкоупругости для многосвязных пластинок. Математичні методи та фізико-механічні поля, 2014. Т. 57. № 3. С. 62–77.
5. Кагадій Т.С., Білова О.В., Щербина І.В. Застосування лметоду малого параметру при моделюванні задач теорії в'язкопружності. Вісник Херсонського національного університету. 2(69) .Ч.3. Херсон, 2019. С. 69-76.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.035

ПРОЕКТУВАННЯ І СТВОРЕННЯ ОБОЛОНОК ПОДОВЖЕНИХ СПЕЦІАЛЬНИХ ЗАРЯДІВ

Гуляєв А.В., Филь Р.С., Мельник В.Є.

Державний науково-дослідний інститут МВС України

Вступ. Оболонки подовжених спеціальних зарядів (ОПСЗ) використовують для знешкодження вибухонебезпечних предметів і саморобних вибухових пристроїв. Задачами по знешкодженню займаються підрозділи Національної поліції України, Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Державної прикордонної служби України, Збройних Сил України та інші, зокрема при розмінуванні можна залучати міжнародні та іноземні організації [1]. З початку 2022 року, на 8 лютого, ДСНС було вилучено та знищено 2908 вибухонебезпечних предметів, тому створення обладнання для знешкодження вибухонебезпечних предметів є актуальною задачею [2].

Основний матеріал. В Україні, наразі, для знешкодження вибухонебезпечних предметів використовують накладний заряд, хоча він і є ефективним але має недоліки, зокрема: потребує особливі заходи безпеки, не екологічний, потребує більшої вибухової речовини (в порівнянні з подовженими зарядами). Так, безпечна відстань під час знищення на відкритій місцевості артилерійських боєприпасів понад 200 мм, складає понад 1500 м [3]. В західних країнах набуває розповсюдження знешкодження вибухонебезпечних предметів за допомогою води, тобто гідрокумулятивних пристроїв, в нашому випадку це ОПСЗ. Перевагою такого знешкодження є те що вода при вибуху втрачає свою руйнівну силу вже за кілька метрів. Вода не шкодить навколишньому середовищу. Нажаль, в Україні до тепер немає серійного виробництва таких оболонок. Створення таких оболонок дозволить уніфікувати підготовку фахівців вищезгаданих підрозділів. Основною проблемою при створенні таких оболонок є те що для їх виробництва необхідно виготовити прес-форми, вартість яких складає десятки тисяч гривень, а при виготовленні всіх складальних одиниць вартість прес-форм буде складати близько 200 тис. грн. Крім того, для використання прес-форм необхідні термопластавтомати.

Останні два десятиліття в Україні активно розвиваються технології 3D-друку. При невисокій вартості 3D-принтерів в порівнянні з вартістю верстатів, можливе їх використання. Тому раціонально виготовляти дослідні партії і дрібносерійні партії оболонок подовжених спецзарядів за допомогою 3D-принтерів. Для 3D-друку необхідно створити 3D-модель кожної складової оболонки і перевести її в g-коди. В світі існує широкий вибір систем автоматизованого проектування, тому створення 3D-моделі не займає більше часу ніж створення креслень для прес-форм. Основною вимогою для 3D-друку ОПСЗ є їх герметичність, через те що в них використовується вода. Матеріалом, що використовувався для 3D-друку був обраний інженерний пластик PETG. Цей пластик є екологічним, міцний, водостійкий, має необхідну стійкість до ультрафіолету. Вартість PETG одна з найнижчих серед інженерних пластиків.

В Державному науково-дослідному інституті МВС України розроблені і виготовлені зразки таких оболонок, різних типорозмірів рис.

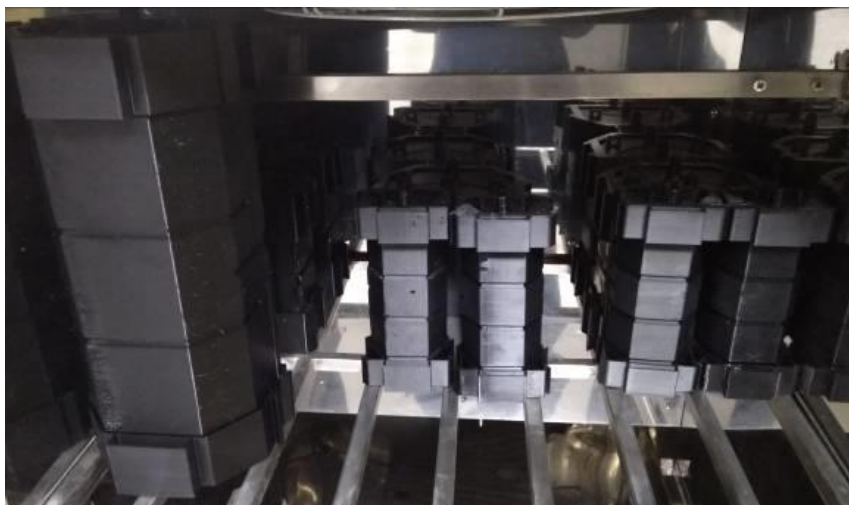


Рисунок – Оболонки подовжених спецзарядів

Створені оболонки подовжених спецзарядів пройшли кліматичні випробування згідно ГОСТ 15150-69, за температур -40°C і $+60^{\circ}\text{C}$. За результатами випробувань оболонки відповідають заданим геометричним розмірам і вимогам щодо герметичності, що дозволяє їх використовувати для знешкодження вибухонебезпечних предметів.

Висновки. Використання 3D-принтерів значно скоротило грошові витрати і час для проектування і створення оболонок подовжених спеціальних зарядів. В подальшому в створенні 3D-моделі можливо вносити корективи з урахуванням експлуатації оболонок подовжених спеціальних зарядів.

Література

1. Про протимінну діяльність в Україні: Закон України від 01.01.2021 № 2642-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2642-19#Text> (дата звернення: 10.02.2022).
2. Щодо виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів. URL: <https://dsns.gov.ua/uk/operational-information/dovidka-za-dobu/operativna-informaciya-pro-nadzvicaini-situaciyi-texnogennogo-prirodnogo-ta-insogo-harakteru-na-teritoriyi-ukrayini-stanom-na-7-godin-7-lyutogo-2022-roku> (дата звернення: 10.02.2022).
3. Пошук та знешкодження саморобних вибухових пристроїв [Текст] : метод. рек. / [Юсупов В. В., Приходько Ю. П., Фурман Я. В. та ін.]. – К. : Нац. акад. внутр. справ, 2017. – 31 с.

DESIGN AND CREATION OF EXTENDED SPECIAL CHARGERS

Huliaiev Andrii, Fyl Ruslan, Melnyk Volodymyr

Abstract. Current data on seized and destroyed explosive devices are given. The design and creation of shells of elongated special charges using the system of automated design and 3D printing for the needs of the National Police of Ukraine are considered. Data on the disadvantages and advantages of using an overhead charge and hydro-cumulative devices (shells of elongated special charges) are given. A comparison of the traditional manufacture of shells of elongated special charges and using 3D printing. The basic requirement for the created shells of the extended special charges is defined. Material for 3D printing, its advantages are considered. The results of researches of shells of the extended special charges on influence of climatic factors according to GOST are resulted. Conclusions are made on the advantages of the technology, the obtained samples of shells of extended special charges, over traditional technologies.

Keywords: National Police of Ukraine, explosive devices, shells of extended charges, 3D-printing, 3D-printer.

References

1. Pro protyminnu diialnist v Ukraini: Zakon Ukrainy vid 01.01.2021 № 2642-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2642-19#Text> (data zvernennia: 10.02.2022).
2. Shchodo vyjavlennia ta zneshkodzhennia vybukhonebezpechnykh predmetiv. URL: <https://dsns.gov.ua/uk/operational-information/dovidka-za-dobu/operativna-informaciya-pro-nadzvicaini-situaciyi-texnogennogo-prirodnogo-ta-insogo-xarakteru-na-teritoriyi-ukrayini-stanom-na-7-godin-7-lyutogo-2022-roku> (data zvernennia: 10.02.2022).
3. Poshuk ta zneshkodzhennia samorobnykh vybukhovyykh prystroiv [Tekst] : metod. rek. / [Iusupov V. V., Prykhodko Yu. P., Furman Ya. V. ta in.]. – K. : Nats. akad. vnutr. sprav, 2017. – 31 s.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.036

COMPUTER SYSTEM FOR MECHANISMS DIAGNOSIS

Ivashchenko Valeriy¹, Shvachych Gennady¹, Sushko Larysa²

¹*Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine*

²*State Agrarian and Economic University, Ukraine, Dnipro,*

Abstract. *The computer system proposed in this work is aimed at solving the problem of automating a comprehensive assessment of the technical functioning of mechanisms. The system's computational equipment have the minimum necessary computing requirements. No additional paid software is required for installation. Unlike existing systems, the proposed one has a moderate cost. For the majority of industrial enterprises, this factor is crucial when choosing the most beneficial computer system. In addition, the developed system is simple and comfortable to use. Thus, the system has an intuitive and intelligible interface for the operator, which allows the operator to quickly familiarize themselves with it and put it to use immediately; the system monitors the correctness entries in the electronic history - it corrects basic fields that are not properly indicated (repair data, repair requests, part price, etc.). The system has the ability to add individual templates for a specific unit. Unlike existing systems, the proposed system is multifunctional.*

Keywords: *computer system, system window, software, equipment, diagnostics.*

Introduction. Today, documenting the technical state of the functioning of mechanisms takes a large part of the working engineer's time, but is a necessary attribute of any technological institution. Nowadays there are systems for computer diagnostics of the technical state of mechanisms, but they are far from ubiquitously [1, 2]. Due to the increasing amount of information in the technical diagnosis arrangements, there is a need to automate processes of the basic flow of documents. Collection, storage, analysis of information, structuring the informational flows, their distribution, and other operations with diverse types of data are impossible without the use of computer technology.

However, note that computer systems for diagnostics automation of mechanisms and machines, are perhaps the most frequently changed component in

the management structure of a modern enterprise. In addition to the traditional directions of modernization, one of the recently demanded ways of developing computer systems is the integration of systems of various levels of control. Technological safety management is added to the list of functions of these systems.

A variety of hardware and software, structural and architectural solutions, functional capabilities, as well as various degrees of participation of information tools in production and enterprise technology control channels are the main defining characteristics of existing computer automation systems in modern enterprises, in all industries. The management of the automation departments of various enterprises have problems regarding choosing the path of further system development.

On the one hand; the volume of automation, the complexity, and the cost of hardware and software have increased. Along with this, the expences of resources and time for design work as well as the requirements for the qualification of staff and maintenance costs have also dramatically increased.

On the other hand, there is a “patchwork” nature of automation in general, at all levels of management, as a result of which there are losses i.e. non-compliance with the regulations: violations of the operating standards of equipment. Production losses are frequent due to conflicts in the flow of “technological actions” planned by staff who control the technological processes of repair and preventive work, which is organized at the level of production management. The “transparency” of the processes for monitoring the technical diagnostics of systems for external technology control loops is insufficient. In addition, it should be noted that so far, the coordination of actions has been minimal. This was due to the various requirements of the departments and services of enterprises utilizing multiple means of automating the process of system diagnostics.

The purpose of the study. The main objective of the developed information system is a complex solution for the collection and analysis of information about the technical condition and functioning of mechanisms as well as the management tasks of the enterprise in general. Respectively, specific tasks are solved for each unit of the enterprise. However, difficulties in determining the main focus or priorities of the enterprise’s activities significantly complicates the development and

implementation of such information systems. The developed computer system primarily optimizes information gathering, helps an engineer in monitoring and diagnosing the technical condition of the functioning of mechanisms, as well as aid in reducing errors and eliminating negative consequences. The existing experience in the developing of information systems allows one to conclude that as a result of designing such a class of systems, it is necessary to pay attention to both the diagnostic component (the decision support function) and the statistical component (analysis of heterogeneous data, reporting for analysis and forecasting of the functioning of mechanisms), and also economic (optimization of the financial activities of the organization).

Main research material statement. The process of automating the information support of the processes of monitoring the status and maintenance of technological equipment is based off the following principle: at the first stage, the operator enters information into a single database of equipment status for the current period. At the second stage, this information goes to the person in charge, who decides on the appropriate equipment work that needs to be done.

If the decision is made to perform certain work tasks with equipment and mechanisms, then:

- data on necessary work are entered into the computer system;
- the entered data goes to the operators through the means of a computer system;
- after completing certain work tasks, data on performed actions is entered.

Diagnostics of equipment occurs at one- month intervals, carried out by the specialists responsible for it. The reports give indications of the current status of the equipment. It also contains information about the condition of the equipment at the beginning of the month, possible problems with the equipment, and recommendations for further work.

The context diagram of the developed computer system is shown in Fig. 1.

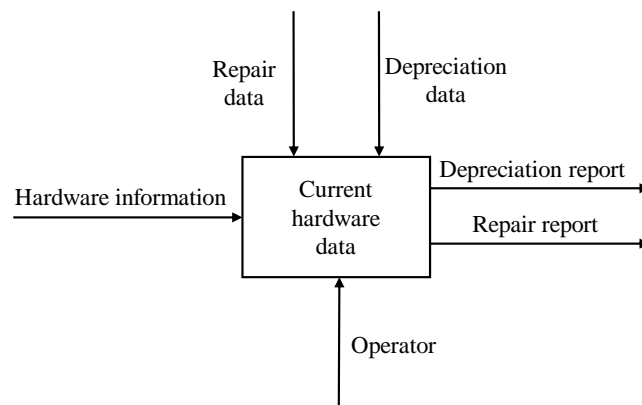


Fig. 1 – The context diagram of the developed computer system

Input and output data of the system. The input data of the system includes data on equipment, data on guarantees, warranty information, data on checking the condition of the equipment. The output data includes information on depreciation, information on repairs performed, information on contracts, equipment health check information. In addition, it is possible to output the data on depreciation of the equipment in and Excel file and sort it by year, as well as output the data on specific repair work in a Word file.

Design features of the computer system. The following tables were created during the design of the computer system:

- table “Depreciation” stores information on depreciation of the equipment;
- table "Equipment" stores information about the types of equipment in manufacturing;
- table "Repair" stores information about the repair work performed;
- the "Employees" table stores information about employees;
- the "Authorization" table stores information about authorization data;
- table “Reports” stores the information about authorization data;
- the “Inspection” table stores information about equipment inspections.

The principal feature of the created tables is the organization of connection between them. In this connection, one of the main requirements for the organization of the developed database is to provide the ability to find certain entities according to the purposes of others, so that specific connections are established between them.

The user of the computer system is given the opportunity to make the required

report and print it out. Here also can be generated a report on the dynamics of the work performed for each type of equipment.

Conclusions. The developed computer system solves the problem of automating an integrated assessment of the technical functioning of mechanisms. The proposed system has the following qualities. First of all, it is ideal for its moderate cost, which is one of the decisive factors for most industrial enterprises when choosing a computer system to use.

Secondly, the proposed system is simple and comfortable to use. The system has an intuitive and understandable interface for the operator, which allows the operator to quickly go through the familiarization stage and increase effective use and productivity; the system monitors the correctness of filling in the electronic history fields - it will correct, if basic fields are not indicated (repair data, repair requests, part price, etc.).

The system has the ability to add users' own templates for a specific unit. When working, it displays only system templates and does not display a huge list of additional embedded templates, i.e. has customization feature for a specific workplace. The system includes a built-in, editable directory of necessary parts and equipment.

Another advantage of the developed system is its stability and reliability. At the same time, the system containing important information about the enterprise is not only stable in operation but also protected from unauthorized access attempts. In addition, it is multifunctional and easily adapts to the profile of the unit.

The computer system is constantly updating, taking into account the wishes of its users. Also, it has minimal requirements for the computer hardware. No additional paid software is required to install the system.

References

1. Sobolev V.S. Software for modern systems for collecting and processing measurement information. Collection of scientific papers Devices and control systems. 1998. №1. P. 55-63.
2. Pokojski J. Komputerowe wspomaganie decyzji wielokriterialnych u dynamice maszyn. Pr. nauk. Mech. Pwarsz. 1990. P. 108.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКРАНУВАННЯ ВЗДОВЖ АВТОДОРОГ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ГАЗОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПРИЛЕГЛІЙ ТЕРИТОРІЇ

Русакова Т.І.¹, Біляєв М.М.²

¹ Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Україна

² Український державний університет науки і технологій, Україна

Забруднення атмосферного повітря залишається на сьогоднішній день однією з найсерйозніших екологічних проблем усіх великих урбанізованих регіонів. Викиди від автотранспорту у містах істотно впливають на забруднення всіх компонентів довкілля. Велика кількість токсичних речовин, що надходять в атмосферне повітря за рахунок неповного згоряння палива, поширюється на рівні органів дихання людини, викликаючи різні захворювання. Шкідливі речовини поширюються як уздовж автошляхів, так і в їх околиці, негативно впливаючи як на водіїв і пішоходів, так і на населення, місця проживання яких знаходяться вздовж автошляхів. Аналіз статистичних даних забруднення атмосферного повітря показує, що протягом останніх 10 років спостерігається тенденція збільшення викидів від автотранспорту, оскільки збільшується кількість автотранспорту. Також автодороги, зони для паркування займають понад 40% території міста, зменшуючи цим кількість площ санітарно-захисних зон. Згідно з даними Головного управління статистики в Дніпропетровській області, автомобільний парк міста Дніпра постійно зростає і представлений: легковими автомобілями на 85%, вантажними на 13% та автобусами на 2%.

Аналіз робіт [1-2] стосовно оцінки впливу автомобільних доріг на стан атмосферного повітря показує, що формуються зони, де концентрація відпрацьованих газів значно перевищує гранично допустимі показники. Значення концентрації шкідливих домішок у повітрі вздовж автошляхів залежить від особливостей організації руху на дорогах, характеристик транспортного потоку та параметрів навколишнього середовища, а також від розташування будівель та споруд, наявності зелених насаджень. У місцях з низькою пропускною здатністю, біля зупинок громадського транспорту

концентрація забруднюючих речовин досягає пікових значень.

Застосування екранування – один із технічних засобів безпеки життєдіяльності, що використовується для мінімізації рівня хімічного забруднення вздовж автошляхів. Застосування екранування дозволяє змінити траєкторію руху частинок шкідливих газових викидів та локально знизити рівень хімічного забруднення. Значною перевагою екранування є те, що ефективність використання екранів у порівнянні із зеленими насадженнями настає з моменту їх встановлення, незалежно від періоду року.

В роботі на основі математичного моделювання на базі чисельних методів створено програму «Barrier» для проведення обчислювальних розрахунків. Це дозволяє вирішувати практичне завдання по оцінці рівня забруднення атмосферного повітря шкідливими газовими викидами біля автодороги за наявності джерела небезпеки – автотранспорту, з наявністю екранів різної висоти.

Розглядається перенесення речовини CO в атмосферному повітрі і враховується, що на зміну концентрації впливають: швидкість повітряного потоку, атмосферна дифузія, інтенсивність викидів. Для моделювання використовується рівняння масопереносу (1) [2].

$$\frac{\partial C_{CO}}{\partial t} + \frac{\partial(uC_{CO})}{\partial x} + \frac{\partial(vC_{CO})}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_x \frac{\partial C_{CO}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_y \frac{\partial C_{CO}}{\partial y}) + \sum_{i=1}^n Q_{COi} \delta(x_i, y_i), \quad (1)$$

де $C_{CO}(x, y, t)$ – концентрація шкідливого газу CO , [кг/м³]; Q_{COi} – інтенсивність викиду CO от i -ого джерела шкідливого чинника (автотранспорту), кг/(с·м³); u, v – компоненти вектора швидкості вітру, [м/с]; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коефіцієнти турбулентної дифузії, [м²/с]; x_i, y_i – координати джерела шкідливого чинника (автотранспорту), [м]; $\delta(x_i, y_i)$ – дельта-функція Дірака.

Для вирішення рівняння (1) ставляться відповідні граничні умови: на границі входу потоку у розрахункову область концентрація дорівнює фоновій; на границі виходу із розрахункової області не враховується процес дифузії; на всіх твердих стінках (екрани, автомобілі) залежно від напрямку нормалі має виконуватися умова непроникнення.

У роботі розглядається розсіювання викидів від автотранспорту

для випадку, коли біля автодороги розташовані захисні екрани. У цьому випадку в області дослідження формується нерівномірне поле швидкості повітряного потоку. Для розрахунку компонент швидкості повітряного потоку за таких умов використовується модель потенційної течії, а саме рівняння Лапласа (2) [2].

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (3)$$

Для вирішення рівняння (2) ставляться відповідні граничні умови: на границі входу потоку у розрахункову область для потенціала швидкості ставиться гранична умова Неймана $\frac{\partial P}{\partial x} = U$, де U – відоме значення швидкості повітряного потоку; на границі виходу із розрахункової області – умова Дирихле $P = P_0 + const$; на всіх твердих стінках – умова непроникнення. Для компонент швидкості повітряного потоку використано (3) [2].

Для розв'язання (1)–(3) використано кінцево-різницеві методи. Побудована методика чисельного розрахунку дозволяє отримати картини зон забруднення СО (рис.1-2) та виділити підзони, де таке забруднення є більш інтенсивним. Виявлення таких підзон дозволяє рекомендувати заходи захисту для мінімізації рівня забруднення, наприклад, за рахунок зміни висоти екранів. З отриманого розподілу поля концентрації (рис.1-2) видно, що збільшення висоти екранів призводить до зниження інтенсивності забруднення в області А за другим екраном (можливе місце проживання населення). Проте, як видно з рисунка 2, у зоні між двома екранами спостерігається збільшення інтенсивності забруднення повітряного середовища. Це пов'язано з тим, що наявність екранів із двох сторін від дороги призводить до утворення застійних зон, де швидкість повітряного потоку невелика. Таким чином, у цих областях спостерігаються локально високі концентрації забруднення, що потребує впровадження додаткових технічних засобів для мінімізації рівня забруднення.

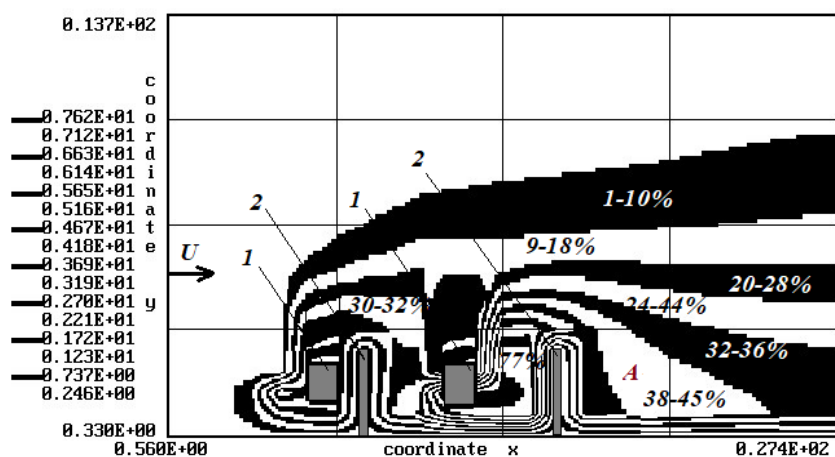


Рисунок 1 – Поле концентрації CO при наявності екранів висотою $H=2,8$ м:

1 – автомобілі, 2 – екрани

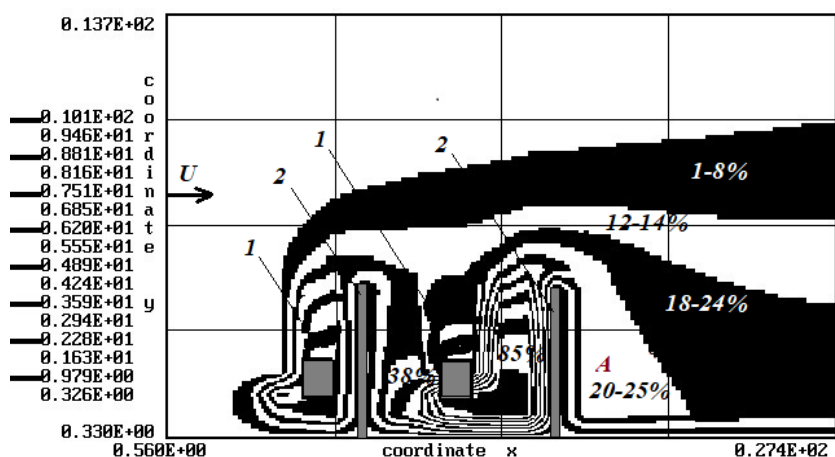


Рисунок 2 – Поле концентрації CO при наявності екранів висотою $H=5$ м:

1 – автомобілі, 2 – екрани

Висновок. Прогнозування рівня концентрації шкідливих речовин є необхідною складовою на етапі проектування нових автошляхів або при реінжинірингу, для обґрунтування зміни трафіку руху автотранспорту, оскільки організація безперервного руху транспортних засобів призводить до зменшення викидів забруднюючих речовин від автотранспорту. На ефективність екранування впливає ряд факторів: метеорологічні умови (швидкість та напрямок вітру), інтенсивність викидів шкідливих газів автотранспортом, наявність локальних перешкод, розміри екранів та їх геометрична форма, способи розташування вздовж автодороги.

Жірепарыта / References

1. Hagler, Gayle S.W. et al. Model evaluation of roadside barrier impact on near-road air pollution. Atmospheric Environment. 2011. Vol. 45, Is. 15, P. 2522-2530. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.02.030>
2. Biliaiev M., Pshinko O., Rusakova T., Biliaieva V., Śładkowski A. Computing model for simulation of the pollution dispersion near the road with solid barriers. Transport problems. 2021. V. 16. Is. 2. P. 73-86. ISSN:1896-0596

APPLICATION OF SCREENING ALONG HIGHWAYS TO REDUCE THE GAS LOAD IN THE SURROUNDING AREA

Rusakova Tetiana, Biliaiev Mykola

Abstract. This work is devoted to the development of a method for numerical calculation the concentration field of a harmful substance CO along the road and in the territory adjacent to it. The method takes into account not only the physical and meteorological parameters, but also the location and height of the screens. The implementation of the method is based on the mass transfer equation for the impurity concentration and the potential flow equation for the velocity vector components. The solution of equations is based on finite difference methods. Based on this method, a software package has been developed that allows you to conduct computational experiments and does not require large amounts of computer time. Based on the results obtained, an assessment was made of the effectiveness of the use of screens to reduce the level of air pollution near highways. It has been established that an increase in the height of the screens from 2.8 m to 5 m reduces the level of pollution behind the road by up to 50%.

Keywords: shielding, technical means, concentration of harmful gases, sources of pollution, automobile transport, computational experiments.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.056

АНАЛІЗ МЕТРИК ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Мала Ю.А., Ковальов В.В.

Університет митної справи та фінансів, Дніпро, Україна

Виробництво високоякісного програмного забезпечення (ПЗ) є однією з важливих завдань розвитку будь якої сфери людської діяльності. В залежності від того, наскільки якісно зроблено програмне забезпечення системи, залежить в результаті ефективність роботи об'єктів різноманітного призначення. При низькій якості програмного забезпечення систем можуть виникати економічні витрати, а в певних спеціалізованих системах – загрожувати катастрофами, які призводять до людських жертв та екологічних катаклізмів [1].

На теперішній час не існує загальної теорії та найефективнішої методології оцінки якості програмного забезпечення. Всі дослідження в галузі оцінки якості програмного забезпечення, в особливості, ранніх стадій його життєвого циклу, мають хаотичну, несистематизовану особливість. У роботах Поморової О. В. і Говорущенко Т. О. [2, 3] доведено, що саме наприкінці стадії проектування архітектури програмного забезпечення можна і слід визначати і усувати близько 55% усіх недоліків майбутнього програмного продукту. Існування великої кількості дослідів з інженерії програмного забезпечення (Боем, Дейкстра, Мейер), не дає можливості стверджувати, що існує завершена, протестована та випробована теорія і методологія розробки складного та одночасно якісного програмного забезпечення, а також, що існують методи та засоби оцінки та прогнозування його якості на ранніх стадіях реалізації програмного забезпечення проекту. Таким чином дослідження та розробка оцінки якості програмного забезпечення є актуальним питанням сьогодення, щоб запобігти непередбачених втрат, які є причиною помилок при функціонуванні програмного забезпечення [3].

Розробка методу оцінки якості програмного забезпечення вимагає обрання моделі оцінки програмного продукту. Перша широко відома модель якості програмного забезпечення є модель МакКолома, яка була

запропонована в 1977 [4]. В цій моделі характеристики якості розділені на три групи: **фактори**, що описують ПЗ з позицій користувача та задаються вимогами; **критерії**, що описують ПЗ з позицій розробника та задаються як цілі; **метрики**, що використовуються для кількісного описання і вимірювання якості.

Згідно з даними стандарту ISO 24765:2010, метрика - це міра ступеня володіння властивістю, яка має числове значення. Загалом, метрика ПЗ – це кількісна оцінка програмного продукту, процесу або проекту, яка використовується безпосередньо або на основі якої здійснюються інші вимірювання чи виконується прогноз [4].

Відсутність єдиних стандартів на метрики, призвела до створення більше тисячі метрик, тому кожен розробник вимірювальної системи пропонує власні методи оцінювання якості програмного забезпечення і відповідні метрики з урахуванням специфіки галузі в якій буде використовуватися програмний продукт.

Метрики повинні мати такі властивості: надійність, повторюваність, однотипність, можливість застосування, показовість, коректність, об'єктивність, неупередженість, адекватність точності, значимість. Метрика повинна бути ефективною по відношенню до вартості, що означає – більш дорогі метрики повинні забезпечувати кращі результати оцінки. Розробник метрики також повинен довести її обґрунтованість, критерії якої наступні: кореляція, трасування, несуперечливість, передбачуваність, селективність.

За видом або станом об'єкта вимірювання (робоча версія програми або сукупність документів і програмного коду) метрики умовно поділяються 3 види [2]: **внутрішні метрики** призначені для оцінювання внутрішньої якості ПЗ, тобто множини властивостей, які визначають його здатність задовольняти встановленим або реальним потребам замовників при його використанні в певних умовах безпосередніми користувачами; **зовнішні метрики** призначені для оцінювання зовнішньої якості ПЗ, тобто його рівня, якому воно відповідає згідно з встановленими (заявленими) і передбачуваними вимогами під час його використання у певних умовах; **метрики експлуатаційної якості**

призначені для оцінки не властивості самого програмного забезпечення, а для оцінки видимих результатів його експлуатації, тобто експлуатаційну якість програмного забезпечення.

Загальна міра – ступінь трасування, що визначається числом трас, які простежуються за допомогою моделей сценаріїв типу UML і оцінюванням кількості: вимог, сценаріїв і діючих осіб, об'єкта, включених у сценарії, і локалізації вимог до кожного сценарію, параметрів і операцій об'єкта.

Стандарт ISO/IEC 9126-2 визначає наступні типи мір [5]:

– міра розміру ПЗ (число функцій, рядків в програмі, розмір дискової пам'яті і ін.);

– міра часу (функціонування системи, виконання компоненти і ін.);

– міра зусиль (продуктивність праці, трудомісткість і ін.);

– міра обліку (кількість помилок, число відмов, відповідей системи і ін.).

Приклади метрик якості програмного забезпечення:

– загальне число об'єктів і число повторно використовуваних;

– загальне число операцій, повторно використовуваних, і нових операцій;

– число класів, що успадковують специфічні операції;

– число класів, від яких залежить даний клас;

– число користувачів класу або операцій.

Для оцінки загальної кількості деяких величин використовують такі метрики: середнє число операцій у класі, спадкоємців класу або операцій класу і ін.

Прикладами метрик якості програмного забезпечення з точки зору можливості їх застосування на ранніх етапах його розроблення з отриманням точного або прогнозованого значення є [6]: **метрика Чепіна**, яка аналізує характер використання змінних з переліку введеної та оброблюваної інформації; **метрика зв'язності**, що є внутрішньою характеристикою програмного модуля, яка залежить від типу модуля або проекту; **метрика Джилба** за допомогою якої на етапі проектування можна підрахувати кількість міжмодульних зв'язків та ін. Прикладом метрик якості програмного забезпечення з точки зору можливості їх застосування на етапі проектування

його архітектури з отриманням точного або прогнозованого значення [6]: **метрика Холстеда** (зовнішня метрика), що обчислюється на основі аналізу числа рядків і синтаксичних елементів вихідного коду програми; **метрика Маккейба** – цикломатична складність; **метрика Джилба** – відносна логічна складність програми і ін.

Метрики якості використовуються при подальшій оцінці ступеня тестування за допомогою даних (безвідмовна робота, виконуваність функцій, зручність застосування інтерфейсів користувачів, бази даних і ін.) після проведення випробувань програмного забезпечення на великій кількості тестів.

Проведений аналіз метрик якості програмного забезпечення показав відсутність єдиних стандартів для вибору метрик, таким чином кожен розробник системи тестування повинен самостійно запропонувати власні методи оцінювання якості програмного забезпечення з урахуванням особливостей тієї галузі в якій буде функціонувати програмний продукт.

Література

1. Говорущенко Т. О., Питлик Є. В. Визначення ефективності метрик якості на етапі проектування програмного забезпечення. Вісник Хмельницького національного університету. 2012. № 2. С. 149 – 155.
2. Pomorova, O. V., Novorushchenko, T. O. Intelligent Assessment and Prediction of Software Characteristics at the Design Stage. American Journal of Software Engineering and Applications (AJSEA) 2013. № 2(2). P. 25–31.
3. Поморова О. В., Говорущенко О. В. Інтелектуальний метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення. Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2010. № 6. С. 211-218.
4. Юрчишин В. М. Методологічні підходи щодо оцінки якості забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу. Методи та прилади контролю якості. 2020. № 2 (45). С. 40 – 57.
5. Андон Ф.И., Коваль Г.И., Коротун Т.М., Лаврищева Е.М., Суслов В.Ю. Основы инженерии качества программных систем. Киев: Академперіодика, 2007. 672 с
6. Грицюк Ю. І., Андрущакевич О. Т. Засіб для визначення якості програмного забезпечення методами метричного аналізу. Науковий вісник НЛТУ України. 2018. т. 28. № 6. С. 159 – 171.

SOFTWARE QUALITY METRIC ANALYSIS

Mala Yuliia, Kovalov V.V.

Abstract. The analysis of software quality metrics showed that there are no common standards for choosing metrics, so each developer of a testing system must independently propose their own methods for assessing software quality, taking into account the characteristics of the industry in which the software product will operate.

Keywords: software, quality, metric, measure, quality assessment method.

References

1. Hovorushchenko T. O., Pytlyk Ye. V. (2012) Vyznachennia efektyvnosti metryk yakosti na etapi proektuvannia prohramnoho zabezpechennia [Determining the effectiveness of quality metrics at the software design stage]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, no. 2, pp. 149 – 155. (in Ukrainian).
2. Pomorova, O. V., Hovorushchenko, T. O. (2013) Intelligent Assessment and Prediction of Software Characteristics at the Design Stage. American Journal of Software Engineering and Applications (AJSEA), no 2(2), pp. 25–31.
3. Pomorova, O. V., Hovorushchenko, T. O. (2010) Intelktualnyi metod otsiniuvannia rezultativ proektuvannia ta prohnozuvannia kharakterystyk yakosti prohramnoho zabezpechennia [Intelligent method of evaluating the results of design and forecasting the characteristics of software quality]. Radioelektronni i kompiuterni systemy, no 6, pp. 211–218. (in Ukrainian).
4. Iurchyshyn V. M. (2020) Metodolohichni pidkhody shchodo otsinky yakosti zabezpechennia dlia obiektiv naftohazovoho kompleksu [Methodological approaches to assessing the quality of supply for oil and gas facilities]. Metody ta prylady kontroliu yakosti, no 2 (45), pp. 40 – 57. (in Ukrainian).
5. Andon F.I., Koval G.I., Korotun T.M., Lavrisheva E.M., Suslov V.Yu. (2007) Osnovy inzhenerii kachestva programmnyh system [Fundamentals of software systems quality engineering]. Kiev: Akadempriodika. (in Russian).
6. Hrytsiuk Yu. I., Andrushchakevych O. T. (2018) Zasib dlia vyznachennia yakosti prohramnoho zabezpechennia metodamy metrychnoho analizu [A tool for determining the quality of software by metric analysis methods]. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy, vol. 28, no. 6, pp. 159 – 171. (in Ukrainian).

РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОТА

Кононов Д.О., Остапчук Ю.А.

*Навчально-наукового інституту промислових і бізнес технологій Українського
державного університету науки і технологій (Дніпро, Україна)*

Мета роботи: розробити схему вимірювального комплексу, в умовах роботи лабораторного вібраційного грохоту з віброактивною сіючою поверхнею, розробки кафедри МАМВ УДУНТ (частота коливань 25 Гц, максимальна амплітуда 4 мм). Треба визначити лінійні прискорення і кутову швидкість повороту елементів грохота.

Вибір датчика та мікроконтролера

Датчик. Для дослідження кінематики руху потрібно вибрати відповідний датчик. Результатом аналізу елементної бази є модулі GY-521, GY-91 і GY-85.

Основні характеристики датчиків, за якими проводилося порівняння - це: діапазони гіроскопа і акселерометра, максимальна частота інтерфейсу I2C та SPI, частота дискретизації, коефіцієнт перетворення, нелінійність, шум, ціна. Нижче наведена таблиця з характеристиками модулів [1,2,3].

Таблиця 1 - Характеристики датчиків положення

Назва модуля	GY-521	GY -91	GY -85
мікросхема	MPU-6050	MPU-9250	Гіроскоп ITG 3205, акселерометр ADXL345, компас HMC5883L ..
Діапазон гіроскопа. ° / с	± 250, ± 500, ± 1000, ± 2000		
Діапазон акселерометра, g	± 2. ± 4, ± 8. ± 16		
інтерфейс зв'язку	I ² C	I ² C	I ² C, SPI
Максимальна частота інтерфейсу I2C / SPI, кГц	400/1000	400/1000	400/1000
Частота дискретизації. Гц	1000	1000	1000

Крім того модуль GY-521 на мікросхемі MPU-6050 містить запатентований компанією InvenSense процесор обробки сигналів, викликаних рухом

DigitalMotionProcessor (DMP), здатний обробляти 9-ти координатні алгоритми MotionFusion. DMP може бути використаний для складних розрахунків.

Мікроконтролер. Для управління всією роботою системи, потрібно вибрати відповідний мікроконтролер. Оскільки мікроконтролер виконує основну функцію в вимірювальній системі, він повинен відповідати всім вимогам до даної системи. Провівши аналіз сучасної елементної бази, були відібрані 6 мікроконтролерів (ATmega328P, ATmega2560, ATmega8U2, ATmega64, AT91SAM7S321, MSP430F157). Параметри, за якими проводилося порівняння: робоча напруга, оперативний пристрій (ОЗУ), тактова частота, підтримка послідовного інтерфейсу I2C, наявність такого периферійного пристрою, як АЦП і його розрядність, а так само доступність мікроконтролерів в магазинах електронних компонентів.

Проаналізувавши, було обрано мікроконтролер ATmega328P. Він є оптимальним за всіма основними параметрами, таким як: тактова частота, робоча напруга, ОЗУ, флеш-пам'ять. Так само у даного мікроконтролера є всі необхідні периферійні пристрої. Він ще й є найдоступнішим за ціною і є в наявності в більшості магазинів електронних компонентів. На мікроконтролері Atmega328P працює налагоджувальна плата Arduino Uno і Nano. Вона містить все необхідне для роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів / виходів (з яких 6 можна використовувати як виходи ШІМ), 8 аналогових входів, кварцовий кристал з 16 МГц, USB-з'єднання, роз'єм живлення і кнопку скидання.

Розробка функціональної і структурної схеми системи. Провідний інтерфейс має кілька переваг, але основною перевагою є відсутність необхідності в зовнішніх автономних джерелах живлення (акумулятори, батареї) в кожному з модулів, що не додає пристрою зайвої маси і не впливає на природність рухів елементів грохота. Основним недоліком є необхідність кріплення кабелів на конструкцію грохота.

Послідовний інтерфейс I2C дозволяє підключати будь-які ведучі (master) і ведені (slave) пристрої, які сумісні з цим інтерфейсом.

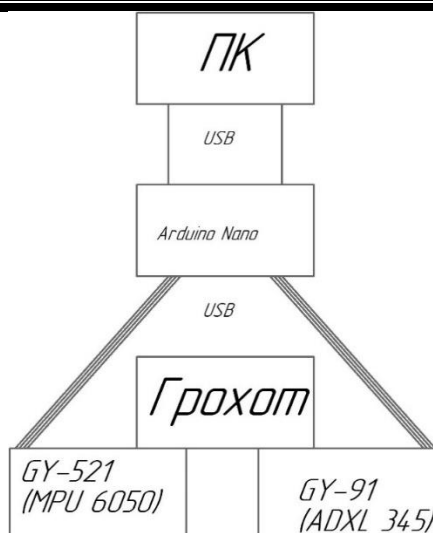


Рисунок 1 – Структурна схема вимірювальної системи дротовим інтерфейсом

Установка датчика ADXL 345 та MPU 6050 на елементи еластичного карткового елемента поверхні, що просіює, приведена на рисунках 2 та 3.

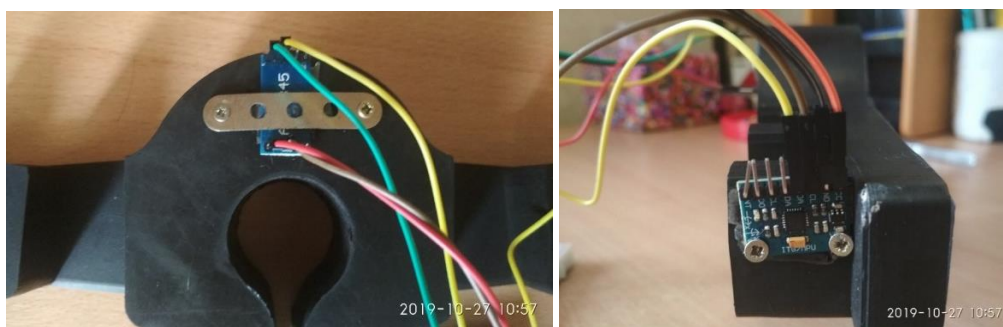


Рисунок 2 – Установка датчика ADXL 345 та MPU 6050 на елементи еластичного карткового елемента поверхні, що просіює

Розробка програмного забезпечення. У даній роботі використовується підключення 2-х датчиків MPU 6050 або по одному датчику MPU 6050 і ADXL345к однією з найбільш поширених налагоджувальних плат на базі Arduino - (Arduino Nano або Mega2560) з подальшою передачею інформації по послідовному інтерфейсу I²C і записом даних на SD пам'ять або персональний комп'ютер.

Для запропонованої вимірювальної установки було розроблено програмне забезпечення, в якій використовується настройка деяких важливих параметрів датчиків і параметрів передачі даних з них. Частота запису даних на комп'ютер лежить у межах 250-500 Гц.

Висновок. Розроблено схему вимірювального комплексу, в умовах роботи лабораторного вібраційного грохоту (частота коливань 25 Гц,

максимальна амплітуда 4 мм).

У запропонованій вимірювальній установці використовується підключення 2-х датчиків MPU 6050 або ADXL345 до мікроконтролеру Arduino Nano або Mega2560). Розроблено необхідне програмне забезпечення.



Рисунок 3 – Установка еластичного карткового елемента просіючої поверхні, на вібраційному грохоті

Література

1. Модуль GY-521 DataSheet [Электронный ресурс]. URL: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000Datasheet1.pdf> – (дата обращения: 25.05.2021).
2. Модуль GY-85 DataSheet [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hotmcu.com/gy85-9dof-imu-sensor-module-p-298.html> – (дата обращения: 20.04.2021).
3. Модуль GY-91 DataSheet [Электронный ресурс]. URL: <http://robotparts.ru/products/gy-91> – (дата обращения: 15.02.2022).
4. Микроконтроллер ATmega328P DataSheet [Электронный ресурс]. URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bitAVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf – (дата обращения: 15.02.2022).

**DEVELOPMENT OF MEASURING COMPLEX FOR DETERMINATION OF
KINEMATIC CHARACTERISTICS OF VIBRATION SCREEN**

Kononov Dmytro, Ostapchuk Yury

Abstract. A scheme of the measuring complex has been developed, in the conditions of operation of a laboratory vibrating screen with a vibroactive sowing surface developed by the department of MAMV UDUNT. The oscillation frequency of the screen elements is 25 Hz (1470 rpm) and the maximum amplitude is 4-5 mm).

A comparative analysis of sensors-accelerometers and microcontrollers has been carried out.

The proposed measuring setup uses the connection of 2 MPU 6050 or ADXL345 sensors to the Arduino Nano microcontroller. The measurement limit of these sensors lies within $\pm 16g$, which corresponds to the operating parameters of the vibrating screen. Sampling frequency 1000 Hz. Sensors are connected to the microcontroller via the I2C interface. The frequency of data recording to the computer is in the range of 250-500 Hz.

The necessary software has been developed.

Keywords: vibrating screen, elastic sieve, MPU 6050, ADXL345, Arduino.

References

1. Module GY-521 DataSheet [Electronic resource]. URL: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000Datasheet1.pdf> - (accessed 05/25/2021).
2. Module GY-85 DataSheet [Electronic resource]. URL: <https://www.hotmcu.com/gy85-9dof-imu-sensor-module-p-298.html> - (date of access: 04/20/2021).
3. Module GY-91 DataSheet [Electronic resource]. URL: <http://roboparts.ru/products/gy-91> - (date of access: 02/15/2022).
4. Microcontroller ATmega328P DataSheet [Electronic resource]. URL: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bitAVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf - (accessed 02/15/2022).

СЕКЦІЯ 5

**ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА
ОРГАНІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА**

SECTION 5

**PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES AND ORGANIZATION OF
MODERN PRODUCTION**

ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ФОРМУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА СТРУКТУРУ СТАЛЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЕЙ

Бабаченко О.І., Тогобицька Д.М., Балаханова Т.В., Кононенко Г.А.

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

Одним з найважливіших нормованих показників властивостей залізничних осей є ударна в'язкість, яка є комплексною характеристикою механічних властивостей та залежить від структурного стану матеріалу та його хімічного складу. Мета роботи полягала у встановленні параметрів якості залізничних осей, які контролюються наявною нормативно-технічною документацією на ударну в'язкість. В роботі були вивчені характеристики двох масивів промислових даних хімічного складу та механічних властивостей зразків, відібраних від чорнових залізничних осей зі сталей марок ОС (~0,44 % С, 0,71 % Мn, 0,22% Si) та EA1N (~0,35 % С, 0,86 % Мn, 0,21% Si). Головною відмінністю вибірок були способи виготовлення вихідних безперервнолитих заготовок: сталь марки ОС виготовлена конвертерним способом без проходження операції вакуумування; сталь марки EA1N виплавлена в електропечі з проходженням процесу дегазації у вакууматорі. У кожній виборці було виділено 2 масиви, які мали понижені та підвищені значення ударної в'язкості. Аналіз відмінностей показників вибірок проводили за допомогою t-критерія Стюдента.

Показано, що більшість факторів мають однаковий характер взаємозв'язку з впливу на показники ударної в'язкості для масивів двох марок сталі (рис. 1).

Вперше показана відмінність впливу деяких хімічних елементів сталі для залізничних осей на рівень ударної в'язкості, зокрема вмісту сірки та марганцю на показники ударної в'язкості для двох марок сталей.

Для відокремлювання можливого впливу вуглецю на особливості формування структури порівнювали зразки вуглецевої сталі марки ОС близького хімічного складу, відібраних від гарячекатаних та термооброблених заготовок.

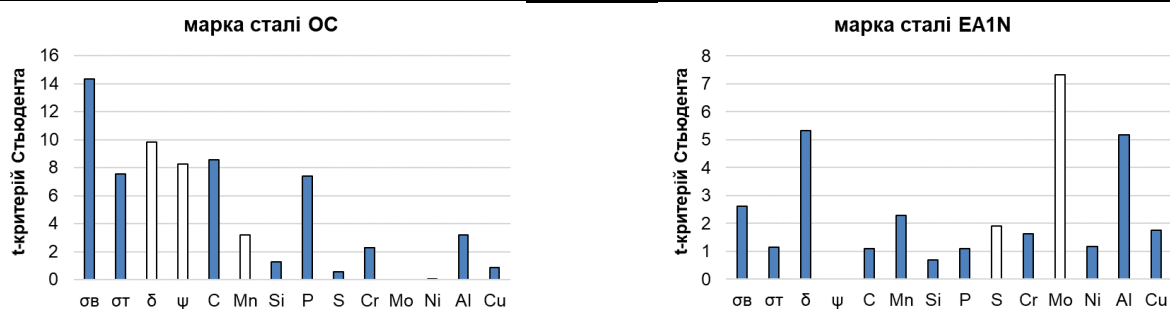
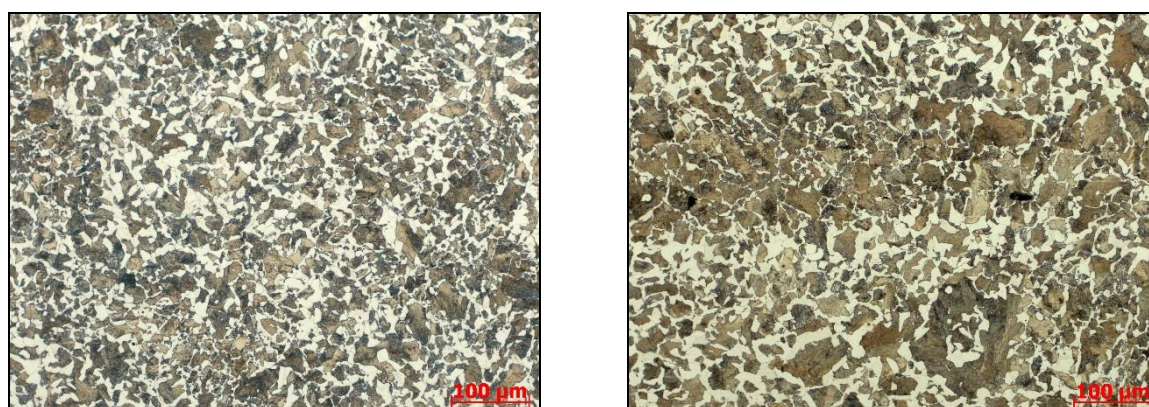


Рисунок 1 – Статистичний аналіз впливу параметрів на значення ударної в’язкості:

- – параметри з прямопропорційним впливом на показники ударної в’язкості,
- – параметри зі зворотньопропорційним впливом на показники ударної в’язкості

Осьові заготовки були виготовлені в умовах одного підприємства, при близьких температурно-часових режимах деформаційної обробки. Головною відмінністю були саме способи виготовлення вихідних безперервнолитих заготовок. У роботі показано, що при ідентичному нормованому хімічному складі сталі та однакової деформаційно-термічній обробці формування особливостей морфології структури гарячекатаного прокату відбувається по-різному (рис. 2).



а

б

Рисунок 2 – Мікроструктури сталі марки ОС після деформації і нормалізації:

- а – не вакуумована конвертерна сталь, $\times 200$;
- б – вакуумована електросталь, $\times 200$

Зразок не вакуумованої осьової сталі конвертерного виробництва має більш однорідну структуру без локальних ділянок скупчення перліту або фериту. Показано, що формування феритної оторочки в ділянках мікросегрегації відбувається не тільки біля сульфідів марганцю, але і виникає на тлі найдрібніших оксидних включень. У зразках електросталі, попри

нижчий вміст сірки і загазованості сталі, спостерігається значна структурна неоднорідність, при цьому навколо сульфідів формується щільний шар перліту.

Визначено, що при виборі оптимального хімічного складу сталі для виготовлення відповідальних деталей залізничного призначення, необхідно брати до уваги спосіб виробництва сталі, вихідні матеріали та технологічні особливості металургійного підприємства, оскільки сталь навіть близького хімічного складу може мати різну природу структуроутворення. Для забезпечення високого комплексу властивостей металопродукції, режими деформаційно-термічного оброблення, застосовувані на сьогодні, вимагають коригування залежно від особливостей виплавки сталі.

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

Babachenko Oleksandr, Tohobytska Daria,
Balakhanova Tetiana, Kononenko Hanna

Abstract. The characteristics of two industrial data sets with chemical composition and mechanical properties of rough railway axles steel samples of OC and EA1N grades are studied. The main difference between the samples was the methods of manufacturing the original continuously cast blanks. Steel brand OC is a converter manufacturing method without undergoing a vacuum operation. EA1N steel is smelted in an electric furnace with a degassing process in a vacuum cleaner. In each sample, two arrays were identified with different reduced and increased values of toughness. Analysis of differences in chemical composition was performed using Student's t-test. It was found, that when choosing the optimal chemical composition of steel for the manufacture of critical parts of the railway, it is necessary to take into account the method of steel production, raw materials and technological features of the metallurgical enterprise, as steel of even close chemical composition may have a completely different structure.

Keywords: railway axes, toughness, chemical composition, mechanical properties, manganese sulfides, microstructure.

**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ВЕКТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ
БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ ДОМЕННОЇ ШИХТИ**

Белькова А.І., Тогобицька Д.М., Степаненко Д.О., Ліхачов Ю.М.

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

Нестабільність шихтових та енергетичних умов сучасної доменної плавки викликає суттєві коливання хімічного складу чавуну та шлаку. Це обумовлює необхідність оперативного прогнозу складу та властивостей продуктів плавки та розв'язання оберненої задачі – оптимізації шихтових та технологічних умов, що забезпечують необхідні техніко-економічні показники процесу виплавки чавуну.

Оптимізація складу доменної шихти полягає у визначенні такого оптимального набору вхідних параметрів завантажувальної подачі, який забезпечить виплавку чавуну необхідного складу при максимальній продуктивності доменної печі, мінімальній витраті коксу або (і) собівартості чавуну. При цьому треба задовольнити всі вимоги, які накладаються в якості обмежень на вхідні (витрати та хімічний склад компонентів шихти) та вихідні параметри, а також на показники, що описують процеси доменної плавки (технологічні обмеження). Доцільність обліку додаткового класу технологічних обмежень, що забезпечують раціональний перебіг агрегатних перетворень у печі та спрямоване формування розплавів необхідного складу та властивостей, зумовлює практичну реальність отриманого рішення при математичному розв'язанні оптимізаційної задачі.

Математична постановка розв'язуваної задачі оптимізації формулюється як знаходження вектора витрат шихтових матеріалів $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, що забезпечує мінімум функції $z(X) = z(x_1, x_2, \dots, x_m)$, де множина X визначається явними обмеженнями $a_i \leq x_i \leq b_i$ при $i = \overline{1, m}$ (1-го роду), а також неявними обмеженнями $g_j(x) \leq l_j$ при $j = \overline{1, h}$ (2-го роду).

В якості цільової функції можуть виступати витрати коксу, продуктивність печі та ін. Слід зазначити, що крім визначення традиційних критеріїв оптимізації може вирішуватися задача оптимізації без функції мети шляхом пошуку області рішення, що забезпечує необхідні граничні умови.

Сформульована задача належить до класу завдань багатокритеріальної умовної нелінійної оптимізації. Особливістю даної задачі є неявне завдання функції мети, оскільки вихідні параметри розраховуються за допомогою алгоритму прогнозування складу та властивостей кінцевих продуктів плавки в залежності від інтегральних показників шихти та технології [1]. Алгоритмічне завдання функцій мети, взаємозалежність вхідних параметрів, виконання всіх обмежень у вигляді нерівностей і рівностей визначає складність алгоритму розв'язання цієї задачі. Перевірка та виконання при пошуку рішення обмежень не тільки на вхідні та вихідні показники, а й на проміжні розрахункові характеристики процесів плавлення та відновлення печі зумовлюють розробку додаткових алгоритмічних прийомів при використанні відомих математичних методів оптимізації.

Жоден з існуючих методів багатовимірної умовної нелінійної оптимізації не є універсальним. Найбільш прийнятним підходом для вирішення задачі багатокритеріальної (векторної) оптимізації в нашому випадку є використання методу деформованого багатогранника з урахуванням умови успішності вибору кроку або напрямку. Перевагою симплекс методу є використання лише значень функції в точках і відсутність розрахунку градієнта, оптимальне рішення знаходиться за рахунок послідовного переміщення та деформування симплексу (N-мірного багатокутника) в області точки екстремуму. Однак симплекс метод та метод деформованого багатогранника (Нелдера - Міда) відносяться до методів безумовної оптимізації.

Комплексний метод Бокса [2] є модифікацією симплексного методу Нелдера – Міда, проте дозволяє враховувати обмеження. Основна ідея комплексного методу Бокса полягає в послідовній заміні сукупності точок деякої конфігурації, віддалених від екстремуму, на більш близькі до нього. На відміну від симплексного методу, у методі Бокса використовується випадковий набір N точок - так званий Комплекс, що складається з $N = 2m$ точок.

На першому етапі методу здійснюється вибір початкової точки - формування вихідного Комплексу, координати якого визначаються за певним правилом із обов'язковим виконанням явних обмежень. У нашому випадку це вказані Користувачем обмеження на витрати матеріалів. У кожній вершині Комплексу виконується перевірка обмежень 2-го роду, тобто. технологічних обмежень у рамках вирішення нашого завдання оптимізації. Якщо в одній з вершин Комплексу обмеження не виконані, здійснюється операція їх

«зміщення» до центру Комплексу, тобто змінюється напрямок вибору координат у допустимій області рішення. Процес зміщення для кожної вершини триває доти, доки не будуть виконані всі обмеження.

Далі відповідно до алгоритму методу Бокса обчислюється значення цільової функції (критерію оптимальності) для всіх вершин Комплексу, вибирається і виключається вершина з найгіршим значенням (з погляду екстремуму), визначається центр нового Комплексу і перевіряється умова закінчення пошуку за певним правилом. Процедура заміни «найгіршої» вершини нової та стиснення Комплексу здійснюється доти, доки буде виконано умову закінчення пошуку, тобто не буде знайдено рішення із заданою точністю.

Для оптимізації складу доменної шихти на основі модифікованих симплекс методів (Бокса, Нелдера – Міда) нами було розроблено алгоритм з урахуванням заданих пріоритетів цільових функцій (критеріїв оптимізації) та взаємозв'язку вхідних параметрів для знаходження оптимальних значень у заданій області обмежень.

Розроблений алгоритм включає процедуру поетапної оптимізації за вищим пріоритетом, аналіз взаємозв'язку вхідних показників та градієнта впливу на задані функції, внаслідок чого знаходиться прийнятне (за Парето) оптимальне компромісне рішення в заданій області обмежень, включаючи облік технологічних обмежень щодо використання різних компонентів у складі шихти.

При вирішенні задачі вибору оптимального складу багатокомпонентної шихти для сучасних умов роботи доменної печі, що працює з використанням пилувугільного палива та природного газу, в якості критеріїв оптимізації обрано максимум виробництва чавуну (Вага чавуну в тоннах) та обмеження на вміст сірки в чавуні, яке для даних технічних умов доменної плавки має знаходитися в межах 0,03-0,035%. Ресурсами оптимізації обрано: вага окатишів (для підвищення виробництва чавуну), вага МОС-2 (для забезпечення стабілізації основності шихти/шлаку) і вміст MgO в агломераті (для поліпшення рідинної рухливості шлаку і поліпшення його десульфуруючої здатності). На вибрані показники накладено обмеження у вигляді діапазону допустимих значень (рис.).

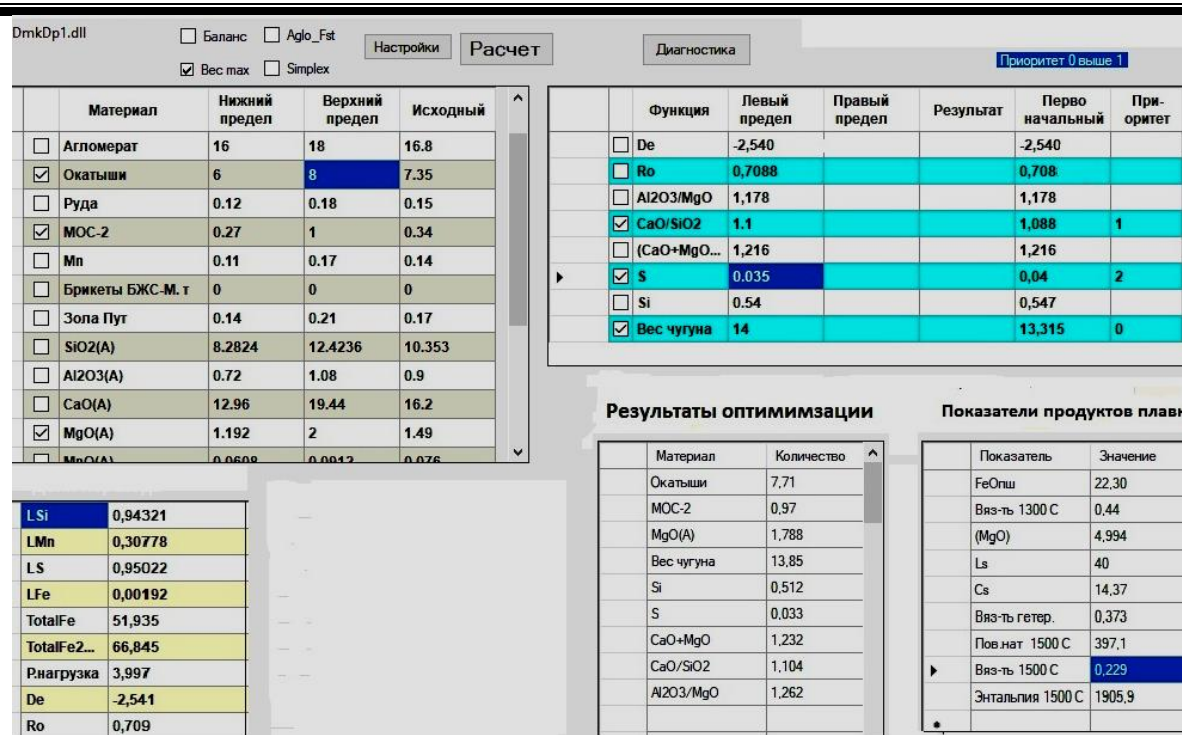


Рисунок – Варіант рішення задачі оптимізації доменної шихти для конкретних умов роботи доменної печі

В результаті роботи алгоритму оптимізації знайдено рішення, що задовольняє обраній цільовій функції в сформованій системі обмежень на вхідні та проміжні параметри. Зокрема, за рахунок підвищення у подачі витрат окатишів з 7,35 до 7,71 тн та добавки МОС-2 з 0,34 до 0,97 тн, а також підвищення вмісту MgO в агломераті з 1,49 до 1,78% може бути збільшено виробництво чавуну з 13,31 до 14 тн. При цьому будуть виконуватися ТУ за хімічним складом чавуну та шлаку: вміст у чавуні кремнію [Si]=0,51% (знизилося на 0,04%), сірки [S]=0,033% (знизилося на 0,011%) та значення основності шлаку CaO/SiO₂=1,1 од. При пошуку рішення виконувалася перевірка та виконання технологічних обмежень, зокрема, на показники сформованих по оптимальному складу подачі первинних і кінцевих розплавів, властивості яких забезпечують нормальне протікання процесів відновлення і плавлення та сприяють високим техніко-економічним показникам плавки.

Таким чином, за допомогою розробленого алгоритму з використанням методів векторної оптимізації знаходиться прийнятне (за Парето) оптимальне компромісне рішення в заданій області обмежень, що дозволяє сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо вибору раціонального складу шихтових матеріалів у сучасних умовах доменного виробництва.

Література

1. Тогобицкая Д.Н. Выбор состава доменной шихты, обеспечивающего направленное формирование жидких продуктов доменной плавки / Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, Д.А. Степаненко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. Днепропетровск. -2016. - № 3. - С. 11-18.
2. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. - М.: Радио и связь, 1988. - 128 с.

SPECIFIC FEATURES OF VECTOR OPTIMIZATION METHODS FOR SELECTING THE OPTIMAL COMPOSITION OF BLAST FURNACE CHARGE

Bielkova Alla, Togobitskaya Daria, Stepanenko Dmytro, Likhachov Yurii

Abstract. Technological and mathematical formulation of the problem of optimizing the composition of multicomponent blast furnace charge, which will ensure the melting of cast iron of the required composition and the given technical and economic indicators of the melting is formulated. The features of the developed algorithm for solving the problem of multicriteria conditional nonlinear optimization with the use of modified simplex methods (Box, Nedler - Mead) are outlined. As a result, an optimal compromise solution in a given area of constraints is found, taking into account a special class of technological constraints, which makes it possible to form scientifically valid recommendations for choosing a rational composition of charge materials in modern conditions of blast furnace production.

Keywords: vector optimization methods, multi-component blast furnace charge, technological constraints, optimality criteria, model.

References

1. Togobitskaya D.N. The choice of blast furnace charge composition, providing directional formation of liquid products of blast furnace melting / D.N. Togobitskaya, A.I. Bielkova, D.A. Stepanenko // *Metallurgical and Mining Industry*. Dnepropetrovsk. -2016. - № 3. - P. 11-18.
2. Bundy B. Methods of optimization. An introductory course. - Moscow: Radio and Communications, 1988. - 128 с.

ВИКОРИСТАННЯ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ В ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА

Бойко Л.Т., Ляшенко І.С.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Вступ. Останні декілька десятиліть дослідники все частіше звертаються до природних алгоритмів пошуку оптимальних розв'язків. Природа відпрацювала ці алгоритми протягом мільйонів років в процесі адаптації флори і фауни до навколишнього середовища.

Мурашиний алгоритм оптимізації є одним із ефективних сучасних алгоритмів для знаходження наближених розв'язків задачі комівояжера, а також розв'язування аналогічних задач пошуку маршрутів на графах. Цей алгоритм моделює колективну поведінку мурашиної колонії під час пошуку їжі. Перша версія цього алгоритму Ant Colony Optimization, (ACO) запропонована Марко Доріго у 1992 році [1]. Через деякий час в літературі було запропоновано декілька модифікацій ACO, серед яких найбільш успішними є: Ant Colony System ACS [2] та Max-Min Ant System MMAS [3].

Постановка задачі комівояжера. Дано множину міст, а також відстань між усіма можливими парами цих міст. Необхідно знайти маршрут, який пролягає через усі міста (лише по одному разу), та повертається у початкове місто, при цьому, сумарна довжина пройденого маршруту має бути мінімальною. Розглядаємо симетричний варіант цієї задачі.

Комп'ютерні експерименти. Розроблена програмна реалізація алгоритмів ACO, ACS, MMAS мовою програмування C# у середовищі Microsoft Visual Studio Community 2019. Програмний продукт є багатопотоковим, тобто під час виконання розрахунків інтерфейс не блокується, що надає можливість керувати процесом виконання алгоритмів, а саме: запусканням, призупиненням, зупиненням, відновленням роботи програми. На рис. 1, 2, 3 показані результати роботи програми на конкретному прикладі кожним із алгоритмів. Результати роботи програми виводяться у вікно інтерфейсу одразу ж після закінчення потрібної кількості ітерацій, або після кожної ітерації, якщо так зручно.

В прикладі максимальна кількість ітерацій – 400; зафіксовано випадковим чином кількість міст – 60; кількість мурах – 20. Результатами роботи програми є:

– візуалізація найкоротшого по довжині знайденого маршруту за останньою ітерацією (ліва частина вікна інтерфейсу);

– графічна залежність довжини найкоротшого маршруту від номеру ітерації (права частина вікна інтерфейсу);

– довжина найкоротшого знайденого маршруту (праворуч знизу);

– найменший номер ітерації, на якій досягається найкоротший маршрут (праворуч знизу).

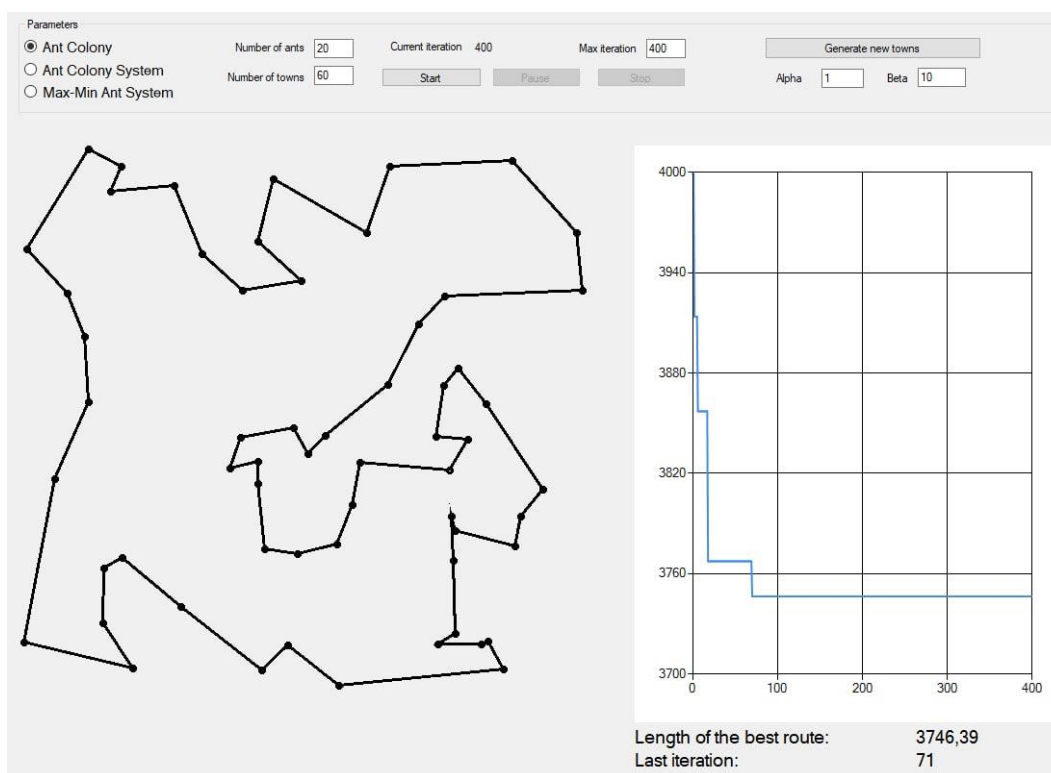


Рисунок 1 – Візуалізація результатів прикладу, добутих з використанням АС алгоритму

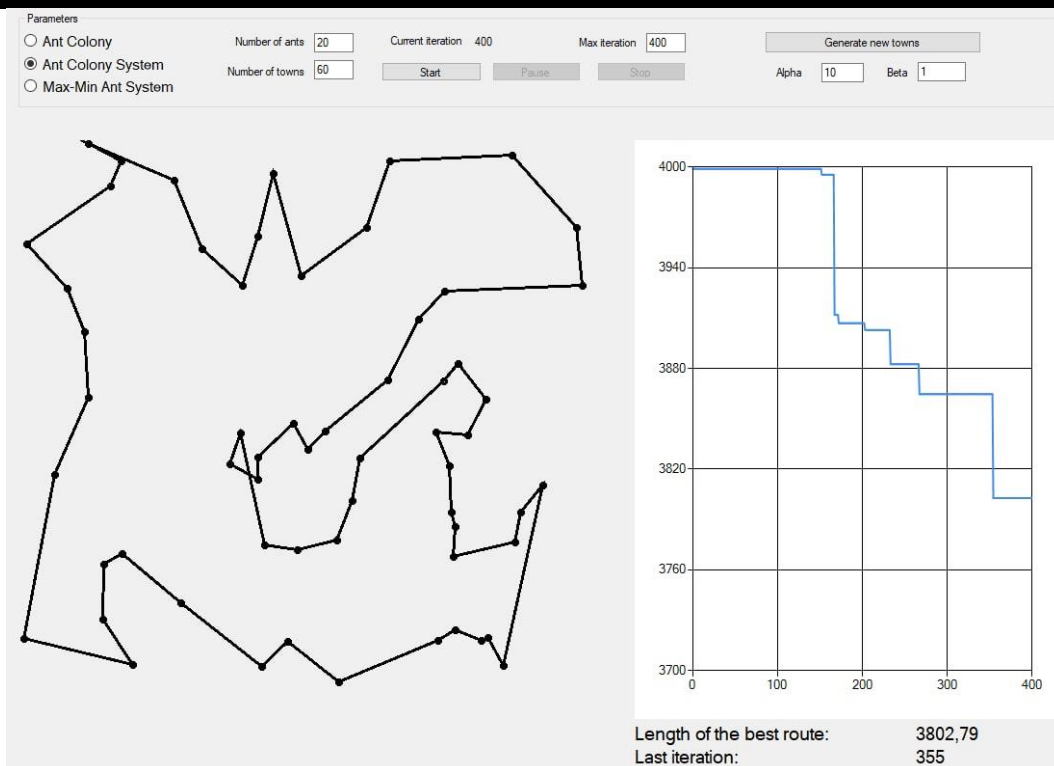


Рисунок 2 – Візуалізація результатів прикладу, добутих з використанням ACS алгоритму

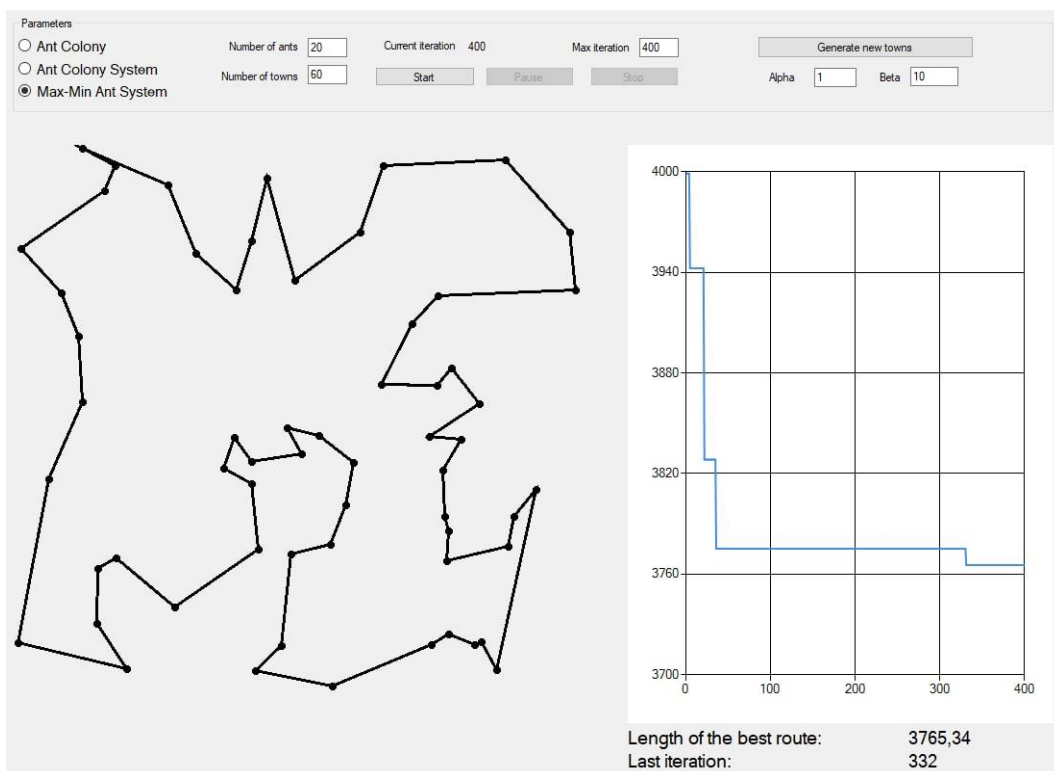


Рисунок 3 – Візуалізація результатів прикладу, добутих з використанням MMAS алгоритму

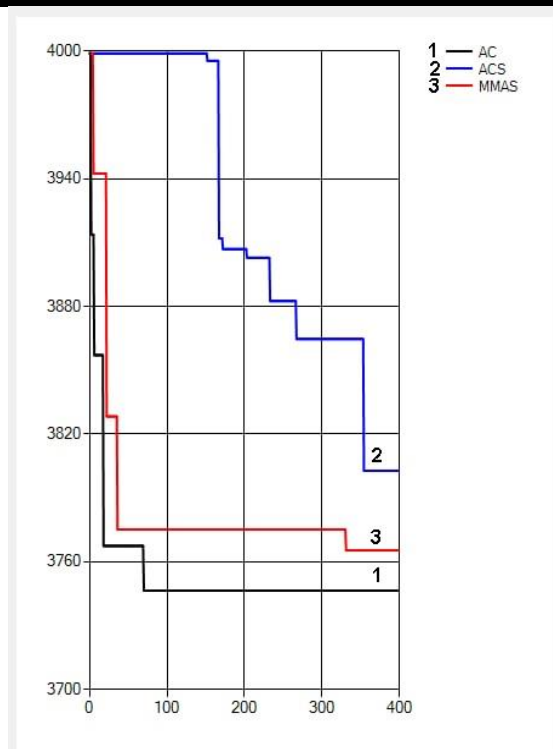


Рисунок 4 – Порівняння результатів прикладу, добутих трьома варіантами мурашиного алгоритму

Як видно з рис.4, всі три алгоритми знаходять близькі довжини найкоротших маршрутів, однак, кількість потрібних для цього ітерацій суттєво відрізняється.

Висновки. Хоча розв'язки, добути мурашиними алгоритмами, є наближеними, однак, при вдало вибраних параметрах налаштування алгоритму ітераційний метод, зазвичай, достатньо швидко дає результат, близький до оптимального.

Література / References

1. Dorigo, M., Stützle, T., Ant Colony Optimization. MIT Press, Cambridge, MA, 2004, 305 p.
2. Dorigo M., Gambardella L. M., Ant colony system: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, v. 1, 1997, p. 53–66.
3. Stützle T., H. H. Hoos., MAX–MIN Ant System. Future Generation Computer Systems, v. 16, 2000, p. 889-914.

THE USE OF ANT OPTIMIZATION ALGORITHM IN THE SALESMAN PROBLEM

Boiko Lidiia, Liashenko Illia

Abstract. A comparative analysis of three algorithms for solving the salesman problem is performed. These algorithms are Ant Colony Optimization (ASO) and its modifications: Ant Colony System (ACS) and Max-Min Ant System (MMAS).

For this purpose, a software implementation of these three ant algorithms has been developed, which simulate the natural behavior of forage ants in finding the shortest path to deliver food to the anthill.

The possibilities of the developed computer program are described. The results of a computer experiment are given on a specific example. The program allows you to visualize the shortest route found by each ant algorithm. A comparative analysis of the results, conclusions about the advantages and disadvantages of the considered ant algorithms.

Keywords: Travelling Salesman Problem, Ant Colony Optimization, Ant Colony System, Max-Min Ant System, software implementation of algorithms.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.041

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ НОВИХ ТИПІВ МЕРЕЖЕВИХ АТАК

Жуковицький І.В., Цикало І.Д.

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

Однією з найважливіших проблем інформаційної безпеки сьогодні є велика кількість атак на комп'ютерні мережі. Проблема ускладнюється появою нових видів таких атак. Один з найбільш відомих методів виявлення атак на основі сигнатур є статичним та вразливим для нових типів атак. Системи виявлення вторгнень, засновані на штучних нейронних мережах (ШНМ), використовуються для виявлення нових типів мережеских атак. Продуктивність будь-якої нейронної мережі залежить від обраних гіперпараметрів. Гіперпараметри ШНМ визначають або її структуру або процес навчання. Огляд наукової літератури показав, що завдання автоматичної оптимізації гіперпараметрів потребує подальшого вирішення. Зокрема, необхідно знизити тимчасову складність оптимізації гіперпараметрів, щоб забезпечити ефективне використання завдань, які включають великі набори даних з великим простором гіперпараметрів, таких як завдання виявлення мережеских вторгнень. Метою даного дослідження є розробка методики вибору гіперпараметрів ШНМ в системі виявлення мережеских вторгнень.

Для експерименту ми обрали найпростішу модель нейронної мережі – багат шаровий перцептрон (MLP). У роботі розглядаються такі гіперпараметри.

1) Структура (топология) MLP, яка визначається кількістю прихованих шарів та кількістю нейронів у кожному шарі.

2) Функція активації кожного нейрона. У цьому дослідженні використовувалися найпопулярніші сучасні функції активації: ReLU, ELU, sigmoid, softplus, softsign та tanh.

3) Алгоритм навчання нейронної мережі: стохастичний градієнтний спуск, AdaGrad, Adadelta, RMSProp, Adam.

4) Розмір пакета на кожному етапі навчання (Batch size).

5) Коефіцієнт швидкості навчання.

У припущенні, що гіперпараметри не впливають один на одного, тобто поверхня багатовимірною простору гіперпараметрів опукла,

запропонований алгоритм, який оптимізує гіперпараметри (вибирає оптимальний набір гіперпараметрів у просторі пошуку) за критерієм максимальної точності ($ACC \rightarrow max$), де точність (ACC) – це відносна кількість правильних класифікацій атак мережі.

Як стартова модель був обраний багат шаровий перцептрон (MLP) $X-64-64-Y$, де X – розмір вхідного вектора, а Y – розмір вихідного вектора. У разі завдання виявлення атаки є єдиний вихідний нейрон із сигмоїдальною функцією активації. При розв'язанні задачі класифікації атак останній мережевий рівень має стільки нейронів з функцією активації softmax, скільки класів мережного трафіку представлено в наборі даних.

Для моделювання ШНМ була використана бібліотека Python – Keras. Всі експерименти проводилися на основі TensorFlow за допомогою графічного процесора.

Як дані для навчання нейронної мережі та тестування були використані набори даних, розроблені для систем виявлення мережевих вторгнень (NIDS) – KDDCup99 та NSL-KDD (удосконалена версія набору даних KDDCup99), зібрані в локальній мережі у лабораторії Лінкольна Массачусетського технологічного інституту DARPA ID Evaluation Group. Також було проведено експерименти з набором даних UNSW-NB15, створеним Австралійським центром кібербезпеки (ACCS) у 2015 році.

Результати експериментів, виконаних запропонованим автоматичним алгоритмом оптимізації гіперпараметрів вимірюються точністю фінальних моделей. Порівняння ефективності класифікації на наборах KDDCup 99 та NSL-KDD запропонованого методу з різними відомими методами класифікації на основі нейронних мереж показані у таблицях 1 та 2. Видно, що запропонований метод дозволив досягти найкращої точності.

Таким чином, запропонований метод автоматичного настроювання гіперпараметрів нейронної мережі дозволяє досягти високих результатів виявлення вторгнень навіть на найпростішій нейронній мережі за умови низьких обчислювальних витрат. Ці результати не поступаються результатам сучасних моделей MLP, де гіперпараметри було підібрано дослідниками вручну. Подальша робота може ґрунтуватися на запропонованому методі та експериментах з додатковими методами налаштування гіперпараметрів, що дозволяють використовувати складніші нейронні мережі, такі як рекурентні нейронні мережі (RNN) або згорткові нейронні мережі (CNN).

Таблиця 1 – Порівняння точності класифікації
вторгнень на наборі даних KDD 99

Стаття	Точність, %
Zhang et al. [1]	99.59
Witten & Mining [2]	97.04
Wang et al [3]	91.97
Запропонований метод	99.98

Таблиця 2 – Порівняння точності класифікації
вторгнень на наборі даних NSL-KDD

Стаття	Точність, %
Yusof et al [4]	91.70
Kim & Gofman [5]	98.50
Hosseini & Azizi [6]	98.80
Kushwah & Ali [7]	96.30
Tang et al [8]	75.75
Wang et al [3]	72.64
Belouch et al [9]	72.99
Запропонований метод	98.85

Література / References

1. Zhang H, Yu X, Ren P, Luo C, Min M. Deep Adversarial Learning in Intrusion Detection: A Data Augmentation Enhanced Framework; 2019. arXiv preprint arXiv:1901.07949.
2. Witten, I. H., & Mining, E. F. D. (2005). Practical machine learning tools and techniques (The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems). San Francisco, CA: Elsevier.
3. Ma, T., Wang, F., Cheng, J., Yu, Y., Chen, X.: A Hybrid Spectral Clustering and Deep Neural Network Ensemble Algorithm for Intrusion Detection in Sensor Networks. Sensors 16(10), 1701 (2016). URL <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/10/1701>
4. A. R. A. Yusof, N. I. Udzir, A. Selamat, H. Hamdan, and M. T. Abdullah. Adaptive feature selection for denial of services (DoS) attack. 2017 IEEE Conf. Appl. Inf. Netw. Secur. AINS 2017, vol. 2018–Janua, pp. 1–4, 2018.
5. D.E. Kim, M. Gofman. Comparison of shallow and deep neural networks for network

intrusion detection. Proceedings of the IEEE Eighth Annual Computing and Communication Workshop and Conference, CCWC 2018, 2018-January (2018), pp. 204-208

6. S. Hosseini, M. Azizi. The hybrid technique for DDoS detection with supervised learning algorithms. *Comput. Netw.*, 158 (2019), pp. 35-45, 10.1016/j.comnet.2019.04.027

7. G.S. Kushwah, S.T. Ali. Detecting DDoS attacks in cloud computing using ann and black hole optimization. Proceedings of the Second International Conference on Telecommunication and Networks, TEL-NET 2017, 2018-January (2018), pp. 1-5, 10.1109/TEL-NET.2017.8343555

8. Tuan A Tang, Lotfi Mhamdi, Des McLernon, Syed Ali Raza Zaidi, and Mounir Ghogho. Deep learning approach for network intrusion detection in software defined networking. In *Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM)*, 2016 International Conference on, pages 258–263. IEEE, 2016.

9. Belouch, M., Hadaj, S.E., and Idhammad, M. (2017). A two-stage classifier approach using RepTree algorithm for network intrusion detection. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(6), 389-394.

METHODS OF USING THE NEURAL NETWORK TO DETECT NEW TYPES OF NETWORK ATTACKS

Zhukovyts'kyi Ihor, Tsykalo Ihor

Abstract. The report discusses methods for tuning the hyperparameters of an artificial neural network in a system for detecting and classifying network intrusions. Assuming that the surface of the multidimensional space of hyperparameters is convex, an algorithm is proposed that selects the optimal set of hyperparameters in the search space according to the criterion of maximum accuracy of network intrusion classification. As a result of experiments using three different network intrusion detection data sets – KDDCup 99, NSL-KDD and UNSW-NB15 - the optimal hyperparameters of the MLP neural network were found. It is shown that the proposed method for automatic tuning of neural network hyperparameters makes it possible to achieve high intrusion detection results even on the simplest neural network under the condition of low computational costs. These results are not inferior to the results of modern models, where the hyperparameters were manually selected by the researchers.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.042

DETECTION OF CARBIDE INCLUSIONS ON DIGITAL IMAGES OF METAL STRUCTURES

Zakharov Oleksandr, Selivorstova Tetiana

Abstract. Is devoted to the development of an information model intended for the analysis of metalstructures digital images with carbide inclusions. The analysis of literary sources is carried out, it is established that the study of metal structures is an important tool for assessing qualitative characteristics. The presence of carbides in the metal structure has a significant impact on its quality. A review of the for studying the structure of a metal is given, and the importance of the stage of metal structures image processing is determined. The main methods for obtaining digital images of the alloy structure are described. Samples of metal structures with carbides are presented. A procedure for digital processing of metalstructures images with kibide inclusions is proposed, which consists of image conversion to grayscale, contrasting, and threshold binarization. Demonstrated results of carbide inclusions determination using digital image processing procedure. The advantages and disadvantages of the approach are shown, directions for improvement are identified.

Keywords: metal structure, carbides, images, digital processing, gray gray images, contrasting, adaptive contrasting, binarization, histogram.

The analysis of microsections requires the involvement of highly qualified experts in the field of materials science, which, in turn, does not exclude the influence of the "human factor". On the other hand, the issues of increasing the objectivity of identifying the properties of metals and alloys require the use of modern data processing methods, for example, artificial intelligence in solving problems of classification and identification of macro and micro structures. The paper presents an overview of studying macro and micro structures containing carbides process, determining the specific features inherent in these images, and proposing an information model for their processing.

The article is devoted to the development of an information model intended for the analysis of metal structures digital images with carbide inclusions. The analysis of literary sources is carried out, it is established that the study of metal structures is an important tool for assessing qualitative characteristics. The presence of carbides in the metal structure has a significant impact on its quality. A review of the

methodology for studying the structure of a metal is given, and the importance of metal structures image processing stage is determined. The main methods for obtaining digital images of the alloy structure are described. Samples of metal structures with carbides are presented. A procedure for digital processing of metal structures images with carbide inclusions is proposed, which consists of image conversion to grayscale, contrasting, and threshold binarization.

An analysis of the results of metal structures processing images made it possible to identify areas with carbide inclusions, however, additional artifacts that were not carbides were found in some images. Balancing by the binarization threshold in this case does not improve the detection of carbide inclusions network due to the lack of contrast. Histograms demonstrate the presence of information features in a wide range of gray colors, so for this class of images, more sophisticated image processing technologies need to be developed.

In the course of digital images features study of metals and alloys metal structures containing carbides, it was: an information model for processing metal structures containing carbide inclusions is proposed; the proposed information model is applied to digital images of metal structures; it was found that some images of metal structures are characterized by low contrast, which leads to the selection of background artifacts, except for areas with carbide inclusions; the development of complex mathematical methods for the detection of carbide inclusions in images of metal structures characterized by low contrast is proposed. Thus, the article shows the results of carbide inclusions of the using the digital image processing procedure. The advantages and disadvantages of the approach are shown, the directions for its improvement are determined.

References

1. Bolshakov V.I., Suhomlin G.D., Lauhin D. V. Atlas struktur metallov i splavov. - Dnepropetrovsk: GVUZ «PGASA», 2010. 174 s.: s il.
2. Comparative Analysis of Image Quality for Low-Light Cameras in Low Light Conditions / J.Kocic, M. Radisavljevic, S. Vujic, I. Popadic. // Proc. of the 60th ETRANConference. – 2016.
3. Kyung-Woo K. Evaluation of camera performance using ISO-based criteria / K. Kyung-Woo, P. Kee-Hyon, H. Yeong-Ho. // 16th Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings. – 2008. – C. 238–242.

ВПЛИВ ВАНТАЖОНАПРУЖЕНОСТІ НА КІЛЬКІСТЬ ПРИЗНАЧЕНЬ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ

Нестеренко Г.І.¹, Музикін М.І.¹, Кузьменко А.І.²

¹Український державний університет науки і технологій, Україна

² Університет митної справи та фінансів, Україна

Abstract. In addressing many issues of operation and design of railways of great importance is the correct assessment of the impact of the mass of freight trains on the organization of traffic and related technical and economic indicators of operational work - idle cars at train formation and processing stations. The most accurately these indicators can be determined by drawing up a plan for the formation of trains of a given railway line. However, in the planned calculations, especially promising, the necessary initial data for the formation of the formation plan is not and have to use other ways to solve the problem. The main principle of drawing up a plan for the formation of trains is to compare the cost of car-hours under accumulation and in processing. In the case when the idle time of wagons in processing exceeds the simple one under accumulation, it is usually advisable to allocate additional purpose for the formation of trains.

Keywords: train formation plan; load tension; car traffic; train weight; simple wagons.

Вступ. При вирішенні багатьох питань експлуатації та проектування залізниць велике значення має правильна оцінка впливу маси вантажних поїздів на організацію вагонопотоків і пов'язані з цим техніко-економічні показники експлуатаційної роботи – простій вагонів на станціях формування та переробки поїздів.

Найбільш точно зазначені показники можуть бути визначені шляхом складання плану формування поїздів заданої залізничної лінії. Однак при планових розрахунках, особливо перспективних, необхідних вихідних даних для складання плану формування немає і доводиться користуватися іншими способами вирішення задачі.

До останнього часу при техніко-економічних розрахунках вплив маси

поїзда на умови просування вагонів оцінювався лише за простим вагонів під накопиченням без урахування впливу зміни маси поїзда на план формування. При цьому число призначень формування поїздів приймалося постійним, незалежно від маси поїзда і потужності вантажопотоку, іноді навіть незалежно від залізничної лінії.

Дійсно, маса поїзда, як це впливає з самої основи складання плану формування поїздів, істотно впливає на кількість призначень формування поїздів, а відповідно і на кількість струменів вагонопотоків, що накопичуються, і переробку вагонів на попутних технічних станціях.

Основний матеріал. Простий вагонів на станціях під накопиченням у вагоно-годинах за добу визначається, як відомо, добутком параметра накопичення, кількості призначень поїздів, що формуються на станції, середньої маси поїзда брутто і все це ділиться на середню масу вагону брутто. За умови потрійної кількості призначень поїздів, що формуються на станції, зміна маси поїзда викликає пропорційну зміну часу накопичення вагонів.

Так зазвичай і приймається у розрахунках в теперішній час. Але це має місце лише в умовах постійного плану формування поїздів при різних масах поїздів, що в загальному випадку не відповідає дійсності.

Якщо до підвищення маси поїзда кількість призначень плану формування відповідала найвигіднішому за витратою вагоно-годин плану формування (оптимальному плану), то при підвищенні маси поїзда деякі призначення плану формування можуть виявитися вже невиправданими з точки зору економії в переробці вагонів на попутних станціях.

Дійсно, при збільшенні маси поїзда простий вагонів під накопиченням збільшується, а економія від усунення переробки вагонів на попутних технічних станціях дещо скорочується внаслідок зменшення обсягу маневрової роботи. Саме тому виділення деяких менш потужних струменів вагонопотоку в окремі призначення формування стає невиправданим.

Звідси впливає, що для приведення плану формування до оптимального виду необхідне при підвищенні маси поїзда коригування плану у бік зняття деяких найменш потужних призначень формування поїздів. При цьому переробка вагонів на попутних технічних станціях збільшиться. Простий

вагонів під накопиченням при скоригованому плані буде меншим, ніж до коригування, але вищим, ніж до підвищення маси поїзда. Загальні витрати вагоно-годин під накопиченням та в переробці внаслідок коригування, зазвичай, скорочуються.

Зменшення маси поїзда надає аналогічний вплив на план формування поїздів, але з коригуванням його в напрямку збільшення числа призначень. Коригування вихідного плану формування, викликане підвищенням маси поїзда, призводить до порушення оптимальності плану формування і, отже, збільшення загальної витрати вагоно-годин (вагоно-години переробки вагонів збільшуються на порядок більше, ніж скорочується простій під накопиченням). Підвищення маси поїзда при скоригованому плані формування збільшить простій вагонів під накопиченням.

Таким чином, підвищення маси поїзда і відповідне коригування плану формування призводять до збільшення загальної витрати вагоно-годин.

Численні коригування планів формування поїздів, пов'язані з підвищенням маси поїзда, засвідчують, що приріст вагоно-годин, викликаний підвищенням маси поїзда, при постійному плані формування скорочується завдяки коригуванню плану приблизно вдвічі. Звідси випливає, що загальна витрата вагоно-годин при підвищеній масі поїзда та скоригованому плану формування може бути прийнята приблизно рівної середньоарифметичній величині між витратою вагоно-годин до і після підвищення маси поїзда при незмінному (вихідному) плані формування поїздів.

Основним принципом складання плану формування поїздів є співставлення витрат вагоно-годин під накопиченням та у переробці. У випадку, коли простій вагонів у переробці перевищує простий під накопиченням, зазвичай доцільним виявляється виділення додаткового призначення формування поїздів. І, навпаки, якщо простій вагонів під накопиченням перевищує наведені вагоно-години переробки вагонів, виникає питання про відмову про виділення деяких менш потужних призначень формування з метою зменшення витрат вагоно-годин під накопиченням при деякому збільшенні обсягу переробки вагонів. Така тенденція до зрівняння простоїв вагонів під накопиченням та у переробці проявляється досить чітко

через мережу залізниць загалом.

Висновки. Число призначень формування поїздів тісно пов'язане з потужністю окремих струменів вантажопотоку, а значить, і із загальними розмірами вантажопотоку даної лінії, тобто з її вантажонапруженістю. Чим більший загальний вантажопотік на даній лінії, тим більше струменів вагонопотоків може бути виділено для формування поїздів в окремі призначення.

При техніко-економічних розрахунках, крім визначення витрат наведених (з урахуванням витрат на маневри) вагоно-годин, необхідно також визначення фактичного простою вагонів на станціях для встановлення впливу маси поїзда на потребу в парку вагонів. Дійсна витрата вагоно-годин може бути отримана з витрат наведених вагоно-годин, зменшених на різницю наведених і фактичних вагоно-годин під час переробки.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.043

СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЗАЄМОДІЇ НЕІГРОВИХ ПЕРСОНАЖІВ НА ОСНОВІ ХАРАКТЕРИСТИК ОСОБИСТОСТІ

Островська К.Ю., Карпенко О.В.

Український державний університет науки і технологій

Навчально-науковий інститут промислових та бізнес технологій

Жодну сучасну гру неможливо уявити без штучного інтелекту (ШІ), будь то пошук найкращого маршруту, прийняття рішень чи взаємодія з персонажами та оточенням. За останні кілька років інтерес до ШІ у сфері комп'ютерних ігор значно зріс, при цьому все більше уваги приділяється соціальним взаємодіям та поведінці не ігрових персонажів, зокрема, на ігрових конференціях [1, 2].

Соціальне моделювання (Social simulation), як галузь науки, стала розвитком ідей A-Life але щодо взаємовідносин та взаємодій між індивідами. На даний момент соціальне моделювання та взаємодії є окремою областю розвитку, та грають особливу роль. У статтях пишуть, що питання моделювання циклів життя співтовариств, прогнозування поведінки тих чи інших соціальних спільностей є на даний момент чи не найгострішими, а результати подібних досліджень затребуваними в багатьох сферах.

Однією із таких сфер є ігрова індустрія.

Найяскравішими прикладами застосування технік соціального моделювання є ігри жанру Role-Playing Game (RPG). Такі серії ігор, як Baldur's Gate, Fallout, The Elder Scrolls.

У сучасних іграх складно знайти адекватну систему взаємодії персонажів поза увагою гравця, а існуючі підходи не включають у реалізацію залежності від особистісних характеристик, що дозволить наблизитися до більш реалістичної моделі поведінки оточення. Пов'язано це насамперед зі складністю моделювання соціальних процесів, значна частина яких не вкладається в рамки раніше розроблених схем та потребує теоретичного осмислення відповідно до існуючої соціальної дійсності.

Метою роботи є реалізація бібліотеки для інтелектуальної взаємодії між неігровими персонажами на основі характеристик їхньої особистості.

Взаємодія зовнішніх акторів з підсистемою представлена у вигляді діаграми прецедентів.

Варіанти використання системи зображено на рисунку 1.

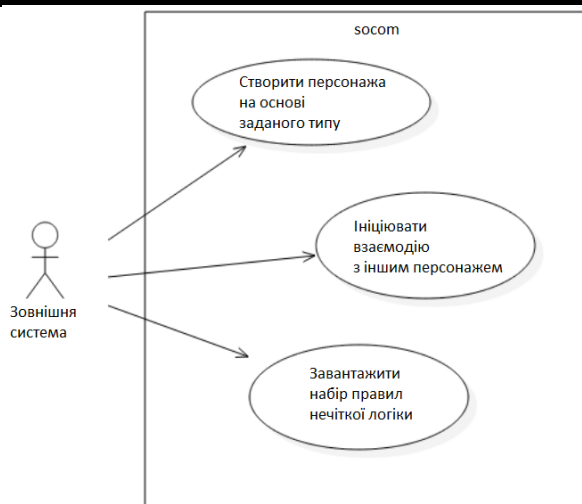


Рисунок 1 - Діаграма прецедентів

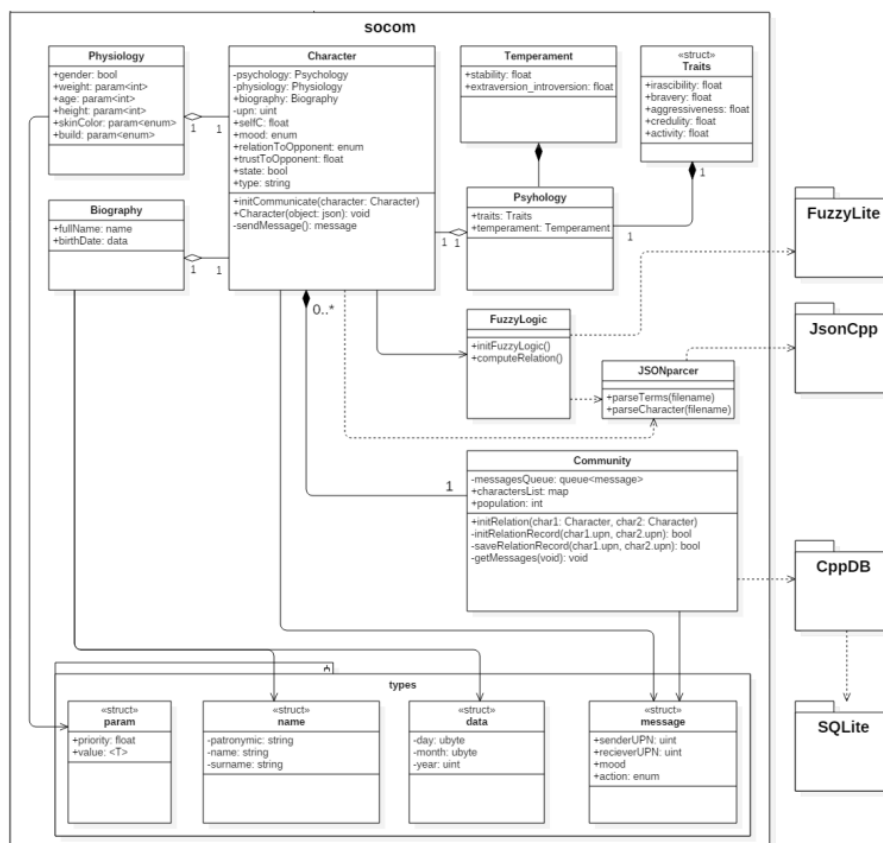


Рисунок 2 - Діаграма класів

Основним актором є зовнішня система, яка використовує бібліотеку. Для неї у вигляді API доступні такі варіанти використання:

- "Створити персонажа на основі заданого типу" - система створює персонажа із заданого ним JSON файлу, при цьому додає його до спільноти.
- «Ініціювати взаємодію з іншим персонажем» – здійснюється надсилання заданого системою повідомлення від одного персонажа іншому.

– «Завантажити набір правил нечіткої логіки» – завантаження заданого набору правил нечіткої логіки з файлу JSON. Вхідними є ім'я файлу.

Структура програми та залежності між класами в системі наведено на рисунку 2.

Проект являє собою бібліотеку, що підключається, написану мовою C++.

Написання та налагодження програми проводилося в середовищі розробки CLion: компілятор g++, наладчик gdb, складання на основі CMake. В якості сторонніх бібліотек було використано: FuzzyLite, SQLite, CppDB та JSONCPP.

Робота присвячена реалізації бібліотеки для інтелектуальної взаємодії між неігровими персонажами на основі характеристик їхньої особистості. були отримані такі результати: 1) проведено аналіз теоретичної інформації та виявлено вимоги до системи; 2) спроектовано архітектуру системи, її базу даних, алгоритми, діаграму класів; 3) реалізовані алгоритми побудови взаємин між персонажами, використовуючи нечітку логіку; 4) реалізовано побудову графа, що відображає соціальні зв'язки між персонажами.

Література / References

1. Mateas M. Expressive AI: Games and Artificial Intelligence. // Level Up: Digital Games Research Conference. Netherlands, 4-6 November 2003 / The Georgia Institute of Technology, 2003. – P. 320-334.
2. Stern A. AI Beyond Computer Games // AAAI Spring Symposium , 18-22 July 1999 / AAAI Press, 1999. – P. 77-80.

SYSTEM OF INTELLECTUAL INTERACTION OF NON-GAME CHARACTERS BASED ON PERSONALITY CHARACTERISTICS

Ostrovska Kateryna, Karpenko Oleksii

Abstract. The work is devoted to the implementation of a library for intellectual interaction between non-player characters based on the characteristics of their personality. the following results were obtained: 1) the analysis of theoretical information was carried out, and the requirements for the system were identified; 2) the architecture of the system was designed, its database, algorithms, class diagram; 3) implemented algorithms for building relationships between characters using fuzzy logic; 4) the construction of a graph reflecting the social connections between the characters has been implemented.

ВИКОРИСТАННЯ МЕХАНІЗМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ
АУТЕНТИФІКАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАГОНІВ

Пашук В.В., Жуковицький І.В.

*Дніпровський інститут інфраструктури та транспорту Українського
державного університету науки і технологій, Україна*

Abstract. Previously, intelligent technologies of transportation processes were used, which contain a number of elements of automatic data collection on transportation conditions, process modeling, compared to templates or regulations, recognition of emergencies or conditions and opportunities for their occurrence, forecasting transport systems and transportation planning.

Now, for the task of recognizing freight car numbers, the mechanism of using convolutional neural networks (CNN) is best suited.

Convolutional neural networks are a fairly broad class of architectures, the main idea of which is to reuse the same parts of the neural network to work with different small, local areas of inputs.

The basic idea of the convolutional network is that the processing of an image area should very often take place regardless of the specific location of this area. It is the use of this network that solves a number of shortcomings and problems of many modern information reading systems, which were mentioned above.

Keywords: identification, artificial intelligence, authentication, automation, convolutional neural networks.

На даний момент в системах залізничного транспорту потребується ідентифікація номерів вантажних вагонів, що дозволяє оперативно отримувати інформацію про параметри (номер, тип та ін.) вагонів, локомотивів та іншого рухомого складу в реальному режимі часу. Завдяки цьому стає можливим впровадження нових концепцій системи технічного обслуговування та ремонту. При цьому існує ряд недоліків та проблем:

- ненадійне зчитування на забрудненому номері вагону рухомого складу;
- несприятливі погодні умови;
- слабке або нечітке освітлення прожекторів у темну годину доби;
- недостатньо потужна робота датчиків та відеоадаптерів під час безпосереднього зчитування номера вагону.

Основний матеріал. Зупинимося на проблемах стеження за рухом вантажів: відстеження товарів передбачає в будь-який час в режимі “реального часу” можливість отримання інформації про стан транспортних засобів, що перевозять товари та/або про становище самих товарів або їх контейнерів, а також про умови перевезення. Моніторинг має логічний зв'язок з попередженням аварій.

Раніше застосовувалися інтелектуальні технології процесів перевезень, які містять ряд елементів автоматичного збору даних про умови перевезень, моделюванні процесів, порівняно з шаблонами або ж з нормативами, розпізнавання позаштатних ситуацій або умов і можливостей їх виникнення, прогнозування станів транспортних систем і планування перевезень та ін.

Для ІТС характерна наявність елементів автоматичного:

- збору даних про умови перевезень;
- моделювання процесів;
- порівняння з шаблонами, нормативами;
- розпізнавання позаштатних ситуацій або можливостей їх виникнення;
- планування процесів перевезень та ін.

Зараз же для задачі розпізнавання номерів вантажних вагонів найкраще підійде механізм використання згорткових нейронних мереж (CNN).

Згорткові нейронні мережі — це досить широкий клас архітектур, основна ідея яких полягає в тому, щоб перевикористати одні й ті ж частини нейронної мережі для роботи з різними маленькими, локальними ділянками входів. Як і багато інших нейронних архітектур, згорткові мережі відомі досить давно, і в наші дні у них вже знайшлося дуже багато найрізноманітніших застосувань, але основним додатком, заради якого люди колись придумали згорткові мережі, залишається обробка зображень.

Основна ідея згорткової мережі полягає в тому, що обробка ділянки зображення дуже часто має відбуватися незалежно від конкретного розташування цієї ділянки. Саме застосування цієї мережі якраз і вирішує ряд недоліків та проблем багатьох сучасних систем зчитування інформації, які були зазначені вище.

Висновки. Раніше застосовувалися інтелектуальні технології процесів перевезень, які містять ряд елементів автоматичного збору даних про умови перевезень, моделюванні процесів, порівняно з шаблонами або ж з

нормативами, розпізнавання позаштатних ситуацій або умов і можливостей їх виникнення, прогнозування станів транспортних систем і планування перевезень та ін.

Зараз же для задачі розпізнавання номерів вантажних вагонів найкраще підійде механізм використання згорткових нейронних мереж (CNN).

Література

1. Скалозуб В.В., М.С. Чередниченко - Економіко-математичне обґрунтування потреби в вагонних парках операторів залізничного транспорту // Вісник Дніпровського інституту інфраструктури та транспорту Українського державного університету науки і технологій – Дніпропетровськ 2010, Вип.31 – С. 240-248.
2. Modern Transport Telematics / Ed. Jerzy Mikulski // 11 th International Conference on Transport Systems Telematics, TST 2011. Katowice-Ustron, Poland, October 19-22, 2011. - 418 p.
3. Жуковицький І.В., Автоматизована ідентифікація рухомих одиниць та потяга в цілому / І.В. Жуковицький, О.Й. Єгоров // Інформаційно – керуючі системи на залізн. трансп. - 2012. - №6. - С.77-82.
4. Graves A., Schmidhuber J. Framewise Phoneme Classification with Bidirectional LSTM and Other Neural Network Architectures // Neural Networks, 2005, vol. 18, no. 5-6. — P. 602–610.
5. Graves A., Wayne G., Danihelka I. Neural Turing Machines // arXiv, 2014. <http://arxiv.org/abs/1410.5401>.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.044

ВИГОТОВЛЕННЯ РЕЙКОВОЇ СТАЛІ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

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

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепр

Процес експлуатації транспортних засобів визначає взаємодія колеса і рейки. Від параметрів цього багато в чому залежать безпека руху та основні техніко-економічні показники експлуатації 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 [1-2], яке, в свою чергу може призводити до катастрофічних результатів для локомотивного господарства. Також в процесі експлуатації рейки [1-2] в більшості випадків утворюються дефекти, що мають характер складнонавантаженого стану: його головка піддається зношуванню, зминанню, розтріскуванню і викришуванню, в металі можуть розвиватися контактнo-втомні пошкодження [3].

З досліджень останніх років [4-5] відомо, що міцність перлітних рейкових сталей досягла межі. Крім того, збільшення вмісту вуглецю вплине на ударну в'язкість та зварюваність матеріалів рейок [6]. Наприклад, у порівнянні з рейкою з доевтектоїдної сталі R200 вимоги до відносного подовження для рейки з заевтектоїдної сталі R400HT знижуються 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 матеріалів.

Для виконання поставленого завдання і досягнення рекомендованих меж за хімічним складом для нових розроблених складів сталі був обраний найбільш відповідний варіант шихтового матеріалу для можливості доведення до потрібних меж за вмістом легуючих елементів. Для забезпечення необхідних показників в досліджуваних варіантах і відсутності небажаних домішок, присутніх в рядовому брухті в якості вихідної сировини вибрали метал катаного пруту.

За результатами моделювання впливу хімічних елементів на механічні властивості конструкційних сталей були розроблені чотири варіанти дослідних

сталей (табл. 1). Сталь 1 за хімічним складом базових елементів відповідає сталі 45ХГС з додаванням V. Сталь 2 за хімічним складом базових елементів відповідає сталі 30ХГС з додаванням Мо та V. Сталь 3 з хімічним складом повинна забезпечити після термічної обробки формування однорідної структури бейніту з високим рівнем механічних властивостей. Сталь 4 хімічного складу відрізняється від сталі 2 додаванням Мо, V; а Si та Mn - до 1,5 та 1,7% відповідно, які будуть вводитися для забезпечення після термічної обробки формування структури безкарбідного бейніту.

Таблиця 1 – Рекомендований хімічний склад дослідних лабораторних плавок, % мас.

Дослідні плавки	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Al	Ni
Сталь 1	0,26-0,36	0,9-1,3	0,7-1,1	0,4-1	0,15-0,2	0,01-0,15	0,01-0,02	≈0,05
Сталь 2	0,26-0,36	0,9-1,3	0,7-1,1	0,4-1	0,15-0,2	0,01-0,15	0,01-0,02	≈0,05
Сталь 3	0,4-0,52	1,2-1,7	1,1-1,5	1-1,4	0,2-0,25	0,15-0,25	0,01-0,02	≈0,05
Сталь 4	0,26-0,36	1,2-1,7	1,1-1,5	0,4-1	0,15-0,2	0,15-0,2	0,01-0,02	≈0,05

Виплавка дослідних плавок проводилася шляхом переплавлення 8,5-9,0 кг металеві шихти з катаного пруту. Металеву шихту розігрівали в печі протягом 40 хвилин до температури точки Кюрі (режим роботи печі в цей період був максимальний, що пов'язано з фізичними умовами передачі електричної енергії металевій шихті), після чого протягом 1,5 годин метал нагрівали до його повного розплавлення. Розігрів розплавленого металу здійснювали ще протягом 30 хв, після чого його виливали в графітовий тигель, який був попередньо підготовлений. На рисунку 1 представлений загальний вигляд дослідних злитків. Фактичний хімічний склад дослідних лабораторних злитків наведено в табл. 2

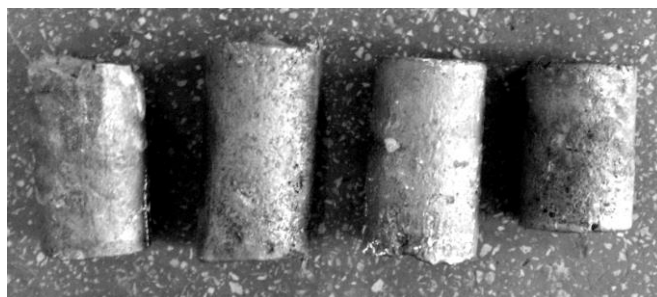


Рисунок 1 - Загальний вигляд дослідних злитків

Таблиця 2 – Фактичний хімічний склад дослідних плавок, % мас,

№ злитка	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	V
Сталь 1	0,471	0,59	0,9	0,026	0,029	1,01	0,15	0,03	0,02	0,029	0,077
Сталь 2	0,378	1,02	1,38	0,027	0,02	0,77	0,192	0,037	0,018	0,028	0,095
Сталь 3	0,377	1,42	1,56	0,012	0,015	1,17	0,212	0,04	0,03	0,028	0,238
Сталь 4	0,379	1,11	1,35	0,028	0,024	0,74	0,178	0,036	0,039	0,031	0,15

Фіксація швидкості охолодження дослідних злитків проводилась за допомогою пірометра. На підставі отриманих даних було побудовано графік зміни температури в момент часу охолодження дослідних злитків (рис. 3).

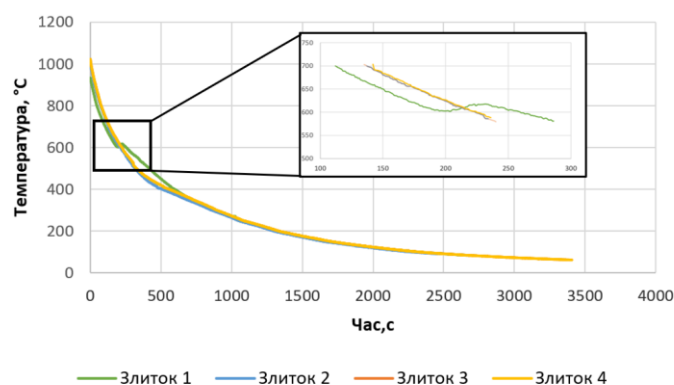


Рисунок 3 – Зміна температури при охолодженні злитків, з визначеними піками збільшення температури за рахунок фазових переходів

Висновок. В лабораторних умовах ІЧМ НАНУ були виготовлені злитки різного хімічного складу. Проведені дослідження зміни температури в процесі охолодження злитку після кристалізації.

Література

1. Воробьев А. А. Исследование напряженного состояния пятна контакта колеса и рельса / А. А. Воробьев. // Вестник ИрГТУ. – 2009. – С. 42–47.
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.И., Долженков И.Е., Зайцев А.В. «Оборудование термических цехов. технологии термической и комбинированной обработки металлопродукции». Изд.2-е. Днепропетровск. РИА Днепр-VAL. 2010 г. -619с
4. Babachenko, O.I., Kononenko, H.A., Podolskyi, R.V. et al. Steel for Railroad Rails with Improved Operating Properties. Mater Sci 56, 814–819 (2021).

5. Бабаченко. О. Кононенко. Г.. & Подольський. Р. (2021). Розробка розрахункової моделі зміни температури рейкової сталі К76Ф для визначення параметрів термічної обробки. *Science and Innovation*. 17(4). 25–32. <https://doi.org/10.15407/scine17.04.025>
6. S. Sharma. S. Sangal. K. Mondal. Wear behaviour of bainitic rail and wheel steels. *Mater. Sci. Technol.* 32 (4) (2016) 266–274.

PRODUCTION OF NEW GENERATION RAIL STEEL

Podolskyi Rostislav, Safronova Olena, Merkulov Oleksiy, Kononenko Ganna

Abstract. Based on research in recent years, it is known that the strength of pearlitic rail steels has reached the limit. Therefore, there is an urgent need for other alternative materials. Bainitic steel, which provides both high strength and excellent ductility, is considered one of the most promising areas. To fulfill this task, four variants of experimental steels were developed. Ingots with different alloying systems were manufactured in the laboratory conditions of the ISI NASU. Studies of the influence of cooling rate, temperature and cooling duration on the formation of the microstructure of experimental steels have been carried out.

Keywords: rail steels, bainite, smelting, rail, chemical composition.

References

1. Vorob'ev A. A. Issledovanie naprjazhennogo sostojanija pjatna kontakta koleasa i rel'sa / A. A. Vorob'ev. // *Vestnik IrGTU*. – 2009. – S. 42–47.
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. Bol'shakov V.I., Dolzhenkov I.E., Zajcev A.V. «Oborudovanie termicheskikh cehov. tehnologij termicheskij i kombinirovanoj obrabotki metalloprodukcii». Izd.2-e. Dnepropetrovsk. RIA Dnepr-VAL. 2010 g. -619s
4. Babachenko, O.I., Kononenko, H.A., Podolskyi, R.V. et al. Steel for Railroad Rails with Improved Operating Properties. *Mater Sci* 56, 814–819 (2021).
5. Babachenko O. ., Kononenko Г., & Podolskyi P. (2021). Development of a model for calculating changes in k76f rail steel temperature to determine the heat treatment parameters. *Science and Innovation*, 17(4), 25–32. <https://doi.org/10.15407/scine17.04.025>
6. S. Sharma. S. Sangal. K. Mondal. Wear behaviour of bainitic rail and wheel steels. *Mater. Sci. Technol.* 32 (4) (2016) 266–274.

INVESTIGATION OF A UNIVERSAL PULLER OF BEARINGS WITH SOLIDWORKS

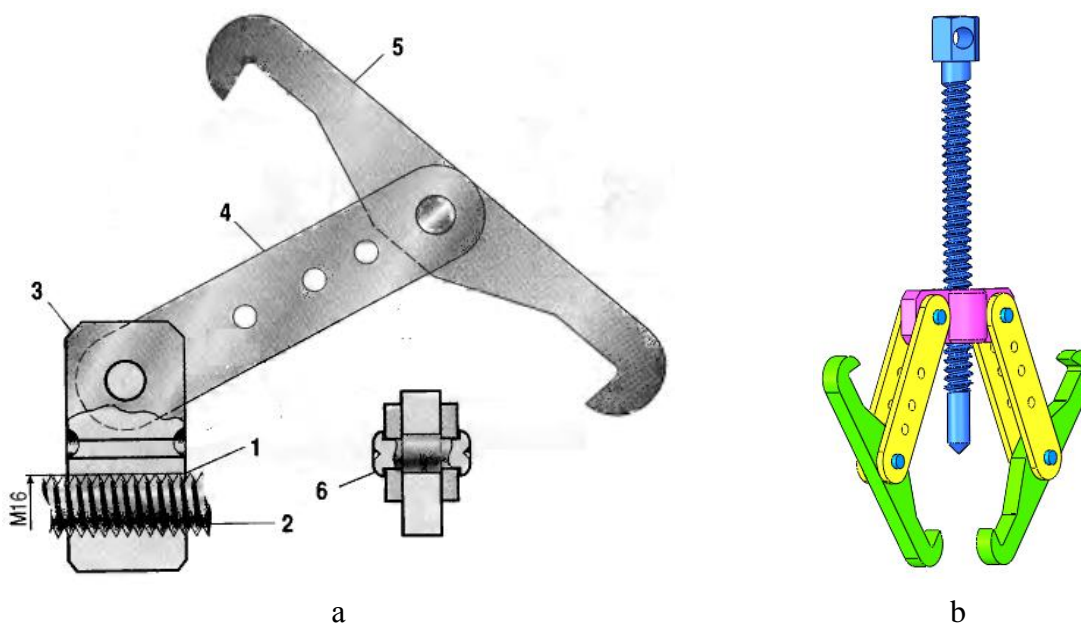
Rudyk Oleksandr, Kaplun Pavlo, Honchar Volodymyr

Khmelnytsky National University

There are many machines and mechanisms whose work is based on the movement of parts. Basically, moving parts and units are mounted on bearings, which require maintenance as they work. The assemblies can be twisted with minimal effort, but there are situations where the bearing has not been removed for a long time or it has oxidized. A hammer and a chisel can be used to dismantle it, but there is a possibility of damage to bearing parts, as well as injuries to the mechanic [1].

The bearing is a rather complicated and expensive part, so it is better to use a special stripper to avoid damage, chips and nicks. Although it is possible to remove the bearing by knocking out the inner holder, but this requires a sleeve clearly the size of the inner part of the bearing. And if the bearing is stuck, it is practically impossible and technically incorrect to remove it in this way. Thus, in any car service that deals with the chassis of the car, there must be a set of bearing removers [1].

Consider the universal puller, shown in fig. 1 [2]. Gripper 5 is made with two legs: since the ends of the gripper are the same, the second acts as a spare (just screw the screw into the nut 1 on the other side).



1 – nut; 2 – screw; 3 – plate; 4 – serga; 5 – delight; 6 – axis

Figure 1 – Assembly drawing of the universal puller with delight (a) and its 3D model (b)

The aim of the study was to determine the maximum force that can be applied to the grip 5 (fig. 1) with the allowable margin of safety $[n] = 3$. To do this, we used SolidWorks, which is a system of hybrid (solid and surface) parametric modelling. It is designed for the design of parts and assemblies in three-dimensional space (3D-design), as well as for the design documentation [3].

SolidWorks Simulation was used for engineering calculations – it is a software solution that is fully integrated into the SolidWorks 3D working environment [4].

Thus, in SolidWorks created a 3D-model of the delight (fig. 2, b), and in SolidWorks Simulation assigned its material (steel 45 GOST 535-88), fixed and set the area of its load. Next steps [5] – the system identified contact interactions and created a finite element model of delight (fig. 3).

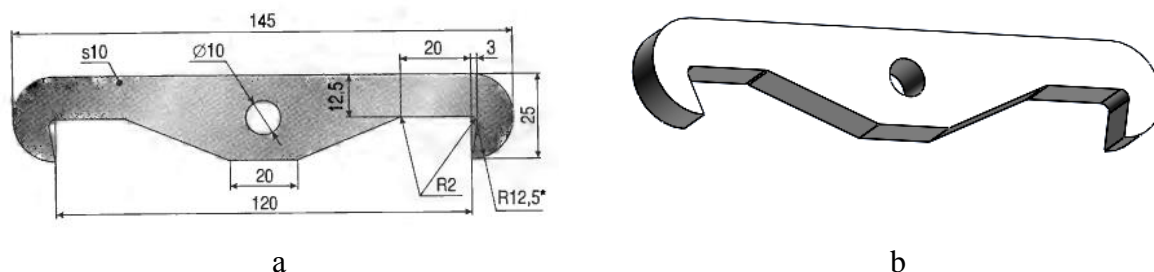


Figure 2 – Drawing (a) and 3D-model of delight (b)

Сетка Детализация	
Имя исследования	Статический 2 (По умолчанию)
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана для сетки высокого качества	4 точек
Размер элемента	2,92299 mm
Допуск	0,146149 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	12111
Всего элементов	7441
Максимальное соотношение сторон	4,6589
Процент элементов с соотношением сторон < 3	99,6
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0
Процент искаженных элементов	0
Число искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:05

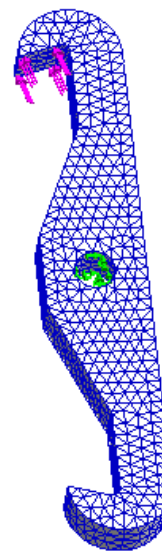


Figure 3 – Parameters of the grid (a) and its display on the delight (b)

Given the connections between the elements, SolidWorks Simulation software created algebraic equations. They associate the reaction with the material's properties, limitations, and loads. After arranging the equations into the general system were unknown (fig. 4).

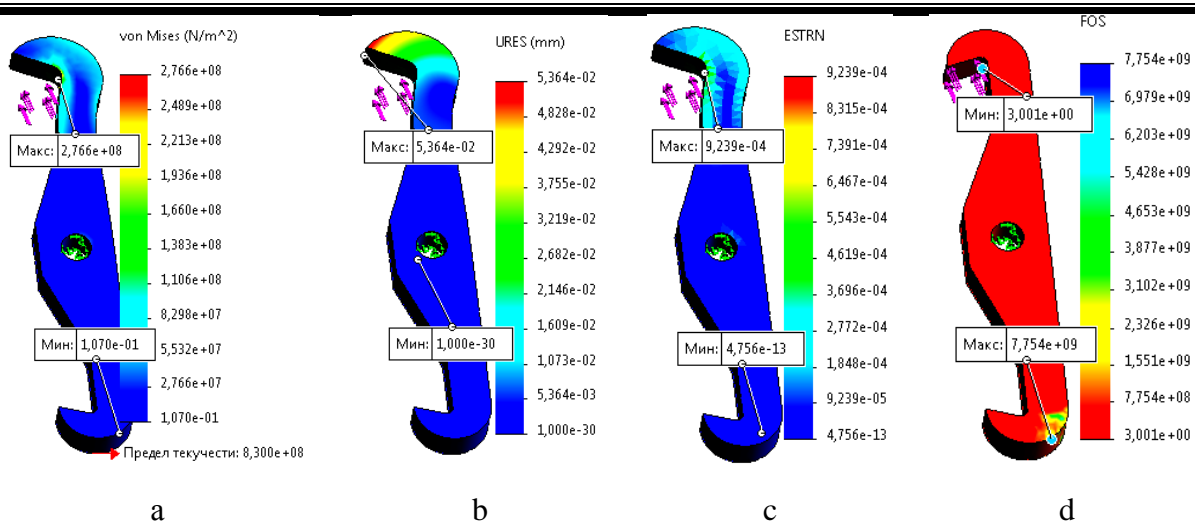


Figure 4 – Plot of total von Mises stresses (a), URES displacements (b), equivalent ESTRN strains (c), FOS delight strength margin (d)

Therefore, for the considered delight of the universal bearing puller, the maximum force that will not lead to safety violations (with the minimum allowable margin of safety $[n] = 3$) will be 1978 N (for one delight).

The obtained results confirm the relevance of the study in determining the maximum force that can withstand the delight at $[n] = 3$. But, first, it is necessary to establish which bearings (according to the assembly drawing of the universal puller) can be dismantled without damaging their parts. Secondly, to determine the performance of the puller in question, it is necessary to examine its other components.

References

1. Bearing pullers [Electronic resource]. – Access mode: <https://toptul.org/semnik-podshipnikov/>
2. Devices for car repair [Electronic resource]. – Access mode: <http://chertezhi.ru/modules/ebook/showfile.php?lid=696>
3. Rudyk O.Yu. Using of SolidWorks for simulation of screw puller of bearings / O.Yu. Rudyk, P.V. Kaplun, R.V. Solovyov // World science: problems, prospects and innovations. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. – Toronto, Canada. 2021. – Pp. 185-191. – Access mode: <http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/10062>
4. Rudyk O. Yu. The impact of the SolidWorks Simulation network quality on the accuracy of the calculations / O. Yu. Rudyk, V. A. Gonchar // Eurasian scientific congress. Abstracts of the 1st International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. –

Barcelona, Spain, 2020. – Pp. 185-188. – Access mode:
<http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8681>

5. Rudyk O. Yu. Use of SolidWorks for determination of working device for installation and disassembly of brake drums / O Yu. Rudyk, F. O. Ziabkin // Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Berlin, Germany, 2022. – Pp. 21-27. – Access mode: <https://sci-conf.com.ua/viii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-modern-scientific-research-achievements-innovations-and-development-prospects-23-25-yanvarya-2022-goda-berlin-germaniya-arhiv/>.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.045

МОДЕЛІ ТА ПРОЦЕДУРИ КЛАСИФІКАЦІЇ І ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ХАОТИЧНОЇ ДИНАМІКИ

Скалозуб В.В., Горячкін В.М., Клименко І.В., Шаповал Д.О.

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

Недетерміновані часові послідовності (НЧП) представляють надзвичайно широкий спектр моделей складних технологічних, економічних, інформаційних, соціальних та інших процесів. Отримання НЧП, аналіз та їх математичне і комп'ютерне моделювання має прикладний та науковий інтерес, широке практичне застосування. Формування та інтерпретація таких послідовностей даних потребує в тому числі коректного застосування сукупності математико-статистичних методів аналізу. При моделюванні НЧП даних виникають питання щодо забезпечення можливості коректного формування комп'ютерних моделей, процедур визначення параметрів станів процесів, методики дослідження властивостей часових послідовностей, точність отриманої моделі тощо. Однією з важливих вимог до формування та застосування методів комп'ютерного моделювання та прогнозування НЧП є наявність трендів досліджуваних процесів. Розвиток методів та засобів хаотичної динаміки дозволив встановити вимоги, які по-суті забезпечують вимоги щодо застосування процедур моделювання, класифікації і прогнозування параметрів НЧП. В роботі застосовується параметр Херста, за яким виконується класифікація процесів на персистентні (трендостійкі), антиперсистентні (коли передбачається лише можливість зміни тенденції розвитку), хаотичні. Натепер існує класифікація недетермінованих процесів, яка використовує величини константи Херста (H). При $H > 0,5$ процес є трендостійким, при $H = 0,5$ є повністю хаотичний, а при $H < 0,5$ процес антиперсистентний. Для антиперсистентних часових послідовностей (АЧП) встановлюється, що вони мають властивість щодо переміни тенденції. Інші властивості АЧП не використовуються при аналізі та прогнозуванні.

В доповіді досліджені процеси моделювання та короткострокового прогнозування параметрів НЧП, які являються АЧП. Предметом аналізу

являються чисельні процедури класифікації та прогнозування параметрів таких моделей. Метою роботи було підвищення ефективності та точності методів та алгоритмів класифікації, моделювання та прогнозування АЧП даних спостережень. Завдання дослідження полягали у розробці математичних моделей класифікації НЧП, формуванні алгоритмічних і програмних засобів та у виконанні порівняльного аналізу чисельної ефективності сімейства алгоритмів класифікації АЧП, разом з завданнями короткострокового прогнозування. В доповіді представлено інструментальне програмне середовище (ІПС), яке забезпечує коректне дослідження алгоритмів моделювання та класифікацію АЧП. Засобами ІПС був виконаний порівняльний аналіз алгоритмів моделювання АЧП щодо точності та чисельної ефективності; а також отримані певні рекомендації стосовно запропонованих процедур моделювання.

В роботі були визначені та представлені особливості структури процесів моделювання та класифікації АЧП. Наукова новизна представленого дослідження визначається наступним: - вперше виконано порівняльний аналіз чисельної ефективності алгоритмів класифікації та короткострокового прогнозування АЧП даних спостережень, - удосконалено модель процедури дослідження зазначених процесів, яка забезпечує коректність результатів класифікації, комп'ютерного моделювання та підвищення точності прогнозування показників процесів. - встановлено, що найбільше детальною та сталою являється класифікація АЧП на основі схем агрегування вихідних послідовностей даних без перетину елементів, використаних при утворенні агрегатів нових ЧР. Практичне значення мають результати порівняльного аналізу щодо чисельної ефективності алгоритмів класифікації АЧП, рекомендації щодо пропонування процедур моделювання таких процесів, а також створені інструментальні програмні засоби для забезпечення досліджень.

MODELS AND PROCEDURES FOR CLASSIFICATION AND FORECASTING OF PROCESS PARAMETERS ACCORDING TO CHAOTIC DYNAMICS

Skalozub Vladyslav, Horiachkin Volodymyr, Klymenko Ivan, Shapoval Danylo

Abstract. The report investigates the processes of modeling and short-term prediction of nondeterministic time sequences, which are anti-persistent time series (APTS) according to the classification based on the Hearst parameter. The subject of analysis is the numerical procedures for classification and forecasting the parameters of such models. The aim of the work was to increase the efficiency and accuracy of methods and algorithms for classification, modeling and forecasting of APTS. The objectives of the study were to develop by aggregating the levels of APTS mathematical models for the classification of time series, as well as the formation of algorithmic and software tools. The report also presents a tool software environment that provides a correct study of modeling algorithms and classification of APTS.

Keywords: antipersistent time series, classification, modeling, short-term forecasting, accuracy of classification algorithms, software.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОБРОБКИ ПЕРВИННИХ ДАНИХ НА
РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ
РОЗПІЗНАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

Солдатенко Д.В., Гнатушенко Вік.В.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Підготовка первинних матеріалів, необхідних для навчання нейронної мережі, для подальшого розпізнавання супутникових зображень є одним з найперших і найважливіших етапів, від цього безпосередньо залежить точність подальших кроків та кінцевий результат. Якщо якість вхідних даних буда не задовільною або їх кількість занадто малою, це може призвести до збільшення похибок або зовсім зіпсувати результати розпізнавання нейронною мережею. Не існує універсального метода підбора даних, під кожен окремий випадок треба виконати підготовчі етапи, для базового сприйняття, які та як саме потрібно підгодовувати дані для потрібного результату [1-3].

Метою дослідження є покращення розпізнавання супутникового зображення місцевості задля цього проведені декілька етапів з покращення первинних даних які використовують для навчання нейронної мережі. Спочатку використовуємо найбільш необроблені дані (без анотування) та запускаємо навчання нейромережі для розуміння, чи необхідні подальші етапи або чинного результату більш ніж достатньо.



Рисунок 1 - Необроблені маски для класів: вода, дерева, поле

На Рис 1. зображені приклади матеріалів (зліва знаходиться зображення класу, а з права створена маска) основних класів таких як вода, дерева та поле, зі створеними для них масками, які потрібні нейромережі для більш поглибленого розуміння, де саме на зображенні потрібний клас. Використання необроблених матеріалів у експериментах привело до результату наведеному на Рис.2.

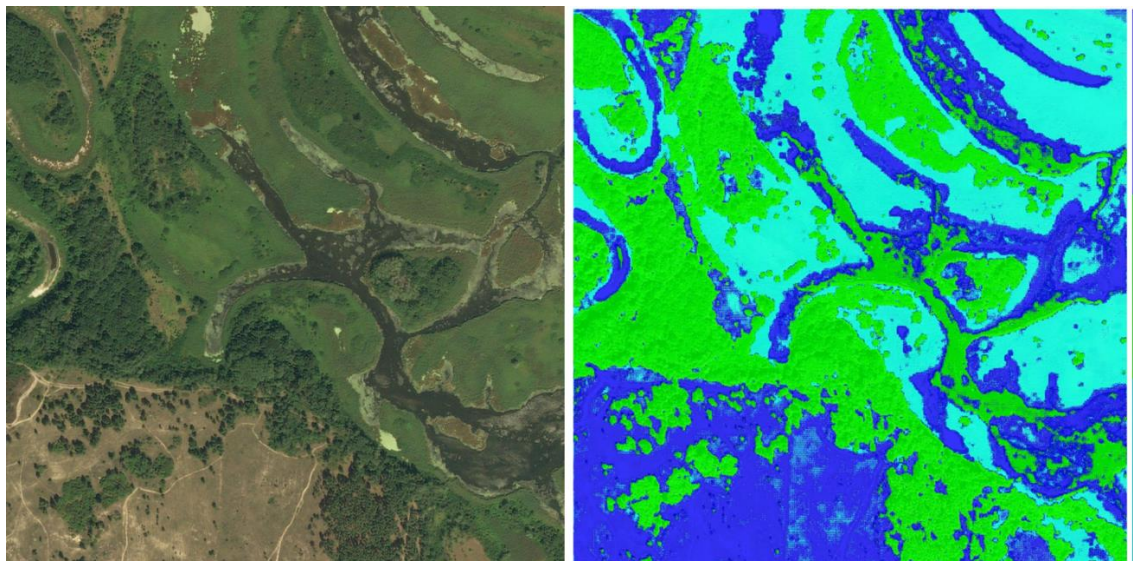


Рисунок 2 - Результати розпізнавання супутникового знімку з необробленими даними

Перше випробування має недоліки при розпізнаванні нейромережею, частина з яких не є критичними, але призводить до більшої погрішності при знаходженні окремих класів, та впливає на кінцевий результат, а саме:

- Точність розпізнавання класів у середньому становить 71.44%, що є задовільним результатом, але для деяких класів занадто велика погрішність, таких як вода;

- У першому прикладі на Рис 1, для води, спостерігається знаходження деяких класів на одному зображенні сумісно, що призводить не тільки до розпізнаванню води після навчання нейромережі, але також й прийняття іншого класу за неї;

- Більшість полів були розпізнанні як вода, причиною чого є попередній пункт.

Для виправлення та покращення результатів, насамперед необхідно анотувати дані для навчання та створити більш детальні маски для кожного класу.



Рисунок 3 - Оброблені маски для класів: вода, дерева, поле

Оновлені маски можна спостерігати на Рис 3, які пройшли обробку та

мають більш детальне виділення необхідної області для кожного окремого класу, що дозволяє нейромережі більш ретельно та з меншою похибкою розуміти, як саме узагальнити кожен окремий клас.

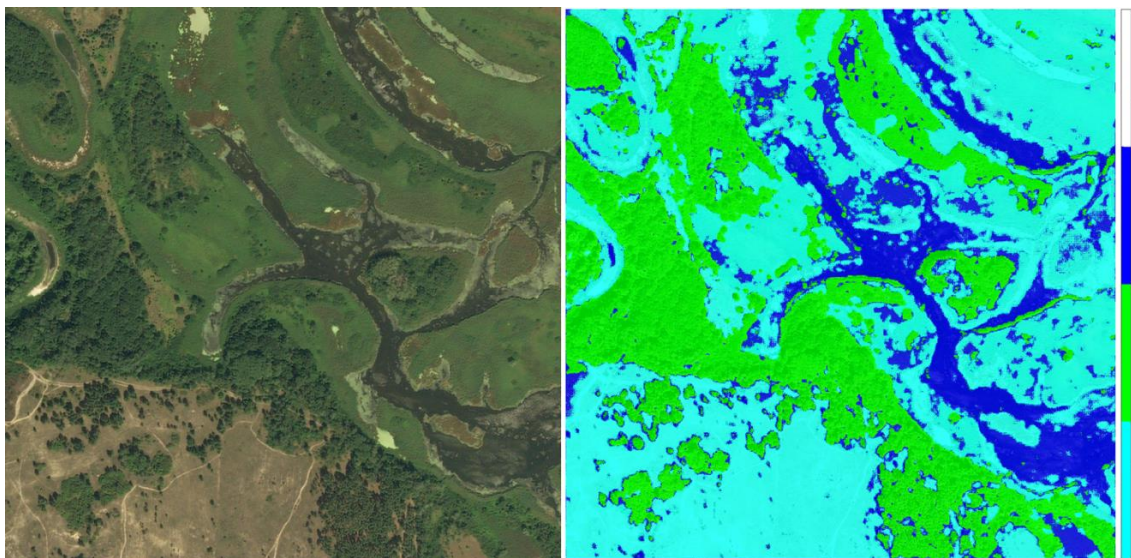


Рисунок 4 - Результати розпізнавання супутникового знімку з обробленими даними

Випробування оновлених, більш деталізованих даних для навчання, привело до досить значного покращення результатів, точність зросла з 71.44% до 91.10%, що у певній мірі краще ніж у першому випробуванні, та даний результат можна віднести до задовільного. Досить можна спостерігати деякі недоліки, які були властиві першій ітерації також, можна підкреслити одну з найзначніших:

– Деяка місцевість помилково відноситься до класу води, насамперед, це місця зі схожими параметрами, як і дані для навчання нейромережі розпізнавання води, наприклад, у яких схожий колір або пісок, який також частково присутній у зображеннях води.

Висновок. На основі проведених експериментах зроблено висновок, що покращення первинних матеріалів для навчання нейромережі розпізнаванню супутникових зображень, безпосередньо впливає на підвищення точності розпізнавання зображень (27.6% у нашому випадку). Також варто підкреслити, що одним з варіантів для подальшого усунення поточних недоліків є збільшення первинних матеріалів для навчання та кількість класів, що підтверджено у результаті дослідження на прикладі з піском.

Література / References

1. P.Viola, M.Jones. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognitions Vol. 1. 8-14 December 2001 / The institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. P. 511-518.
2. M.Heihhila, M. Pietikainen. C. Schmid. Description of Interest Regions with Center-Symmetric Local Binary Patterns // ICVGIP 2006, P.58-69.
3. Hnatushenko V., Hnatushenko Vik. Recognition of High Dimensional Multi-Sensor Remote Sensing Data of Various Spatial Resolution. 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, 2020, August 21-25, pp. 262-265, doi: 10.1109/DSMP47368.2020.9204186.

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF PRIMARY DATA PROCESSING ON THE RESULTS OF NEURAL NETWORK TRAINING FOR SATELLITE IMAGERY RECOGNITION

Soldatenko Dmytro, Hnatushenko Viktoria

Abstract. Proper preparation of materials for training a neural network is one of the key stages that directly affects all subsequent and results. The research provides two trials, the first with raw data and the second with specially prepared for training. The training of the neural network uses data for three different classes, water, trees and field, test results and information about potential flaws provided after each test as well as recommendations for improving results. The results were analyzed and concluded that the improvement of primary materials for teaching the neural network to recognize satellite images directly affects the result for the better, namely by 27.6% in the case of using prepared data in this study, they may differ depending on the conditions.

Keywords: neural network, image recognition, data processing, satellite imagery, artificial intelligence.

**МОДЕЛЮВАННЯ РОЗЧИНЕННЯ ВАПНА В ШЛАКУ
ОКИСЛЮВАЛЬНОГО ПЕРІОДУ ВИПЛАВКИ СТАЛІ В ДСП**

Камкін В.Ю., Мішалкін А.П.

Український державний університет науки і технологій

Важливою проблемою при вдосконаленні шлакового режиму виплавки сталі в ДСП є обґрунтування раціонального компонентного та хімічного складу флюсів, які формують шлакову фазу, властивості якої забезпечують високі показники та енергоефективний режим виплавки електросталі.

Вивчали кінетику розчинення вапна в шлаку окислювального періоду виплавки сталі в ДСП шляхом введення на поверхню ванни високотемпературної моделі печі (40 кг; ЛПЗ - 67 з периклазовим футеруванням) при використанні вапняків фракції 3 і 10 мм з різним ступенем випалу. Температура металу і шлаку становила ~ 1600°C. Визначали час процесу, за який відбувалася залишкова дисоціація дослідних шматочків вапняку фракції 3 і 10 мм з різним недопалом (20 і 60%), що вводились на поверхню пічного шлаку в кількості 5...8% від маси рідкого металу і, власне, розчинення вапна, що утворювалося.

Для цих умов зниження температури ванни рідкого металу, що знаходився під вогнетривкою теплозахисною кришкою без струмового навантаження, після повної асиміляції вапна шлаком склало близько 6...8°C для вапна з недопалом 20% і близько 10...12°C для вапна з недопалом 60%. Ефективність використання шлакоутворюючих дослідних сумішей, отриманих шляхом спільної теплової обробки суміші на основі техногенних відходів, визначали показниками дефосфорації металу окислювального періоду виплавки в ДСП. Дослідний склад реагенту містив оксиди заліза, кремнію, алюмінію, марганцю, лужних металів і вуглецю, їх співвідношення забезпечило достатньо повне переведення фосфору в шлак в період окислювального рафінування. Ступінь недопалу вапна після проведення сумісної теплової обробки вихідної суміші компонентів - відходів складала, відповідно в %: 20, 30 та 40.

При застосуванні дослідного матеріалу, в якому співвідношення $\text{CaO}:\text{CaCO}_3$ становило в процентах як 70:30, досягнуто в порівнянні с іншими дослідженими варіантами (80:20 та 60:40 більш низький вміст фосфору в металі після проведення окислювального періоду плавки. Так, при реалізації базової технології з використанням кускового вапна вміст фосфору в металі склав 0,0085%, при введенні на поверхню ванни дослідного матеріалу цільового призначення - 0,0068%.

Отриманий позитивний ефект дефосфорації сталі пов'язаний з прискоренням розчинення вапна в присутності оксидів заліза та марганцю, що активувало інтенсивне виділення за рахунок залишкової дисоціації вапняку бульбашок CO_2 та CO . Це сприяло більш інтенсивному оновленню реакційної поверхні шматків вапна. Враховуючи наявність при асиміляції CaO пічним шлаком двох дифузійних потоків, можна стверджувати, що ведення шлакоутворення в умовах ДСП с застосуванням дослідних шлак утворюючих, що містять недопалене вапно, сприяє прискоренню зовнішнього потоку шлакової фази до поверхні шматків вапна.

SIMULATION OF VAPN OPENING IN SLAG OF THE STEEL STEELING IN EAF OXIDATION PERIOD

Kamkin Volodymyr, Mishalkin Anatolii

Abstract. An important problem in improving the slag mode of steelmaking in EAF is the substantiation of the rational component and chemical composition of fluxes that form the slag phase, the properties of which provide high performance and an energy-efficient mode of electric steelmaking.

The kinetics of dissolution of lime in the slag of the oxidation period of steelmaking in EAF was studied by introducing a high-temperature furnace model (40 kg; LPZ-67 with periclase lining) onto the surface of the bath using limestone fractions of 3 and 10 mm with different degrees of firing.

Keywords: modeling, disclosure, lime, slag, oxidation period, smelting, arc steel furnace.

SIMULTANEOUS PARAMETRIC IDENTIFICATION FOR THE COUPLED RELAXATION GENERATORS SYSTEM

Guda Anton, Zimoglyad Andrii

*Institute of Industrial and Business Technologies,
Ukrainian State University of Science and Technologies*

Abstract. This paper is devoted to the identification system creation for the coupled relaxation generators system. This nonlinear system can demonstrate both complex-periodic and chaotic behaviour. Proposed identification system, unlike previous one, must be capable to conduct simultaneous identification of the set of parameters. Identification method is based on the moving average and regression analysis methods hybridization. This method is capable to negate the noise impact after differentiation. Special lock and reset system block accumulators during relaxation pulses. The workability and dynamic properties was researched on real equipment. Dynamic characteristics of the method under consideration appears to be sufficient to track parameters values both in complex-periodic or chaotic modes.

Keywords: parametric identification, chaotic systems, relaxation generator.

Parametric identification for the system with complex, and even chaotic dynamics, is a complex, but in many cases solvable problem [1,2,6]. One of the most crucial part in the identification system creation is the criterion synthesis [3]. But the existence of the single criterion in most cases is not enough to conduct identification process, if the number of parameter is more then one.

As the previous researches shown, even in the existence of multiple criteria, identification task often gives us not a single solution. More over, identification methods may require huge amount of the computation power, and therefore, is not suited to the real time application.

Special method was proposed to the simulations identification of the well-known Lorentz dynamic system parameters in the paper [4]. This method proved to be workable and at some extent effective, but it's correctness was proved only on numerical simulations. So, the verification task for the proposed method became actual.

As a real world test system for the proposed method a coupled relaxation generators system (1) was chosen. This system can provide both complex-periodic and chaotic behaviour.

$$\left\{ \begin{array}{l} V_b = V_{cc} - R_b (I_1 + I_2 + \dots), \\ C_i \dot{V}_i = \frac{V_b - V_i}{R_{i,c}} - \frac{V_i}{R_i} \text{On}_i(), \\ I_i = \frac{V_b - V_i}{R_i} \end{array} \right. .$$

In some previous work [5], a suitable identification system was developed for this particular system. But the essential drawback was the fact, that the only parameter (namely R_b) can be identified.

We can try to apply a similar approach to create identification system for the new target. The equation system can give us a key points for the identification system synthesis.

If we can measure the V_1, \dots, V_b values, than the values of the identification parameters can be easily expressed. But in the real world, the measurement noises, especially after differentiation, leads to extremely large errors in the parameters evaluation. Classical filters can diminish the noise level, but leads to essential systematic errors due to different phase shifts if the filters.

On the other hand, direct application of the proposed approach based on the moving average and regression analysis methods hybridization, is not possible. Unlike Lorentz system, the relaxation generators has brake points, in which the derivations level can be theoretically unlimited, and practically – just huge.

To suppress usage of input values during such spikes, we can block accumulators, if the value of derivations is “too large”. The precise condition depend not only from the system dynamics and noise characteristics, but from the identification system parameters itself. Nevertheless, these limits may be estimated and corrected during identifications system adjustment.

In the figure 1, the results of the identification processes with proposed system are presented. The value of parameters R_2, R_3 was fixed, and the value of R_1 had a step-alike shape. As we can see, the proposed identification system is able to give

correct identification results. A set of other conditions was also used to check the identification system workability, with similar results.

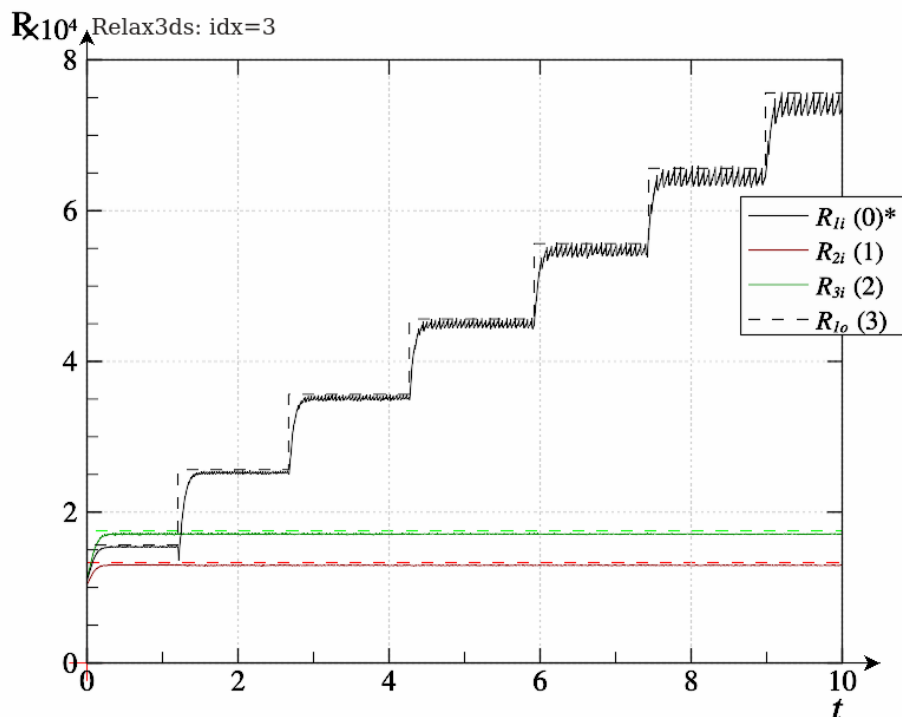


Figure 1 – Identification process of the coupled relaxation generators system parameters

Conclusions. According to the achieved results in real experiments and numerical simulations, we can state, that identification of the coupled relaxation generators parameters is possible. Enormous obstructions, related with the numerical differentiation of the noisefull signal, can be avoided by the special method, based on the moving average and regression analysis methods hybridization. Dynamic characteristics of the proposed method allows us to track parameters value, practically without dependence to the system mode: regular or chaotic.

References

1. Sprott J.C. Strange attractors: creating patterns in chaos. – MT Books; 1993. – 350 p.
2. Shatalov, Michael Y., et al. "Parameter Identification of Lorenz System with Incomplete Information: Case of One Unknown Function." International Journal of Engineering Research in Africa, vol. 55, Trans Tech Publications, Ltd., 10 Aug. 2021, pp. 82–102. doi:10.4028/www.scientific.net/jera.55.82.
3. Guda A.I., Mikhalyov A.I. Criteria synthesis problem for the chaotic systems identification // Proceedings of the 2016 IEEE 1st International Conference on Data Stream Mining and

Processing, DSMP 2016, — Lviv, Ukraine, 08.2016. — С. 125—128. — DOI: 10.1109/DSMP.2016.7583522

4. Guda A., Zimoglyad A / Simultaneous identification of the all parameters for the Lorenz chaotic system // Regional interuniversity compendium of scientific works "System technologies" № 6 (125) 2019 «System technologies P. 68–75.

5. Guda A.I., Mikhalyov A.I. Multi-models identification methods comparison in the non-linear dynamic system identification task // Радиоэлектроника, информатика, управление. — Запоріжжя, ЗНТУ, 2016. — № 4. — С. 112— 119. — DOI: 10.15588/1607-3274-2016-4-14

6. Guda A.I., Mikhalyov A.I. Method of Lorenz systems parametric identification by the searching models ensemble objects // Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies” (CSIT) – 2015 – P. 73–75.

СЕКЦІЯ 6

**СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ
ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА**

SECTION 6

**SYSTEM INFORMATION PROCESSING
TECHNOLOGIES AND CYBERSECURITY**

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.047

**INTELLIGENT MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR
THE PIPE MANUFACTURING PROCESS**

Ivashchenko Valerii, Shvachych Gennady,
Sobolenko Oleksandr, Ivashchenko Olena

Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. Here one of the new efficient approaches to solving problems of intelligent support of making decisions of a cooperate enterprise scale is analyzed, bearing in mind that the enterprise is oriented towards integration of two interconnected information technologies: a technology of constructing information storages and a technology of intelligent data analysis.

A new conception of the role of informing-controlling systems in controlling and operating pipe manufacturing process is suggested. It broadens a traditional view over information systems just as if it were only an instrument of a computer data analysis. The role of the modern information systems in the manufacturing as an independent scientific and applied direction serving as a connecting link in the triad “raw product – ngingering process – end product” is substantiated. Some problems connected with plantation of the informing-controlling systems in the pipe manufacturing is formulated. It broadens a traditional view over information systems just as if it were only an instrument of a computer data analysis.

Keywords: information system, data analysis, information storages, intelligent decision.

Introduction. A lot of works are devoted to the problem of research, elaboration and plantation of the computer systems in metallurgy. So, in [1] the role of the computer control systems in cast iron production is accentuated. In [2] it is shown that the computer control systems allow to realize not only a current fusion control, but also to conduct an analysis of the technological situations with giving recommendations as to controlling the blast-furnace process in whole. In [3] it is noted that the software environment for conducting a calculating analysis of the most important sides of the blast-furnace process and for conducting an automated search for the optimal conditions of fusion in basic modes of the blast furnace’s

performance.

In [4] a new approach to mathematical modeling of metal turning in section extruding based on the finite elements method is suggested.

In this article, one of the efficient approaches to solving problems of intelligent support of making decisions of a cooperate enterprise scale is analyzed, bearing in mind, that the enterprise is oriented towards integration of two interconnected information technologies: the technology of constructing information storages and the technology of intelligent data analysis. Additionally, in our opinion, the information systems, correspondent mathematical models and processes of their construction, verification and interpretation are the irreplaceable link in the triad “raw product – engineering process – end product” , and they are called to provide integrity of the engineering process and manufacturing. Besides, prospects of a further development of informing-controlling systems, both in pipe manufacturing and in some related researches supporting this direction are examined.

Setting the problem. Upgrading of technics and technologies and a continuous growth of requirements to the quality of the product inspire elaboration of new information systems of intelligent support of making decisions of a cooperative enterprise scale.

One of the approaches to creating systems of a new generation decision support is oriented towards integration of two interconnected information technologies: the technology of constructing information storages (IS) and the technology of intelligent data analysis.

This article is devoted to the peculiarities of elaboration of the information systems of the new type on the example of the controlling processing characteristics of the products rolled by the pipe-rolling plant 140 (PRP-140).

Nowadays, the technology of constructing IS is partially based on the PRP-140 with lengthwise-rolling mills

The substance of the constructing technology of the IS is as follows. The distinctive feature of the engineering process of the pipe manufacturing by the PRP-140 with the lengthwise-rolling mills is in presence of single-type structural elements in the plant line which define the composition and configuration of the

PRP-140. Such a peculiarity allows to create the OIS which contains a varied information as to the performance of the PRP-140 (date, time, fusion number, pipe grades, steel quality etc.). Further on, the data from the OIS are extracted and put into one source – the IS.

The main idea, put into the principle of the IS technology is to conduct the current analysis intermediately on the basis of the operative information systems is inefficient. It is explained by the fact that the data as to the performance of one of the PRP-140 mills do not enable to get a whole and objective picture of the performance of the plant in whole. All the necessary for the analysis data are kept in a single source – the IS. The main peculiarity of the IS data is their availability not only for reading. At the same time, no data modification is made, as it may break integrity of the IS.

Main research material statement. Taking into consideration that the IS contain various information as to the performance of the PRP-140 (date, time, fusion number, pipe grades, steel quality, ingoing size of the round billet, pipe sizes after each mill etc.), the task of the suggested information system is to classify and to process the data for the purpose of resetting the PRP-140 mills' processing characteristics and those of the correspondent forecast.

At the same time, the information system enables to take a lot of measures as to the data processing. So, if necessary, one can follow dynamics of changing the characteristics of each pipe from the circular furnace up to the sizing or reducing mills inclusively. Besides, there appears a possibility to classify the data according to the rolling characteristics (steel quality, ingoing size, round billet size, pipe grades etc.). The latter permits to carry out a number of researches connected with determining dependence of the rolling process results on the ingoing data and current characteristics.

For example, in the process of piercing a lot of one-sized hollow-billets, an elongation ratio shift under each hollow billet's deformation may be observed [5]. A variable pace of work of the piercing mill, preconditioned by essential processing pauses, implies a constant considering of the thermal condition of the plant which influences the total elongation value. The elongation ratio shifts under a lot of hollow billets piercing reach 30% of nominal (table) values. In order to stabilize the

elongation ratio, the operating personnel (supervisor), following his own practical experience and intuition adjusts the mill settings by means of shifting the piercer plug before piercing the next hollow billet. For the purpose of reducing the supervisor's subjective influence, the suggested system chooses the required piercer plug's condition subject to the algorithm elaborated.

In order to estimate the received rolling characteristics, the algorithm uses the dependencies including the peculiarities of the pipe deformation process according to the fundamentals of the pipe manufacturing theory [6]. It should be noticed that among the analyzed characteristics, the principal figures are those of the hollow billets' and pipes' length, the elongation ratios for each mill and the plant in whole, crop values, dead time, unfinished sections number. Let us consider a variant of the suggested IS's functioning.

The suggested IS provides for several functioning modes. A large volume of information in the IS requires a preliminary data retrieval, which is made by means of classifying according to the date, pipe grades, fusion number, lot's number, order's number. Let us consider an example connected with the data processing and analyzing according to the calendar. When switch to the calendar mode, a dialog box appears on the screen for the user to choose the year, month and day, for instance. Subject to the chosen date the IS data retrieval is activated. In the result of processing the information, the total number of records on this issue appears on the screen. Further on, the information as to the functioning of the PRP that day in whole appears on the screen. In this box, numbers of orders for pipe manufacturing, hollow billets sizes, the rolled pipes grades, rolling time etc. are shown.

If necessary, the required information can be printed out and analyzed (press the button "Analyze"). Here the data from the IS are transferred to the Excel environment, where their automatic classification and processing according to the algorithm is given.

The data transfer from the IS to the Excel environment is explained by the fact that the given program product enables to realize the necessary data processing in rather a convenient and obvious manner.

Besides the analytical procedure of information processing, the environment permits to form the required graphical dependencies.

Summary. In the suggested approach, the key role in making decisions as to the control belongs to two technologies: the technology of IS and the technology of the intelligent data analysis. The suggested technologies are an essential component of the engineering process and serve as the connecting link in the triad “raw product – engineering process – end product”.

The practical application of this product permits the operating personnel of the enterprise to control the engineering process, analyze the processes passing in each mill, adjust the PRP mills’ engineering characteristics in the pipe-manufacturing process. The suggested approach influences quite strongly the production’s quality improving and enables to work stably in the thin-walled pipe grades sphere.

The principal approach to task-solving may be used for other rolling mills, such as continuous rolling mills, flattening mills, small-section mills, hot-rolling mills that will help to save the metal and improve the quality of production.

References

1. Ukrainian metallurgy: modern challenges and development prospects: monograph. A.I.Amosha, V.I.Bol'shakov, A.A.Minaev and others. Donetsk, 2013. 114 p.
2. Tarakanov A.K. Possibilities of effective control of the thermal regime of blast-furnace smelting in modern conditions. Metallurgical and mining industry. Dnipro. 2015. № 4. P. 9 – 12.
3. Tarakanov A.K., Lyalyuk V.P., Kostomarov A.S. Selection of rational values of blast parameters on blast furnaces on the basis of calculated control of generalized indicators of the blast mode of melting. New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. Czestochova. 2012. № 24. P. 181 – 185.
4. Walczyk W., Milenin A., Pietrzyk M. Computer aided design of new forging technology for crank shafts. Steel research international. 2010. V. 82. № 3, P.187 – 194.
5. Khanin M.I. Modes of piercing, providing a decrease in the longitudinal difference in wall thickness of pipes. Metallurgical and mining industry. 2013. № 2. P. 48-50.
6. Drujan V., Guljaev Y., Chukmasov S. The theory and technology of pipe manufacture. Dnepropetrovsk. 2001. 544 p.

RESEARCH OF MULTICHANNEL MODES OF THE NETWORK INTERFACE OF MODULAR COMPUTING SYSTEMS

Moroz Dmytro

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. This paper considers the so-called "blade" server solutions of multiprocessor computing systems, where several same-type mother modules are installed in one enclosure. The main feature of the clustered system, which is considered in this paper, is that the data interchange among computing nodes is carried out in a separate network, which operates at the channel level using channel bonding mechanisms. This provided an increase in the speed of data interchange and reduced the load of the channel that connects the nodes of the cluster. Further reseraches were aimed at implementing a procedure for increasing the efficiency of parallelization by introducing of multichannel modes of the network interface of modular computing systems. The conducted studies have created the prerequisites for a quantitative assessment of the effectiveness of a multiprocessor computing system in the implementation of a multi-channel operation mode of a cluster network.

Keywords: numerical-analytical method, parabolic type, solutions of high-order accuracy.

Introduction. Almost simultaneously with the advent of the first computers, there was a need to evaluate their performance and efficiency. For parallel computing systems, there are currently programs that perform the role of the standard, that is, they allow assessment of the computer system capabilities. However, the computers characteristics obtained testing results have always been distrusted and criticized. One possible way out of this situation is to form a set of tests, each of which would complement each other. From these positions, the efficiency of the multiprocessor clustered computing system, being researched in this paper, will be assessed. These researches are aimed at further development of the approach, proposed by the authors in the paper [1, 2].

Research problem statement. One of the main problems of using the cluster system to solve the class of problems that are considered in this paper can be formulated in this way: we have the M dimension difference mesh, the time for problem computation, which is solved using a single-processor system, is determined by the value of t . This parameter is the key one. It is necessary to significantly reduce the computation time while preserving the value of M . It is the speed and performance issue that is the main focus in the cluster systems making.

Research object. The overwhelming majority of functioning supercomputers are in fact multiprocessor parallel computing systems of the MPP (*Massively Parallel Processing*) architecture. Multiprocessor computer systems, designed on the basis of local networks, began to be called "cluster systems" or simply "clusters". This is because the logically mentioned *MPP* system differs little from the usual local network.

This paper considers the so-called "blade" server solutions of multiprocessor computing systems, where several same-type mother modules are installed in one enclosure. Taking into account the latest achievements in making of multiprocessor computing systems, a personal computing cluster [2] was created, which effectiveness is researched in this paper. In the cluster configuration, six blades were selected for the system modular implementation. Such an approach provides, if necessary, expansion of the computing system by installing additional modules.

Main research material statement. So, let us consider the problem of reducing the computational time by increasing the number of nodes in the cluster system. It is assumed that the computation domain is evenly distributed among the nodes of the cluster system. In the class of problems under consideration, all computations are performed on the basis of a difference grid. To carry out the corresponding researches, the authors adopted the basic analytic relations derived in the paper [1].

In the cluster system, an *IB* bus is used to connect external devices. This bus provides for duplex data transfer. It allows efficient use of the computational capabilities of clustered systems in combination with high data rate of communication channels.

A comparative analysis of the half-duplex and duplex modes of the system showed that in the "duplex" mode the computational time has significantly

decreased, in addition, the computations acceleration has significantly increased. However, simultaneously, it is necessary to note a slight decrease in the efficiency of computations (54% versus 60% of the half-duplex mode).

The main feature of the clustered system, which is considered in this paper, is that the data interchange among computing nodes is carried out in a separate network, which operates at the channel level using channel bonding mechanisms. This provided an increase in the speed of data interchange and reduced the load of the channel that connects the nodes of the cluster. Further reseraches were aimed at implementing a procedure for increasing the efficiency of parallelization by introducing additional computer networks.

The conducted researches created the prerequisites for a quantitative evaluation of the efficiency of the multiprocessor computing system when implementing the two-channel mode of the cluster network operation ($k = 2$). According to the computational data, this operation mode of the cluster allowed not only to increase the efficiency of the system (in the optimal mode it is more than 70%), but also to significantly reduce computation time, as well as to accelerate computations. Such results were received due to the reduction of the boundary data interchange time among the clustered system computing nodes. Note that this computing system operation mode is implemented for the cluster under research. However, during the research, there arose a question: how will assessments of the clustered system efficiency get changed with the subsequent expansion of the channel bonding regime? For example, if $k = 4$. The answer to this question can be obtained by conducting additional research.

Thus, the prerequisites for a comparative analysis of the channel bonding regime realization of the cluster system when $k = 2$ and $k = 4$ have arisen. The conducted researches showed that with a relatively equal paralleling efficiency, the computational time is somewhat reduced (by about 5 seconds) and the computations acceleration gets greatly increased. In the clustered system practical work with the forming the computer network mode, when $k = 4$, the researcher will have to look for the answer to the question: will there be the reduction of the computation time by 5 seconds and an increase in the computations acceleration, provided that relatively large material resources are invested in complicating the design of the cluster system justified?

Conclusions. The effectiveness of the clustered system in the organization of multichannel modes of the cluster network operation are established. Such modes of operation allow not only to increase the efficiency of parallelization, but also to significantly reduce the computation time, as well as significantly speed up the computation.

References

1. Ivaschenko V.P., Shvachych G.G., Ivaschenko O.V., Busygin V.V. Improving the efficiency of the multiprocessor system through inline interface network aggregation. System technologies. Dnipro, 2018. № 2 (115). P.84-92.
2. Shvachych G., Moroz B., Ivaschenko O., Sushko I., Pobochii I. The implementation features of the aggregation mode of network interface in the multiprocessors computing system. Computer modeling and optimization of complex systems. Dnipro, 2018. P.84-92.

АНАЛІЗ ОБМІНУ ДАНИМИ МІЖ ПІДПРИЄМСТВАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Ситник Р.С., Гнатушенко Вік.В.

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Україна

Виробництво нових товарів, в зв'язку зі збільшенням технологічності підприємств та товарів, їх кількості, потребує все більше ресурсів та, як наслідок, збільшується кількість ланок створення. Цій процес, за участю багатьох незалежних одна від одної компанії, ускладнює менеджмент товарами: процеси їх виробництва, рух ресурсів, компонентів та товарів. Комплікація в вищезгаданих процесах управління та ланцюгах поставок можуть призвести до збільшення строків виробництва та доставки, складнощів в моніторингу руху товарів і компонентів, та проблем у верифікації історії походження товарів та компонентів тощо. Також існує проблема довіри між різними незалежними ланками виробництва та доставки, що виражається в застосуванні власної інформаційної системи для менеджменту виробництвом у кожній компанії окремо, що значно ускладнює кооперацію та негативно впливає на вищезгадані характеристики. Як результат, світ зараз переживає кризу ланцюгів постачання, яка негативно впливає на усю світову економіку [1].

Для вирішення цих проблем пропонується використовувати технологію блокчейну, яка вже отримала свої засоби використання у сфері фінансів та фінансових послуг. Блокчейн – це структура даних, що є розподіленою між багатьма учасниками однієї мережі, та в якій кожний новий блок інформації, що поступає до цієї структури даних у вигляді окремих транзакцій, зв'язаний хешем з попереднім блоком даних [2].

Застосування хешу попереднього блоку інформації у кожному новому блоці значно ускладнює редагування та підробку інформації та гарантує цілісність даних. Зміна інформації в одному блоці буде означати зміну хешу у всіх наступних блоках, що викличе помилку цілісності. А розподілена природа цієї структури даних, коли інформація збігається та валідується багатою

кількістю вузлів, не дає можливості видалити або змінити дані у який-завгодно неправомірний спосіб [3]. Також кожна транзакція у цю структуру даних потребує механізму валідації, яких у сучасних блокчейн-системах існує багата кількість для різних типів задач та систем, такі як доказ роботи (Proof-of-Work), доказ володіння (Proof-of-Stake), доказ повноважень (Proof-of-Authority) тощо.

Механізм смарт-контрактів (Smart Contracts) дозволяють писати повноцінне програмне забезпечення, код якого виконується у мережі блокчейну для взаємодії з цією структурою даних за запрограмованою логікою. Це дозволяє повністю перенести програмні рішення з приватних серверів до блокчейну [4]. Згідно з деякими дослідженнями, застосування блокчейну у логістиці може бути також корисне разом із застосуванням інших технологій, таких як, наприклад, RFID для радіочастотної ідентифікації у ланцюгах поставки продуктів харчування [5]. Також блокчейн може надати точність інформації по всім логістичним ланкам в реальному часі, збільшити рівень прозорості інформації та точної історії щодо усіх рухів та дій у ланцюгах постачання, відстеження усіх джерел товарів та ресурсів у мережі у будь-який час.

Але застосування блокчейну несе за собою виклики, які необхідно вирішити для ефективного його використання у інформаційних системах в сфері логістики.

По-перше, все ще бракує досліджень, які пропонують більш детальні методи для найбільш ефективного застосування блокчейну. До цього відносяться засоби валідації транзакцій, а також деталі щодо виду відкритості блокчейну. Так, наприклад, блокчейни, які валідують транзакції за механізмом Proof-of-Work, негативно впливають на довкілля через високий рівень споживання енергії та генерацію тепла [6], а приватні блокчейни можуть нівелювати забезпечення цілісності та правдивості даних у реєстрах.

По-друге, існує проблема можливості оновлення та налагодження програмного забезпечення, яке вже розгорнуте у блокчейні. Так, розгорнуті смарт-контракти у мережі вже не можуть бути відредаговані без застосування сторонніх механізмів, і можливе оновлення або виправлення несправностей стає складною задачею, яка потребує розгортання нових контрактів, або

застосування механізмів, які можуть замінити існуючі смарт-контракти без зміни адреси для комунікації та взаємодії з ними. Такі механізми мають ряд недоліків, які можуть впливати на цілісність даних та рівень довіри між учасниками мережі.

Ці проблеми можуть призвести до повільного впровадження нових технологій і підходів на основі блокчейну в інформаційних системах або навіть до неможливості їх запровадження у певних сферах. Ці проблеми та можливі шляхи їх вирішення потребують більш детального вивчення в наступних роботах.

Ці дослідження будуть корисними для проектування та створення інформаційних децентралізованих систем із застосуванням технології блокчейн для моніторингу та управління виробництвом та транспортуванням товарів та компонентів за участю великої кількості учасників логістичних ланок виробництва та транспортування.

Література

1. L. Gamio, P. S. Goodman, New York Times. How the Supply Chain Crisis Unfolded, 2021, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nytimes.com/interactive/2021/12/05/business/economy/supply-chain.html>
2. Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
3. EPRS | European Parliamentary Research Service. Blockchain for supply chains and international trade // Scientific Foresight Unit (STOA) PE 641.544 – May 2020, ISBN: 978-92-846-6530-3. p. 2-5, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU\(2020\)641544_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU(2020)641544_EN.pdf)
4. M. Alharby, A. van Moorsel, Blockchain-based Smart Contracts: A Systematic Mapping Study. Computer Science & Information Technology (CS & IT), 2017, pp. 125–140. doi: 10.5121/csit.2017.71011
5. P. Barge, A. Biglia, L. Comba, D. R. Aimonino, C. Tortia, and P. Gay, Radio Frequency IDentification for Meat Supply-Chain Digitalisation. Sensors 2020, 20, 4957, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/s20174957>.
6. Chenguel M. Bечir, Blockchain and Ecological Impact: Between Reality and Accusation?, Musleh Al-Sartawi A.M.A. (eds) Artificial Intelligence for Sustainable Finance and

Sustainable Technology. ICGER 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 423. Springer, Cham, [Електронний ресурс]. – Режим доступу:: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93464-4_43

ANALYSIS OF DATA EXCHANGE BETWEEN ENTERPRISES BY USING BLOCKCHANE TECHNOLOGY IN INFORMATION SYSTEMS

Sytnyk Roman, Hnatushenko Viktoriia

Abstract. Nowadays information systems for productions and shipments management become more complicated with the further development of international and domestic trades, increase of complexity of production and supply chains and etc. Therefore, the task of researching and designing new approaches for supply chains and logistics information systems becomes relevant for the solution. In this paper possible pros and cons of using blockchain technology in logistics and supply chain systems are reviewed. Blockchains can help to simplify and make more transparent the processes of monitoring and managing production and movement of goods between different entities. But also, there are several challenges which need to be solved such as software upgrades possibilities in smart-contracts and tasks of designing the complete blockchain-based system which will actually solve important problems in this area in the most effective way without critical problems.

Keywords: blockchain, decentralized systems, logistics, smart contracts, supply chains, information systems.

References

1. L. Gamio, P. S. Goodman, New York Times. How the Supply Chain Crisis Unfolded, 2021, URL: <https://www.nytimes.com/interactive/2021/12/05/business/economy/supply-chain.html>
2. Satoshi Nakamoto, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008, URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
3. EPRS | European Parliamentary Research Service. Blockchain for supply chains and international trade // Scientific Foresight Unit (STOA) PE 641.544 - May 2020, ISBN:978-92-846-6530-3, p. 2-5, URL: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU\(2020\)641544_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641544/EPRS_STU(2020)641544_EN.pdf)
4. M. Alharby, A. van Moorsel, Blockchain-based Smart Contracts: A Systematic Mapping Study. Computer Science & Information Technology (CS & IT), 2017, pp. 125–140. doi: 10.5121/csit.2017.71011

5. P. Barge, A. Biglia, L. Comba, D. R. Aimonino, C. Tortia, and P. Gay, Radio Frequency Identification for Meat Supply-Chain Digitalisation. *Sensors* 2020, 20, 4957, URL: <https://doi.org/10.3390/s20174957>.

6. Chenguel M. Bechir, Blockchain and Ecological Impact: Between Reality and Accusation?, Musleh Al-Sartawi A.M.A. (eds) *Artificial Intelligence for Sustainable Finance and Sustainable Technology*. ICGER 2021. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 423. Springer, Cham, URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93464-4_43

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.050

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ГАЛЬВАНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

Федоров С.С., Форись С.М., Перерва В.Я., Форись О.М.

Український державний університет науки і технологій

Актуальним питанням сучасності є дослідження космосу. Для цього розробляють нові технології, конструкції зондів, супутників, шатлів.

Гальванічні елементи живлення в космічних апаратах виконують функцію живлення комп'ютерів та опалення батарейного блоку.

Відповідно до завдань досліджень проведено моделювання теплового стану джерела живлення 24В у робочих умовах експлуатації -40°C [1]. Розглянуто два варіанти термостатування: на основі радіоактивних нагрівальних елементів (РНЕ) та на основі автономної резистивної системи обігріву.

Для використання РНЕ прийнято, що джерело живлення складається з 10 елементів 2,4В. Теплова ізоляція виконана з шару коркового дерева завтовшки 10 мм. Зовнішній корпус з нержавіючої сталі товщиною 2 мм. Розрахункова температура корпусу становила -180°C , що відповідає екстремальним умовам експлуатації батареї – максимальна інтенсивність тепловіддачі за найнижчої можливої температури експлуатації.

Другий, розглянутий нами варіант передбачає встановлення додаткових 4-х елементів живлення, які задіяні в резистивній системі обігріву батареї. Крім цього, батарея захищається екраном з нержавіючої сталі. Корпус батареї та екрану покривається алюмінієвою фольгою зі ступенем чорноти 0,01-0,02. З'єднання екрана з корпусом виконано на основі чотирьох сталевих шпильок 2 мм. Запропонована конструкція дозволяє мінімізувати теплові втрати у навколишнє середовище. Розрахункова температура екрану приймалася рівною -180°C .

Відповідно до схем виконані розрахунки втрат теплоти через пробкову ізоляцію, корпус, мідні провідники, шпильки та екран [2, 3].

Тепловиділення в результаті розряду батареї не враховувалося, оскільки

потужність джерел теплоти визначається інтенсивністю зовнішнього навантаження. Таким чином, розглянуто найгірші умови термостатування, коли батарея перебуває у режимі очікування у працездатному стані.

Для обох варіантів розглянуто стаціонарне завдання.

У 1-му випадку розраховувалися втрати теплоти теплопровідністю через мідний провідник $2 \times 0,4 \text{ мм}^2$, що живить зовнішнє навантаження, та втрати теплоти теплопровідністю через теплову ізоляцію.

У 2-му випадку розраховувалися втрати теплоти теплопровідністю через шпильки $4 \times 2 \text{ мм}$, що з'єднують корпус батареї з екраном, та мідні провідники $2 \times 0,4 \text{ мм}^2$, а також випромінюванням між корпусом батареї та зовнішнім екраном.

У зв'язку з тим, що не кожні батареї можуть працювати при низьких температурах (-30 – $40 \text{ }^\circ\text{C}$), для космічних апаратів використовують літій-сульфур-діоксидні акумулятори. Через те, що SO_2 в акумуляторах знаходиться під високим тиском існує небезпека вибуху. Акумулятор LiSO_2 відомі своїм широким діапазоном робочих температур, плоскої кривої напруги розряду, і високою щільністю енергії.

Літій- Сульфур діоксидні ($\text{Li}-\text{SO}_2$) батареї характеризують такі показники як : напруга $2,9\text{В}$, висока енергетична щільність, а також здатність до повторної короткочасної віддачі енергії. Питома енергія :приблизно $250 \text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{кг}$, робочі температури від -55 до $+70^\circ\text{C}$, маса 85 г , внутрішній електричний опір $0,20 \text{ Ом}$, ємність $613,6 \text{ Вт}\cdot\text{год}$.

Щоб батарейний блок займав найменшу площу, розміщуємо акумулятори у два ряди в циліндричному блоці [4]. При такому розміщенні площа поверхні дорівнює $55,4 \text{ см}^2$.

Для зниження теплових витрат в навколишнє середовище до мінімуму більш підходить екранно-вакуумна ізоляція.

Література

1. Омельченко О.В., Цвіркун Л.О. Тепломасообмін : навч. посіб. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2021. 100 с.
2. Тирінов А.І. Тепломасообмін та гідродинаміка теплотехнічних мікро- та наносистем. К. : ТОВ "СІ Принт", 2017 42 с.

3. Вассерман О.А., Слинько О.Г., Мальчевський В.П. Основи тепломасообміну. Одеса : Фенікс, 2014. 150 с.

4. Конспект лекцій до розділу «Теплові процеси» з курсу —Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів III–IV курсів усіх спеціальностей / Укл. О.С. Смірнова, С.О. Опарін, А.О. Черемисінова. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2013. – 106 с.

OPTIMIZATION OF GALVANIC BATTERY DESIGN FOR SPACECRAFT

Fedorov Serhii, Foris Svitlana, Pererva Valeriia, Foris Oleksii

Abstract. In accordance with the objectives of the research, modeling of the thermal state of the 24V power supply in the operating conditions of -40°C was performed. Two variants of thermostating are considered: on the basis of radioactive heating elements (RNE) and on the basis of autonomous resistive heating system.

Keywords: heat loss, heating system, screen, insulation, batteries, heat transfer.

References

1. Omelchenko O.V., Tsvirkun L.O. Teplomasoobmin : navch. posib. Kryvyi Rih: DonNUET, 2021. 100 s.
2. Tyrinov A.I. Teplomasoobmin ta hidrodynamika teplotekhnichnykh mikro- ta nanosystem. K. : TOV “SI Prynt”, 2017 42 s.
3. Vasserman O.A., Slynko O.H., Malchevskiy V.P. Osnovy teplomasoobminu. Odesa : Feniks, 2014. 150 s.
4. Konspekt lektsii do rozdilul «Teplovi protsesy» z kursu —Protsey ta aparaty khimichnykh vyrobnytstv» dlia studentiv III–IV kursiv usikh spetsialnostei / Ukl. O.S. Smirnova, S.O. Oparin, A.O. Cheremysinova. – Dnipropetrovsk: DVNZ UDKhTU, 2013. – 106 s.

СЕКЦІЯ 7

**ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ
НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ТА ПИТАННЯ АНТИ ПЛАГІАТУ**

SECTION 7

**INNOVATIVE APPROACHES TO IMPROVING THE QUALITY
OF THE EDUCATIONAL PROCESS AND
THE ISSUE OF ANTI-PLAGIARISM**

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.051

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА 150 ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Зінченко М.Д., Потап О.Ю.

Український державний університет науки і технологій

Вступ. Лабораторний прокатний стан 150 кафедри автоматизації виробничих процесів УДУНТ та здійснюваний на ньому процес прокатки свинцю має виступати як об'єкт автоматизації у навчальному процесі підготовки фахівців з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. При цьому товщина прокату розглядається як вихідна величина, зміни товщини підкату – як збурення, а зміни міжвалкового зазору – як керуючий вплив.

Проведена модернізація прокатного стана та оснащення його автоматизованими системами вимірювання енергосилових параметрів (САВ) та управління переміщенням натискних гвинтів (САУП) [1] створило можливість експериментального визначення зв'язків між вхідними та вихідними параметрами для подальшого синтезу системи автоматизованого регулювання товщини прокату (САРТ) та створення натурної моделі САРТ. Наявність такої натурної моделі забезпечить проведення якісного лабораторного практикуму з навчальної дисципліни "Автоматизація технологічних процесів та виробництв".

Основний матеріал. Експериментальні дослідження на лабораторному стані проводились для визначення жорсткості кліті та смуги, коефіцієнтів передачі, що визначають вплив товщини підкату та міжвалкового зазору на товщину прокату.

При проведенні експериментальних досліджень вимірювали геометричні розміри підкату і готового прокату, силу прокатки та міжвалковий зазор.

Силу прокатки вимірювали за допомогою месдоз, які були встановлені під натискні гвинти [1]. Підсилений сигнал від месдоз надходив на багатофункціональну плату збору даних PCI-1711. Для відображення і реєстрації експериментальних даних застосовували власний програмний пакет

вимірювання та відображення даних.

Переміщення натискних гвинтів здійснювали за допомогою САУП на базі програмованого логічного контролера та частотного перетворювача MS-300 з використанням панелі оператора DOP-103BQ та датчика кута повороту натискних гвинтів ПДФ-3 [1].

За відсутності засобів вимірювання вихідного зазору між валками з потрібною точністю 0,01 мм використовували спеціальну методику, яка полягала у багаторазовому пропусканні свинцевого зразка крізь валки з незмінним зазором. При цьому зазор визначали як товщину зразка після пропуску з близькою до нуля силою прокатки, що свідчило про відсутність пружної деформації кліті.

Товщину підкату та готового прокату вимірювали ручним мікрометром 0-25 мм, а ширину та довжину – штангенциркулем та рулеткою.

Для усунення впливу на результати вимірювання неконтрольованих коливань міжвалкового зазору (ексцентриситету прокатних валків), через які товщина смуги зазнає коливань, що сягають 0,2 мм, вимірювання здійснювали при одному й тому ж кутовому положенні валків, для чого верхній валок кернували і вимірювання товщини смуги здійснювали у точці відбитку керна.

Вплив міжвалкового зазору на товщину прокату h_1 та силу прокатки P визначали в експерименті шляхом прокатки зразків однієї товщини h_0 з різним зазором S_0 . Результати експерименту наведені на рис. 1. За отриманими експериментальними даними (див. табл. 1) визначали пружину δ_0 кліті, обтиснення Δh та модуль жорсткості смуги M_c .

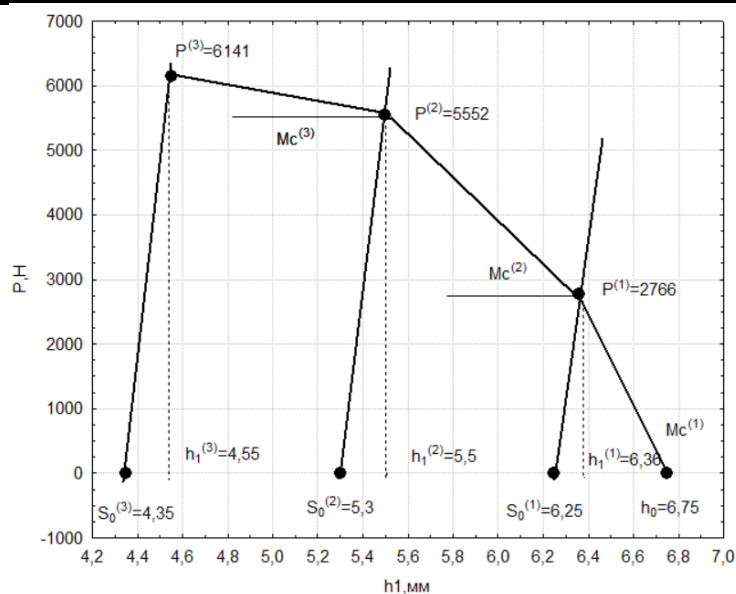


Рисунок 1 – Результати дослідження впливу міжвалкового зазору

Таблиця 1 – Експериментальні дані щодо впливу міжвалкового зазору на параметри прокатки

№	h_0 , мм	S_0 , мм	h_1 , мм	L_0 , мм	b_0 , мм	P , Н	δ_0 , мм	Δh , мм	M_c , Н/мм
1	6,75	6,25	6,36	267	47	2766	0,11	0,39	7093
2	6,75	5,3	5,5	284	49	5552	0,2	1,25	3273
3	6,75	4,35	4,55	224	44	6141	0,2	2,2	618

Вплив товщини підкату h_0 на товщину готового прокату h_1 визначили при прокатці підкатів різної товщини із зазором $S_0=3,95$ мм. Результати прокатки наведені у табл. 2.

За даними експериментів визначили відповідні рівняння регресії

$$h_1 = 0,411 + 0,95S_0; \tag{1}$$

$$P = -23757 + 12918S_0 - 1391S_0^2; \tag{2}$$

$$h_1 = 03,68 + 0,0833h_0; \tag{3}$$

$$P = -701 + 219h_0. \tag{4}$$

Таблиця 2 – Експериментальні дані щодо
впливу товщини підкату на параметри прокатки

№	h_0 , мм	S_0 , мм	h_1 , мм	L_0 , мм	b_0 , мм	P , Н	δ_0 , мм	Δh , мм	M_C , Н/мм	M_K , Н/мм
1	6,36	3,95	4,2	281	47	6612	0,25	2,16	3061	26448
2	5,5	3,95	4,15	345	49	5317	0,2	1,35	3934	26585
3	4,55	3,95	4,05	324	44	2736	0,1	0,5	5474	27370

Був також визначений коефіцієнт зв'язку між зміненням товщини підкату та міжвалкового зазору, що є необхідним для компенсації збурень за товщиною підкату

$$\Delta S_0 = \frac{K_{h_1}^{h_0}}{K_{h_1}^{S_0}} \Delta h_0 = 0,0875 \Delta h_0. \quad (5)$$

Були також встановлені значення модулів жорсткості кліті M_K та смуги M_C . Жорсткість кліті становила приблизно $M_K=2,75$ КН/мм, а жорсткість смуги змінювалась у діапазоні $M_C=0,06 - 0,72$ КН/мм, що обумовлено нелінійністю кривої пластичної деформації свинцю. Жорсткість кліті значно перевищує жорсткість смуги, що обумовлює необхідність при проведенні навчальних лабораторних занять для отримання значущих результатів використовувати підкати з максимальною розбіжністю товщини.

Для з'ясування можливості подальшого використання лабораторного стану як об'єкта автоматичного регулювання товщини здійснили імітацію роботи САРТ, що компенсує збурення за товщиною підкату зміненням міжвалкового зазору. Для цього використали три зразки товщиною 5,2 мм, 4,17 мм та 3,25 мм. При цьому товщина прокату, отримана після прокатки зразка товщиною $h_0=4,17$ мм вважалась такою, що відповідає завданню.

Після прокатки зразка товщиною 4,17 мм розраховували за виразом (5) потрібні міжвалкові зазори для здійснення прокатки зразків товщиною 5,2 мм та 3,25 мм та, встановивши ці зазори за допомогою САУП, проімітували роботу САРТ. В результаті такої імітації відхилення товщини прокату зменшились від $\Delta h_i=0,18$ мм до $\Delta h_i=0,05$ мм. Отже, підвищення точності регулювання товщини

потребує більш складного алгоритму роботи САПТ з урахуванням нелінійного характеру кривої пластичності свинцю.

Висновок. Проведені експериментальні дослідження роботи лабораторного стана 150 довели можливість його використання для формування у студентів компетенцій щодо дослідження об'єктів автоматизації та синтезу САР. При цьому визначено достатність для проведення лабораторного заняття трьох свинцевих зразків.

Література

1. Модернізація лабораторного прокатного стана 150 для формування у студентів навичок дослідження об'єкта автоматизації. Зінченко М.Д., Потап О.Ю., Рибальченко М.О., Маначин І.А. Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.-Випуск 3 (134).-Дніпро, 2021-159 с.

LABORATORY ROLLING MILL 150 STUDY AS AN OBJECT OF AUTOMATION

Zinchenko Mykhailo, Potap Oleg

Abstract. Experimental studies of the process of rolling lead samples were carried out on a laboratory mill 150. During rolling, the rolling force, the roll gap, and the dimensions of the rolled products before and after rolling were measured. Based on the results of the research, the transmission coefficients were determined, which determine the effect of the thickness of the rolled stock and the roll gap on the thickness of the finished rolled product, the rigidity of the stand and the strip. Imitation of the automated system for stabilizing the thickness of rolled products has been performed. It is shown that these studies can be performed in laboratory work on the study of automation objects.

Keywords: laboratory condition, automated system, rolling force, rolling thickness, rolling accuracy.

References

1. Modernization of the laboratory rolling mill 150 for the formation of students' skills in the study of the object of automation. Zinchenko M.D., Potap O.E., Rybalchenko M.O., Manachin I.A. System technologies. Regional interuniversity collection of scientific works.- Issue 3 (134) .- Dnipro, 2021-159 p.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ

Карабут В.М.

*Інститут промислових і бізнес технологій
Українського державного університету науки і технологій*

Abstract. In the trial version of the Delphi development environment in Object Pascal, a program has been developed that allows you to: build a scheme of cutting forces with longitudinal turning, calculate the cutting force at variable feed, calculate the cutting force at variable cutting depth, build graphs of the dependence of cutting force on feed, build graphs of the dependence of cutting forces on the depth of.

The use of a program developed in the Delphi development environment will allow automating and optimizing the processes of calculations, building diagrams and graphs, and as a result, reducing the time spent and increasing the accuracy of calculations.

The use of the considered information technologies in the educational process provides a machine-building specialist with the opportunity to work quickly and efficiently.

Keywords: energy-power parameters, cutting force, feed, cutting depth, program, calculation, scheme, schedule, automation, optimization, efficiency.

Постановка задачі. До основних енерго-силових параметрів при обробці металів різанням відносяться: сила різання, крутний момент та ефективна потужність [1].

Сила різання залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу та низки інших факторів: режимів різання, геометрії різця, форми та матеріалу різального леза, величини зносу ріжучої кромки інструменту, мастильно-охолоджуючої рідини і т. і. При певному поєднанні цих факторів можна отримати найменше значення величини сили різання, а, отже, і мінімальну потужність для здійснення процесу різання [1, 2].

Все це пов'язано з математичними розрахунками певної точності та

побудовою схем та графіків, 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 схем та графіків, підвищити точність розрахунків, а також підняти рівень та якість навчального процесу.

У ознайомлювальній версії середовища розробки Delphi [3] мовою Object Pascal розроблена програма, яка дозволяє: побудувати схему сил різання при поздовжньому точінні, розрахувати силу різання при змінній подачі, розрахувати силу різання при змінній глибині різання, побудувати графік залежності сили різання від подачі, побудувати графік залежності сили різання від глибини різання.

Висновки: застосування програми, розробленої в середовищі розробки Delphi, дозволить автоматизувати та оптимізувати процеси розрахунків, побудови схем та графіків, і як наслідок – зменшуватись витрати часу та збільшиться точність розрахунків. Застосування розглянутих інформаційних технологій у навчальному процесі забезпечує спеціалісту машинобудівного профілю можливість швидкої та ефективної роботи.

Література

1. Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование влияния режима резания на энергосиловые параметры при точении» / Сост. А.Е. Матяш, Э.В. Феоктистова. – Днепропетровск: ДМетИ, 1976. -15с.
2. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова - М.: Машиностроение, 1985. т.2. - 496с.
3. Delphi - Embarcadero Website [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.embarcadero.com>

**TRANSDISCIPLINARY STRATEGY FOR SCIENTIFIC TRAINING:
PHYSICS AND SOFTWARE ENGINEERING**

Rostoka Marina¹, Kuzmenko Olha², Zybin Serhii¹

¹*National Aviation University, Kyiv, Ukraine*

²*Flight Academy of the National Aviation University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

Abstract. Innovative activity (STEM-education, introduction of additive, digital technologies, elements of artificial intelligence, robotic systems, etc.) in the vector of development of transdisciplinary education promotes modernization of traditional educational environment, in particular in the direction of integration of physics oriented and information-technological components of scientific training, as the classic business and educational models are changing, it is possible to form personal proposals for each subject of study in the era of Industry 4.0. The authors substantiate the transdisciplinary, axiomatic-deductive, strategy of integration of scientific training according to the logical-semantic construct «physics ↔ software engineering» in the open space, which will provide unification and standardization of information in the context of physical engineering education (for example, 272 «Aviation transport», under the educational and professional programs «Maintenance and repair of aircraft and aircraft engines» and «Flight operation of aircraft»).

Keywords: Software Engineering, Physics, STEM, Open Science, Transdisciplinary Strategy, ECO-environment.

Introduction. The development of a transdisciplinary strategy for the integration of physics and engineering training of scientific personnel will give impetus to the development of relevant and demanded by the global market innovative STEM-research topics aimed at creating innovative solutions for science, education and economics in the conditions of open science.

Research result. According to the results of the research, there is no systematic holistic theoretical and methodological research of the problem of transdisciplinarity in the training of scientists in «Physics» and «Software Engineering», as transdisciplinary aspects of the innovative scientific and educational ECO-environment in this sense is the main a fundamental feature of the development of modern science, which combines theoretical knowledge into a

holistic system, reflects the objective world in its unity, the development and fundamentalization of physics-oriented and IT areas of training [1]. The present an axiomatic-deductive transdisciplinary strategy for the integration of physics oriented and IT-training of scientific personnel in open space; developed a model of ECO-environment information-analytical system in the block of physical engineering education on an adaptive basis, taking into account the provisions of STEM-education, and implemented innovative learning technologies (STEM, Internet of things, IoT, robotics, etc.) in the educational process training of scientific personnel in technical institutions of higher education.

The experiment and expert evaluation of the results of a transdisciplinary, axiomatic-deductive, strategy of integration of physics-oriented and IT training of scientific personnel showed positive changes in all indicators (evaluation of strategy, model, methodological system) using STEM technologies and confirmed the main goals and hypotheses.

Conclusions. The transdisciplinary, axiomatic-deductive strategy of integration of physics-oriented and IT-training of the scientific staff of technical institutions of higher education is outlined in the following areas: virtualization (Integration, Digital Twin) and the use of Digital by Default; development of the Internet of things; development of methodological and consulting support for transdisciplinary links in Physics and Software Engineering, expansion of contacts in line with international and domestic stakeholders in the vector of innovation – STEM-education in open science.

Emphasis is placed on the prospects of introducing a methodology of transdisciplinarity for the development of an integrated onto-oriented ECO-environment of the information-analytical system of training scientific personnel for the integration of physics oriented and information-technological areas.

References

1. Kuzmenko O., Rostoka M., Dembitska S., Topolnik Y., Miastkovska M. (2022). Innovative and Scientific ECO Environment: Integration of Teaching Information and Communication Technologies and Physics. In: Auer M. E., Hortsch H., Michler O., Köhler T. (eds) Mobility for Smart Cities and Regional Development – Challenges for Higher Education. ICL 2021. vol. 390 LNNS. In: WoS, Scopus, Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93907-6_4/ (in English).

ЗАСТОСУВАННЯ ФОРМАЛЬНИХ СТОХАСТИЧНИХ ГРАМАТИК ПРИ ВИЗНАЧЕННІ АВТОРСТВУ ТЕКСТІВ

Шинкаренко В.І., Демидович І.М.

Український державний університет науки і технологій, Україна

Визначення авторства тексту – це практичне завдання ідентифікації авторів анонімних текстів за прикладами написаних автором робіт. Завдання актуальне у все більшій кількості сфер життя людини, включаючи літературні твори, розвідку, кримінальне право, громадянське право та криміналістику. В даний час для цих цілей застосовуються різні підходи, у тому числі теорія розпізнавання образів, математична статистика і теорія ймовірності, нейронні мережі, кластерний аналіз і багато інших [1, 2], які визначають і використовують різну атрибуцію текстів.

Відомі різні дослідження формалізації природної мови [3, 4] та формальні стохастичні граматики – один із методів роботи з природною мовою [5, 6, 7]. Подібні дослідження проводилися для італійської [8] та української мови [9]. У цій роботі ми використовували формальні стохастичні граматики для відображення структури речень, характерної для особистого стилю письма автора.

Для формування правил виконувався переклад природньомовного тексту формальною мовою, що породжується формальною стохастичною граматиною. На підставі статистичної вибірки творів формувалися правила виведення та ймовірність їх застосування. І цього для кожного твору навчальної вибірки відбувалося відновлення відповідної йому стохастичної формальної граматики, яка визначає структуру кожного з речень у досліджуваному тексті. Потім для кожного правила визначалася ймовірність його застосування у конкретному творі. Ймовірність виведення всього речення визначалась як добуток ймовірностей, використаних у ньому послідовностей частин мови. Отримані правила породжують мову, характерну для оброблюваного та структурно подібних творів певного автора.

Для опису структури досліджуваного тексту використовуються частини

мови як характеристика кожного слова. Ймовірність прораховується як кількість наявних випадків у тексті, поділена на їхню загальну кількість.

Правила підстановки для деякого твору T мають початковий нетермінал, далі термінали, що відповідають кожному слову у реченні та ймовірність застосування відповідного правила при розборі твору, та мають вигляд:

$$\sigma \xrightarrow{p_{1j}} b_{1j} A_{1,j}, \quad A_{i,j} \xrightarrow{p_{i+1,k}} b_{i+1,k} A_{i+1,k}, \quad j=1 \dots J_i, \quad k=1 \dots K_i$$

де σ – початковий нетермінал, b_{ij} – термінали, відповідні i -му слову у реченні (i відповідні i -му правилу, що застосовується при розборі пропозиції або i -му рівню правила), A_{ij} – j -й нетермінал у правилі i -го рівня, p_{ik} – ймовірність застосування відповідного правила при розборі даного твору, J_i , K_i – кількість різних нетерміналів у правій частині правил $i-1$ -го рівня та i -го рівня, відповідно. Рівень відповідає порядковому номеру слова у реченні.

Допускається кілька альтернативних правил з нетерміналом у лівій частині правила, але при цьому термінали у правій частині таких правил різні, що забезпечує детермінований розбір.

Для порівняння двох творів вони мають бути представлені у вигляді відновленої формальної стохастичної граматики з правилами, формування яких описано вище. Кожна послідовність правил одного тексту порівнюється з кожною послідовністю правил іншого тексту.

Допустимо у двох досліджуваних текстах є речення подібної структури, тоді ступінь їхньої статистичної структурної подібності буде визначатися як добуток мінімальної різниці ймовірностей застосування відповідного правила. А ступінь статистичної структурної подібності текстів двох творів – як сума ступенів подібності всіх його речень.

Для експериментального дослідження ефективності запропонованого методу визначення авторства та формування відповідної атрибуції тексту сформовані навчальна та контрольна вибірки. До навчальної вибірки було відібрано по 40 творів художньої літератури 10 українських авторів. Контрольна вибірка складалася із 6 творів кожного автора.

Виконувалося відновлення формальних стохастичних граматик за всіма творами кожного автора навчальної вибірки, що породжують формальну мову,

характерну конкретному автору. При визначенні схожості твору у ролі одного із порівнюваних текстів використовувалася формальна стохастична граматики, що відповідає твору з контрольної вибірки, а іншого – стохастична граматики для всіх творів потенційного автора разом.

Розраховувався показник структурної схожості текстів творів одного автора між собою. Для поліпшення достовірності результатів визначались довірчі інтервали для кожного з авторів вибірки за критерієм Стюдента. Нижче (рис. 1) представлені результати експерименту.



Рисунок 1 – Діаграма результатів розпізнавання авторству текстів

Згідно з отриманим результатам, у 14 випадках у результаті визначення авторства був отриман один вірний кандидат, що склало 23,3%. У 36 випадках програма змогла звужити кількість претендентів до 3, при цьому в 31 випадку претендент з найбільшою структурною схожістю був вірно встановленим автором (що становило 51,7% від загальної вибірки), і ще у 5 випадках вірний автор потрапив до списку кандидатів (8,3 % від загальної вибірки). Також всього у 8 випадках авторство тексту не було визначено – жоден з представлених кандидатів не був вірним, що становило 13,3%.

Виконаний експеримент наочно продемонстрував, що запропонований метод є конкурентноспроможним серед інших існуючих. Цей метод надає нові атрибуції природньомовним текстам, що надає позитивні перспективи його застосування у сукупності з іншими існуючими методами.

APPLICATION OF FORMAL STOCHASTIC GRAMMARS

IN DETERMINING THE TEXTS AUTHORSHIP

Shinkarenko Viktor, Demidovich Inna

Abstract. The work is based on the author's texts individual style presence hypothesis, in particular, the sentence structure formation. In this work, the authorship of natural language texts was determined based on the sentence structure formalization in all texts of each author from the training sample. We used the restoration of a formal stochastic grammar corresponding to each work of the author with the inference rules formation and their application probability calculation based on a statistical sample. To increase the reliability of the results, a confidence interval was calculated using Student's t-test for each of the authors. During authorship establishing, a probabilistic measure of the text belonging to a formal stochastic grammar describing the individual style of the author was determined. The texts authorship established as a result of the experiment was about 80%. The performed experiment clearly showed that the proposed method is competitive among other existing ones.

Keywords: natural language, formal language, formal stochastic grammar, statistical analysis, text structure, text authorship, classification, parsing, confidence interval.

References

1. R.A.Hardcastle, CUSUM: a credible method for the determination of authorship? *Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society*, 37(2) (1997) 129-138. doi: 10.1016/s1355-0306(97)72158-0.
2. Juola, P. Authorship attribution. *Found. Trends Inf. Retr.* 1(3), 233–334 (2006).
3. O. V. Bisikalo, Formal methods imagery analysis and synthesis of natural language constructions: monograph. Vinnitsa: VNTU, 2013.
4. Ya. O. Kohan, On the possibilities of formalizing natural languages, *TAAPSD*, volume 3, 137 – 143 (2016).
5. M. Silberztein, A new linguistic engine for nooj: Parsing context-sensitive grammars with finite-state machines, in: *International Conference on Automatic Processing of Natural-Language Electronic Texts with NooJ* (2017) 240– 250.
6. T. Booth, Probability Representation of Formal Languages. *IEEE Annual Symp*, in:

Switching and Automata Theory, 1969.

7. S. Shieber, Evidence against the context-freeness of natural language, in: Linguistics and Philosophy, vol. 8, 1985.

8. A. Mazzei, V. Lombardo, Building a large grammar for Italian, in: LREC, 2004.

9. V. Shynkarenko, O. Kuropiatnyk, Constructive Model of the Natural Language, Acta Cybernetica. Vol. 23, Nr 4. (2018) 995–1015. doi: 10.14232/actacyb.23.4.2018.2.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2022.01.059

РОЗРОБКА МОДУЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО ДОДАТКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГНУЧКОЇ АРХІТЕКТУРИ DOCKER КОНТЕЙНЕРІВ

Молодець Б.В., Болдирев Д.О., Децик В.О., Булана Т.М., Грабовець Д.М.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Вступ. Будь-яка навчальна дисципліна містить у собі доволі глибокий теоретичний та науковий зміст, на вивчення якого йде багато років досвіду та розрахунків. Однак прикладна користь наукових робіт для суспільства зазвичай знаходиться на стику декількох дисциплін. А отже з'являється попит на спеціалістів подібного спектру та програмного забезпечення, яке допоможе їм якнайшвидше опанувати новітні технології різних галузей та автоматизувати базові процеси. Робота присвячена створенню програмного додатку для студентів-екологів, викладачів та розробників програмного забезпечення, які займаються створення моделей прогнозування та оцінки забруднення повітря та екологічних напрямків, за допомогою якого вони можуть користуватись бібліотекою математичних моделей, які були розроблені студентами чи науковцями факультетів з математичного моделювання. При цьому завантаження таких даних, як погодні умови, мапи території, космічні знімки та дані ландшафту відбувається автоматично.

Мета роботи. Розробка модульного програмного додатку для студентів-екологів, викладачів та розробників, в який можна додавати різноманітні математичні моделі для розрахунку розповсюдження шкідливих речовин у атмосфері.

Основний зміст роботи. Для навчання було вирішено обрати технологію віртуальних контейнерів – що надає можливість запускати проект без встановлення додаткового ПЗ. На відміну від віртуальної машини контейнери є абстракцією на програмному а не фізичному рівні, що дає змогу швидко запустити одразу декілька контейнерів в одній системі. Контейнер є окремою системною одиницею, що містить у собі програмний код з допоміжними пакетами, що дає змогу розгорнути проект в різних середовищах. В свою чергу у Docker контейнери зберігається все необхідне для запуску як додатку (код, системне програмне забезпечення, налаштування оточення тощо). Така ізоляваність також гарантує однакову поведінки розробленої системи не залежно від системних характеристик машини. Окрім цього використання

контейнерів полегшує базове налаштування середовища розробки, позбавляючи необхідності встановлювати додаткові бібліотеки та інтерпретатори мов програмування, а запуск контейнера відбувається однією командою у терміналі. Технологія контейнеризації є дуже гнучкою та зручною для підключення нових модулів. Так, наприклад, якщо до складу великої моделі входить низька більш простих моделей, то контейнер великої моделі може приєднувати до себе вже налаштовані контейнери малих моделей. При використанні декількох контейнерів одночасно, для кожного із них можна запрограмувати, яку частину пам'яті та процесору він зможе використовувати при максимальному навантаженні. У якості програмного оточення було створено docker контейнер, у якому встановлена ОС Linux. Додаток містить скрипт, що використовує “Стационарну Гаусівська модель” для розрахунку розповсюдження хмари забруднення, підтримує мови програмування Python, C#, Java. Ця модель є найбільш простою для розуміння, однак незважаючи на свою простоту, її функціонал є доволі достатнім для розуміння зони ураження викидами [1].

В скрипті рівняння Гаусівської моделі описується наступною формулою:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{(2\pi u \sigma_y \sigma_z)} \exp\left[-\frac{(y - y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z - H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z + H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

$C(x,y,z)$ – концентрація забруднюючих елементів у точці з координатами x, y, z , [г/м³]; Q – потужність безперервного точкового джерела забруднення, [г/с]; H – ефективна висота джерела забруднення, [м]; u – швидкість вітру на висоті H метрів, [м/с]; σ_y – горизонтальні дисперсії, [м]; σ_z – вертикальна дисперсія, [м]; а напрямок вітру співпадає з напрямком осі Ox .

Для завантаження погодних умов у додатку реалізовано підключення до серверів ERA5[2], також є можливість завантажити туди дані з математичної моделі WRF. Вхідними даними є файли з конфігураціями для певного скрипту, який хоче запустити користувач. Сам файл може мати інформацію про період моделювання, кількість та потужність джерел та ін. Вихідними файлами можуть бути як гіф анімації та картинки так і файли форматів netCDF.

Наступним можливим кроком у розвитку додатка це перехід на мобільні версії, що зможе надати зручності в використанні та підвищити швидкість навчання. Враховуючи сучасну тенденцію зростання популярності мобільних додатків цей крок є максимально актуальним, а також може підвищити

популярність і, можливо, простоту використання. Враховуючи те, що мобільні телефони завжди під рукою це дає змогу використовувати додаток будь де та майже при будь яких умовах де можна отримати доступ до інтернету.

Використовуючи переваги Docker та архітектуру клієнт-сервер, можна отримати програму, яка не залежить від програмного забезпечення користувача, адже здебільшого студенти не мають потужних систем для розрахунків результатів. За допомогою хмарних сервісів, можна нарощувати потужність серверної частини прямо пропорційно до кількості користувачів.

Література

1. Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості - XVI міжнародна конференція 154-156с.
2. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts [Електронний ресурс] // URL: www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5

DEVELOPMENT OF A MODULAR EDUCATIONAL APPLICATION USING THE FLEXIBLE ARCHITECTURE OF DOCKER CONTAINERS

Molodets Bohdan, Boldyriev Daniil, Bulana Tetiana,

Detsyk Vladyslav, Dmytro Grabovets

Abstract. Each educational discipline involve enough deep theoretical and scientific context, which require a lot of experience and calculation for learning. However, scientific work is often in several disciplines. So there is demand for experts and software applications, which can improve the educational process. This article is about creating a system for students-ecologists, tutors, software developers in air quality and ecology domains, which helps use formulas, calculated by students from math modeling faculties.

Keywords: Docker, client-server, Gaussian model, ERA5, WRF.

References

1. Problemy vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii v osviti, nauksi ta promyslovosti - XVI mizhnarodna konferentsiia 154-156s.
2. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts [Електронний ресурс] // URL: www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5

Зміст

Секція 1

Системний аналіз і синтез процесів у металургії та машинобудуванні

Section 1

System analysis and synthesis of processes in metallurgy and machine-building

Аджамський С.В., Кононенко Г.А., Подольський Р.В. ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЧИСЛЕНИХ ТА ФАКТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПЛАВУ INCONEL 718	4
Голуб Т.С., Молчанов Л.С., Семикін С.І. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ФАКЕЛУ ДОГОРЯННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ, ЯК ЗАСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРЕБІГУ ФІЗИКО- ХІМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В ПРОЦЕСАХ ВИПЛАВКИ СТАЛІ	9
Гречаний О.М., Васильченко Т.О., Федоренко С.В., Синявський Д.А., Цегельний Є.С. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ «МІНІМАЛЬНОГО РИЗИКУ» В ТЕХНІЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ	15
Гришин О.М., Надточій А.А., Петренко В.О., Киричок В.С. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ ГУБЧАТИХ ЛІГАТУР	20
Дзензерський В.О., Бурилов С.В., Скосар В.Ю., Жулай Ю.О., Ворошилов О.С. МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ЛІТІЄВИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ	25
Іванова Л.Х., Колотило Є.В., Мирошниченко Г.О. РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНІ МЕТАЛИ У ВАЛКОВИХ ЧАВУНАХ	30
Ковзель М.А., Парусов Е.В. ПРО СТІЙКІСТЬ ДО АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ХРОМОМАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ	35

Малайчук В.П., Клименко С.В., Астахов Д.С. СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИПАДКОВОСТІ ПОДІЙ В ЗАДАЧАХ КОТРОЛЮ ТА КІБЕРБЕЗПЕКИ.....	40
Молчанов Л.С., Борисенко А.Ю., Голуб Т. С. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ РУЙНУВАННЯ ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ ВОГНЕТРИВІВ У СКЛАДІ ФУТЕРІВКИ 60-Т КИСНЕВОГО КОНВЕРТЕРА МЕТОДАМИ МІКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ.....	42
Носко М.І., Фролов Я.В., Бобух О.С., Самсоненко А.А. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ-З'ЄДНАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ АРМОВАНИХ КОМПОЗИТІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ЗДАТНІСТЮ ДО ПОГЛИНАННЯ ЕНЕРГІЇ УДАРУ І ВОГНЕТРИВКІСТЮ	46
Величко К.А. ТЕХНОЛОГІЇ РАФІНУВАННЯ ФЕРОХРОМУ У КОНВЕРТЕРІ ГКР	49

Секція 2

*Інформаційні технології в процесах одержання
матеріалів із заданими властивостями*

Section 2

*Information technologies in the processes of obtaining
materials with specified properties*

Бобирь С.В., Парусов Е.В., Голубенко Т.М., Лошкарьов Д.В. МОДЕЛЮВАННЯ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ У ПРОЦЕСІ ОХОЛОДЖЕННЯ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ	52
Котова Т.В., Ковзель М.А. СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ ТОНКОЛИСТОВОЇ СТАЛІ 08ПС ПІСЛЯ ДРЕСИРУВАННЯ	56
Луценко В.А., Голубенко Т.М., Чуйко І.М., Луценко О.В. МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛЕГОВАНОГО ПРОКАТУ.....	61

Парусов Е.В., Чуйко І.М., Парусов О.В., Сагура Л.В.
ПРО ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУР САМОВІДПУСКУ
СТРИЖНЕВОЇ АРМАТУРИ З ВИСОКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ПІД ЧАС
ТЕРМІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ.....66

Пушкаренко М.В., Молчанов Л.С., Кисляков В.Г.
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВВЕДЕННЯ АКТИВНИХ
РЕАГЕНТІВ У РІДКИЙ ЧАВУН ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПРОЦЕСУ
КОМПЛЕКСНОГО РАФІНУВАННЯ71

Togobytska N.
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL FOR PREDICTION OF MECHANICAL
PROPERTIES OF STEEL.....74

Фролов Я.В., Бобух О.С., Самсоненко А.А.
ОТРИМАННЯ ВИСОКОГО РІВНЮ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ В
ТОНКОСТІННИХ ТРУБАХ І ПРОФІЛЯХ З ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ79

Фролов Я.В., Медведєв М.І., Березос В.О., Бобух О.С., Самсоненко А.А.
ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ГАРЯЧЕПРЕСОВАНИХ
ТРУБ З ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ І СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ТИТАНУ83

Шифрин Є.І., Квітка Н.Ю., Кузьміна О.М., Бобух О.С., Самсоненко А.А.
УДОСКОНАЛЕННЯ ФОРМИ ДВОВАЛКОВОГО КРУГЛОГО КАЛІБРУ З
КРУГЛИМИ ВИПУСКАМИ СТАНУ ПОЗДОВЖНЬОЇ
ПРОКАТКИ ТРУБ НА КОРОТКІЙ ОПРАВЦІ88

Секція 3

Математичне моделювання складних систем

Section 3

Mathematical modeling of complex systems

Байрак І.В., Поливода О.В., Рудакова Г.В.
МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ В ПРОЦЕСІ РОБОТИ
ДОЩУВАЛЬНОЇ МАШИНИ «ФРЕГАТ»94

Біляєв М.М., Біляєва В.В., Русакова Т.І., Берлов О.В., Козачина В.А.
ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ В
ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ НАСЛІДКІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЙ
НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ99

Грищенко А.А.

ТОПОЛОГІЧНО ЗАПЛУТАНА ЕНЕРГІЯ ЯК МОДЕЛЬ
ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК..... 102

Дмитрієва І.С.

МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАННЯ СТАЛЕВОЇ ПЛАСТИНИ У ВОДІ
ПІД ДІЄЮ НАВАНТАЖЕНЬ ДЛЯ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ КОНСТРУКЦІЇ..... 104

Зінченко А.В., Благій О.Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ
МАСШТАБУВАННЯ ВІДЕО БІБЛІОТЕКИ LIBSWSCALE..... 107

Іванчук Я.В., Іскович-Лотоцький Р.Д.,

Коваль К.О., Куш Я.Ю., Воловик Б.П.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ
ВТОРИННОЇ ПЕРЕРОБКИ МЕТАЛЕВИХ ВОЛЬФРАМОВИХ СТРИЖНІВ 109

Карпенко С.Л., Рудакова Г.В.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ
ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ 114

Киричок В.С., Надточій А.А., Великонська Н.М.

ТЕРМОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИЛІКОТЕРМІЧНОГО
МЕТОДУ ОТРИМАННЯ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОГО
ФЕРОМАРГАНЦЮ У КОНВЕРТЕРІ..... 117

Книш Л.І., Масаликін С.С., Юрков Р.С., Борисенко А.Г.

МУЛЬТИФІЗИЧНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В
СИСТЕМІ ПРИЙОМУ ТА АКУМУЛЮВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ 123

Куроп'ятник О. С.

ВПЛИВ ПРУЖНИХ ТА ІНЕРЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ШКІВА ЗМІННОГО
МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ НА ЙОГО ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ..... 127

Куроп'ятник О.С., Шинкаренко В.І.

АВТОМАТИЗАЦІЯ АНАЛІЗУ КОРЕКТНОСТІ УМОВНИХ
ПОЗНАЧЕНЬ У НАУКОВИХ РОБОТАХ 133

Малайчук В.П., Клименко С.В., Лисенко Н.О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ КЛАСИЧНОГО ТА МОДИФІКОВАНОГО
КРИТЕРІЮ БУША-ВІНДА В ЗАДАЧАХ КІБЕРБЕЗПЕКИ 138

Міщенко В.Ю., Качан Ю.Г.

МОЖЛИВОСТІ ЗМЕНШЕННЯ ОБСЯГІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ
РУДНОТЕРМІЧНОЮ ПІЧЧЮ 140

Panevnyk D. THEORETICAL INVESTIGATION OF HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF A DOWNHOLE EJECTION SYSTEM	143
Поліський Ю.Д. ОЦІНКА РЕАЛІЗОВАНOSTІ АЛГОРИТМУ ЗА ЙОГО СТРУКТУРНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ.....	147
Пошивалов В.П., Данієв Ю.Ф. КЛАСИФІКАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ.....	150
Selivorstova T., Selivorstov V. FRACTAL HEAT AND MASS TRANSFER FOR SIMULATION OF PROCESSES IN THE TWO-PHASE ZONE OF METAL SOLIDIFICATION	151
Снігура І.Р., Петров О.П., Гловко Л.А., Ходотова Н.Є., Кукса О.В. МОДЕЛЬНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ І ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПЛЕКСНОГО ФЕРОЦИРКОНІЮ.....	153
Снігура І.Р., Тогобицька Д.М., Степаненко Д.О. КРИТЕРІЇ ТА МОДЕЛІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ У СИСТЕМІ «МЕТАЛ-ШЛАК» ПРИ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛІ	156
Сохацький А.В. ЧИСЛОВИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИСОКОШВИДКІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ АПАРАТІВ	161
Sushko L. MATHEMATICAL MODELING OF TECHNICAL CONDITION OF MECHANISMS	166
Федотова М. О., Скриннік І.О., Березюк І.А., Трушаков Д.В., Зубенко В.О., Сербул О.М. СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЯК ЗАСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МАТРИЦІ ПЕРЕДАТОЧНИХ ФУНКЦІЙ БАГАТОВИМІРНОГО ОБ'ЄКТА З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ І ЗАПІЗНЕННЯМ.....	171
Chunikhin A., Selivorstova T. FEATURES OF FRACTIONAL APPLICATION DERIVATIVES FOR MODELING TEMPERATURE AND MASS TRANSFER IN NON-EQUILIBRIUM CONDITIONS	175

Shynkarenko V., Zhuchyi L.

ONTOLOGICAL SUPPORT OF METALLURGICAL AND MACHINE-BUILDING
TECHNOLOGICAL PROCESSES 178

Редчиць Д., Тучина У., Заїка В.,

Моїсеєнко С., Старун Н., Маломуж Т., Вигоднер І.

КЕРУВАННЯ СТРУКТУРОЮ ПОТОКА ПОВІТРЯ ЗА
ДОПОМОГОЮ ПЛАЗМОВИХ АКТУАТОРІВ 181

Секція 4

Інтелектуальні інформаційно-управляючі системи та технології

Section 4

Intelligent information management systems and technologies

Білова О.В.

ЗАСТОСУВАННЯ АСИМПТОТИЧНОГО МЕТОДУ ПРИ
РОЗВ'ЯЗАННІ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ МЕХАНІКИ..... 186

Гуляєв А.В., Филь Р.С., Мельник В.Є.

ПРОЕКТУВАННЯ І СТВОРЕННЯ ОБОЛОНОК ПОДОВЖЕНИХ
СПЕЦІАЛЬНИХ ЗАРЯДІВ..... 190

Ivashchenko V., Shvachych G., Sushko L.

COMPUTER SYSTEM FOR MECHANISMS DIAGNOSIS 194

Русакова Т.І., Біляєв М.М.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКРАНУВАННЯ ВЗДОВЖ АВТОДОРОГ ДЛЯ
ЗМЕНШЕННЯ ГАЗОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПРИЛЕГЛІЙ ТЕРИТОРІЇ . 199

Мала Ю.А., Ковальов В.В.

АНАЛІЗ МЕТРИК ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 204

Кононов Д.О., Остапчук Ю.А.

РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ
КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРАЦІЙНОГО ГРОХОТА..... 209

Секція 5

*Прогресивні інформаційні технології та організація
сучасного виробництва*

Section 5

*Progressive information technologies and organization
of modern production*

Бабаченко О.І., Тогобицька Д.М., Балаханова Т.В., Кононенко Г.А.
ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ФОРМУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА
СТРУКТУРУ СТАЛЕЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ОСЕЙ215

Белькова А.І., Тогобицька Д.М., Степаненко Д.О, Ліхачов Ю.М.
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ВЕКТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ
ДОМЕННОЇ ШИХТИ.....218

Бойко Л.Т., Ляшенко І.С.
ВИКОРИСТАННЯ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ ОПТИМІЗАЦІЇ В
ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА223

Жуковицький І.В., Цикало І.Д.
МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ
ВИЯВЛЕННЯ НОВИХ ТИПІВ МЕРЕЖЕВИХ АТАК.....228

Zakharov O., Selivorstova T.
DETECTION OF CARBIDE INCLUSIONS ON DIGITAL IMAGES OF METAL
STRUCTURES232

Нестеренко Г.І., Музикін М.І., Кузьменко А.І.
ВПЛИВ ВАНТАЖОНАПРУЖЕНОСТІ НА КІЛЬКІСТЬ
ПРИЗНАЧЕНЬ ФОРМУВАННЯ ПОЇЗДІВ.....234

Островська К.Ю., Карпенко О.В.
СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЗАЄМОДІЇ НЕІГРОВИХ ПЕРСОНАЖІВ НА
ОСНОВІ ХАРАКТЕРИСТИК ОСОБИСТОСТІ238

Пашук В.В., Жуковицький І.В.
ВИКОРИСТАННЯ МЕХАНІЗМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АУТЕНТИФІКАЦІЇ
ВАНТАЖНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАГОНІВ241

Подольський Р.В., Сафронова О.А., Меркулов О.Є., Кононенко Г.А.
ВИГОТОВЛЕННЯ РЕЙКОВОЇ СТАЛІ НОВОГО ПОКОЛІННЯ..... 244

Rudyk O., Kaplun P., Honchar V.
INVESTIGATION OF A UNIVERSAL PULLER OF
BEARINGS WITH SOLIDWORKS..... 248

Скалозуб В.В., Горячкін В.М., Клименко І.В., Шаповал Д.О.
МОДЕЛІ ТА ПРОЦЕДУРИ КЛАСИФІКАЦІЇ І ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ПРОЦЕСІВ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ХАОТИЧНОЇ ДИНАМІКИ..... 252

Солдатенко Д.В., Гнатушенко Вік.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОБРОБКИ ПЕРВИННИХ ДАНИХ НА
РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ
РОЗПІЗНАННЯ СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ 255

Камкін В.Ю., Мішалкін А.П.
МОДЕЛЮВАННЯ РОЗЧИНЕННЯ ВАПНА В ШЛАКУ ОКИСЛЮВАЛЬНОГО
ПЕРІОДУ ВИПЛАВКИ СТАЛІ В ДСП 259

Guda A., Zimoglyad A.
SIMULTANEOUS PARAMETRIC IDENTIFICATION FOR
THE COUPLED RELAXATION GENERATORS SYSTEM 261

Секція 6

Системні технології обробки інформації та кібербезпека

Section 6

System information processing technologies and cybersecurity

Ivashchenko V., Shvachych G., Sobolenko O., Ivashchenko O.
INTELLIGENT MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR THE PIPE
MANUFACTURING PROCESS 266

Moroz D.
RESEARCH OF MULTICHANNEL MODES OF THE NETWORK INTERFACE OF
MODULAR COMPUTING SYSTEMS 271

Ситник Р.С., Гнатушенко Вік.В.

АНАЛІЗ ОБМІНУ ДАНИМИ МІЖ ПІДПРИЄМСТВАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ
ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ.....275

Федоров С.С., Форись С.М., Перерва В.Я., Форись О.М.

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ГАЛЬВАНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ280

Секція 7

***Інноваційні підходи підвищення якості навчального процесу та
питання анти плагіату***

Section 7

***Innovative approaches to improving the quality of the educational process and
the issue of anti-plagiarism***

Зінченко М.Д., Потап О.Ю.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА 150 ЯК ОБ'ЄКТА
АВТОМАТИЗАЦІЇ.....284

Карабут В.М.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧІННІ289

Rostoka M., Kuzmenko O., Zybin S.

TRANSDISCIPLINARY STRATEGY FOR SCIENTIFIC TRAINING: PHYSICS AND
SOFTWARE ENGINEERING.....291

Шинкаренко В.І., Демидович І.М.

ЗАСТОСУВАННЯ ФОРМАЛЬНИХ СТОХАСТИЧНИХ ГРАМАТИК ПРИ
ВИЗНАЧЕННІ АВТОРСТВУ ТЕКСТІВ.....293

Молодець Б.В., Болдирев Д.О.,

Децик В.О., Булана Т.М., Грабовець Д.М.

РОЗРОБКА МОДУЛЬНОГО НАВЧАЛЬНОГО ДОДАТКУ З ВИКОРИСТАННЯМ
ГНУЧКОЇ АРХІТЕКТУРИ DOCKER КОНТЕЙНЕРІВ298