

Міністерство освіти і науки України

Системні технології

System technologies

3 (134) 2021

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць

Засновано у січні 1997 року.

У випуску:

- ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА
- МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ
- СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3 (134). - Дніпро, 2021. – 159с.

ISSN 1562-9945 (Print).

ISSN 2707-7977 (Online).

Редакційна колегія випуску:

Алпатов А.П. - д.т.н., проф. (відп. редактор)

Архипов О.Є. - д.т.н., проф.

Білозьоров В.Є. - д.ф.-м.н., проф.

Бабічев С.А. (Чеська Республіка) - д.т.н., доц.

Єрьомін О.О. - д.т.н., проф.

Прогресивні інформаційні технології та організація сучасного виробництва

Гече Ф.Е. - д.т.н., проф., (відп. редактор)

Гуда А.І. - д.т.н., проф.

Гнатушенко Вік.В. - д.т.н., проф.

Скалозуб В.В. - д.т.н., проф.

Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем

Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф., (відп. редактор)

Гожий О.П. - д.т.н., проф.

Кіріченко Л.О. - д.т.н., проф.

Светличний Д.С. (Польща) - д.т.н., проф.

Хандецький В.С. - д.т.н., проф.

Системні технології обробки інформації

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради
Національної металургійної академії України
від 22.01.2021 р., № 1

Адреса редакції: 49600, Дніпро, пр. Гагаріна, 4
Національна металургійна академія України,
кафедра Інформаційних технологій та систем.

Тел. +38(056)7135256

Е-mail: st@nmetau.edu.ua

<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

© Національна металургійна академія України,
ІВК «Системні технології», 2021

О.М. Гречаний, Т.О. Васильченко, А.О. Власов,
Е.А. Гузь, Д.В. Цімахович

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА КОЕФІЦІЄНТ ДИНАМІЧНОСТІ ОБЛАДНАННЯ

Анотація. Встановлено вплив зміни технологічних режимів прокатки на динамічне навантаження моталок прокатних станів. Досліджена зміна коефіцієнта динамічності для різних товщин намотуємої штаби. Дані рекомендації по оптимальним товщинам намотування штаби з точки зору динамічного навантаження на вузли барабанної моталки. Ключові слова: прокатний стан, моталка, коефіцієнт динамічності, момент сил пружності

Постановка проблеми. Технологічне обладнання металургійної промисловості працює в складних умовах з точки зору динамічних навантажень. З іншого боку до їхніх механізмів пред'являються особливі вимоги – вони мають бути надійні в роботі та допускати легке регулювання, а у випадку поломки допускати швидку заміну або ремонт вузлів та деталей, та одночасно повинні відповідати умовам точності відтворення заданих технологічних операцій [1].

Повна ясність в процесах, що супроводжують роботу механізмів, які перебувають у важких динамічних умовах, дозволяє конструктору вибрати правильне рішення, що забезпечує нормальну роботу машини. У той же час машини не тільки повинні задовольняти умовам міцності при заданій їхній продуктивності, а й мати раціональну металоємність [2].

Незалежно від призначення й конструктивних особливостей всі машини мають загальні властивості — пружність ланок і здатність за певних умов до збудження коливальних процесів. Тому теоретичні методи дослідження динамічних явищ у машинах, включаючи прокатне встаткування, є загальними, відмінність полягає лише в параметрах динамічних систем і режимах технологічного навантаження, що буде позначатися на ступені інтенсивності порушуваних коливань [3].

При такій постановці завдання динамічний розрахунок машини повинен проводитися з урахуванням пружності ланок, у результаті чого можуть бути визначені сили й моменти сил пружності у всіх ланках лінії передачі, що залежать

від величини й характеру зміни зовнішніх моментів рушійних сил і сил опору [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із завершувальних етапів металургійного циклу є прокатне виробництво.

У сучасних прокатних цехах технологічні операції здійснюються по поточковому і безперервному принципам Створення нового прокатного обладнання і експлуатація складних машин вимагає використання досягнень в різних областях науки та техніки. У поточковій технологічній робочій лінії вбудовуються ножиці, правильні машини, моталки, розмотувачі, кантувачі, маніпулятори, штовхачі, транспортери [3]. І від злагодженої роботи цих механізмів залежить продуктивність технологічної лінії в цілому.

Роботою [4] досить ретельно розглянуто питання динамічних навантажень з точки зору взаємодії прокатних клітей безперервного широкоштабового стану 1680, при цьому вплив зміни технологічних режимів прокатки на обладнання поточної лінії, зокрема моталки, не висвітлено.

Вимірювання моментів сил пружності на станах виконуються в експериментальних цілях обмежений час, як правило в одній, рідше в двох точках лінії приводу. Отримані результати не описують інші вузли лінії. В той же час в практиці виникають питання, коли необхідно знати максимальні динамічні навантаження на різних ділянках лінії, а саме необхідно розуміти закономірності їхньої зміни під час експлуатації прокатного стану з урахуванням технічного стану обладнання та режимів прокатки [5].

Дуже часто при дослідженні динамічних процесів доводиться зустрічатися з аналізом можливих впливів, природа яких повністю не зрозуміла. Ці впливи можуть викликатися як зовнішніми неконтрольованими (випадковими) збурюваннями, так і неконтрольованими змінами геометрії й параметрів системи [6].

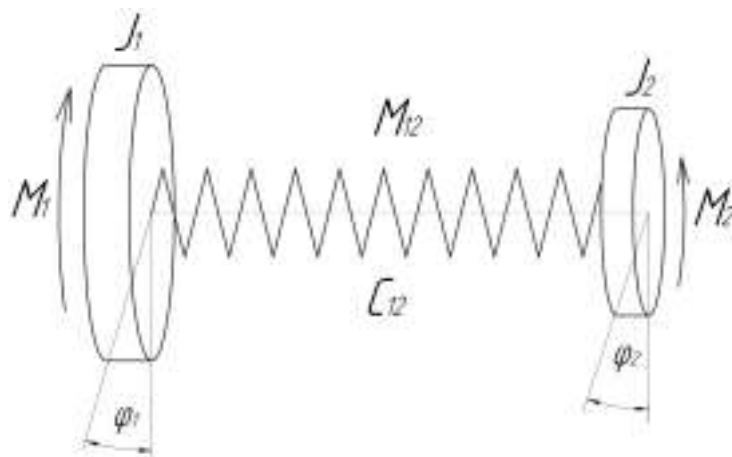
На сучасному етапі єдиним можливим шляхом наукового пошуку розв'язання задач оптимізації в механіці є метод математичного моделювання. Отримане рішення дає певне уявлення про взаємозв'язки елементів проектованої машини чи механізму, а також дозволяє цілеспрямовано змінювати параметри, а при необхідності і конструкцію, механізму. За даними моделювання можна перевірити поведінку механізму в ідеальних та екстремальних умовах його роботи [7].

Мета дослідження. З врахуванням вище наведеного з метою зниження простоїв обладнання, по причині аварійних відмов, пов'язаних зі збільшенням динамічних навантажень від неправильно обраних технологічних режимів по-

ставлена задача по аналітичному дослідженню впливу зміни технологічного процесу прокатки на коефіцієнт динамічності на прикладі ролик-барабанних моталок прокатних станів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Привод будь-якої машини складається із зосереджених мас, що з'єднанні між собою валами, муфтами, зубчатими та іншими передачами. Всі ці з'єднувальні елементи, якими б жорсткими вони не здавалися на перший погляд, володіють пружними властивостям. Тому під дією зовнішніх навантажень вони деформуються і зосереджені маси здійснюють, крім основного обертального руху, крутильні коливання. У зв'язку з цим ділянки валів закручуються або розкручуються відповідно зростанню чи зменшенню моментів сил пружності відносно середнього крутного моменту, який передається валом. Моменти сил пружності у деяких випадках можуть бути настільки великі, що в декілька раз будуть перевищувати статичні й інерційні навантаження, а це дуже небезпечно з точки зору міцності найбільш навантажених деталей та вузлів. Крім того, негативний вплив на міцність деталей чинить циклічність навантаження. Тому при розрахунку важко-навантажених машин необхідно враховувати пружні сили і характер їх змінності у часі [8].

Для аналізу вимушених коливань виникаючих в приводі барабана моталки стану 1680 розглянемо двомасову крутильну систему (рис.1), до якої прикладені зовнішні моменти M_1 – момент технологічного опору робочого органу, приведенного до вала двигуна, та M_2 – номінальний момент електродвигуна.



J_1 – момент інерції барабана моталки з рулоном, J_2 – момент інерції якоря електродвигуна привода барабана моталки, C_{12} – приведена жорсткість проміжного вала, M_1 – момент технологічного опору робочого органу,
 M_2 – момент двигуна

Рисунок 1 – Дослідження вимушених коливань в приводі барабана моталки

Номінальний момент електродвигуна можна розрахувати за формулою [9]:

$$M_2 = \frac{30 \cdot N_d}{\pi \cdot n_d}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (1)$$

де N_d – номінальна потужність, електродвигуна, Вт, для розглядаємого випадку $N_d = 100$ кВт;

n_d – номінальні оберти електродвигуна, хв^{-1} , для розглядаємого випадку $n_d = 475$ хв^{-1} ;

В зв'язку з тим, що намотування ведеться з попереднім натягом штаби, то величину моменту від натягу штаби на барабані приймаємо як момент технологічного опору робочого органу [10]:

$$M_1 = T \cdot R, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2)$$

де R – поточний радіус рулону, з огляду на те, що динамічні складові мають великий вплив при пуску та гальмуванні, приймаємо поточний радіус рулону рівним радіусу барабана, $R = 0,375$ м

T – максимальне зусилля натягу, що розраховується за методикою наведеною в роботі [10].

Момент M_2 має напрямок, протилежний напрямку момента M_1 (тобто, моменти від рушійних сил і від сил опору завжди направлені в протилежні боки).

З урахуванням положень описаних в роботі [11] запишемо функціональне рівняння руху для даного випадку:

$$\left. \begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 + C_0(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_1, \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + C_0(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Цю систему рівнянь розв'яжемо наступним чином. Помножимо перше рівняння на C_0 / J_1 , а друге – на C_0 / J_2 і, відрахувавши з першого рівняння друге, отримаємо:

$$C_0(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + C_0 \left(\frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2} \right) C_0(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 J_2} C_0 \quad (4)$$

Якщо в цьому рівнянні позначити момент сил пружності через $C_0(\varphi_1 - \varphi_2) = M_{12}$ і, отже, $C_0(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) = \ddot{M}_{12}$, то його можна записати в формі диференціального рівняння моментів сил пружності, тобто:

$$M_{12} + C_0 \frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2} \cdot M_{12} = \left(\frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 J_2} \right) C_0 \quad (5)$$

Взаємозв'язок моментів сил пружності між розподіленими масами дає інтеграл цього рівняння:

$$M_{12} = A \cos pt + B \sin pt + \frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 + J_2}, \quad (6)$$

де A, B – сталі інтегрування (амплітуди коливань моментів);
 p – власна кругова частота.

Для визначення A і B необхідно встановити початкові умови. Якщо при пуску, до початку виникнення коливань, система перебуває в спокої і навантаження в пружному зв'язку $\dot{\phi}_1 = \dot{\phi}_2$; $M_{12} = 0$ відсутні, то при $t=0$,

Тоді отримаємо:

$$A = -\frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 + J_2}; \quad B = 0 \quad (7)$$

Підставивши отримані сталі інтегрування в (6) та виконавши необхідні перетворення момент сил пружності можна розрахувати як:

$$M_{12} = \frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 + J_2} (1 - \cos pt) \quad (8)$$

Виконавши розрахунки за формулами (1)–(8) для товщин намотуємої штаби $h=1,5; 2; 3; 4$ отримуємо значення моменту сил пружності у функції часу (рис.2).

Для характеристики динамічного навантаження вводять коефіцієнт динамічності k_d , який визначається як відношення максимального моменту сил пружності до сталого його значення [12]:

$$k_d = \frac{M_{\max}}{M_a} \quad (9)$$

Взявши з графіка (рис.2) значення максимального моменту пружних сил та розрахувавши величину M_a , як суму статичного моменту від сил опору робочої машини і моменту від сил інерції її рухомих мас, для кожного типорозміру намотуємої штаби, отримаємо:

$$K_{d4}=1,98; K_{d3}=1,988; K_{d2}=1,9991; K_{d1,5}=1,9999;$$

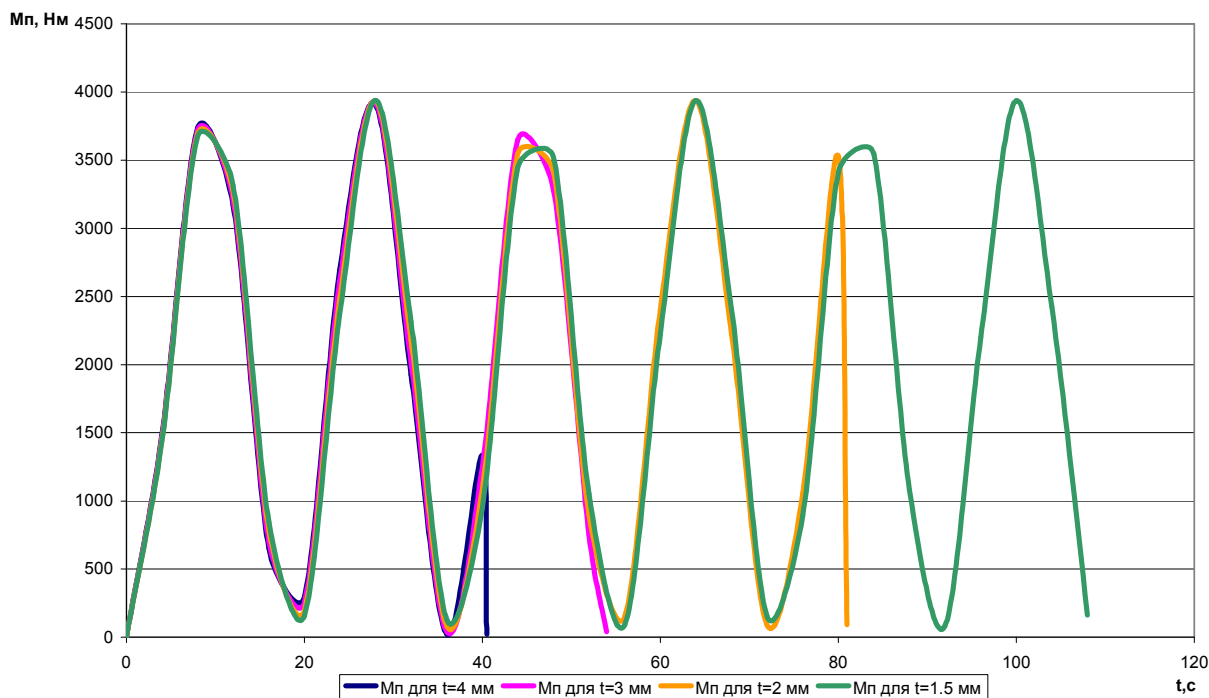


Рисунок 2 – Графік моменту сил пружності у функції часу

Висновки. Проаналізувавши виконані розрахунки можна зробити висновки, що оптимальними товщинами намотуємої штаби на розглянутій конструкції моталки є 1,5-4 мм, для яких отримані значення $k_d < [k_d] = 2$ (для металургійних машин за відсутності зазорів) Найважчим режимом з точки зору впливу динамічних складових являється намотка штаби товщиною 1,5 мм.

Граничною товщиною, з точки зору динамічних навантажень, являється штаба товщиною 1,5 мм, штабу меншою товщини не варто намотувати на даному обладнанні. Таким чином зміна технологічних режимів прокатки, при переході на прокатку більш тонкої штаби, має значний вплив з точки зору динамічних навантажень не тільки безпосередньо на сам прокатний стан, а й на механізми поточної лінії в цілому.

Розглянута методика дозволяє доволі легко і без занадто громіздких розрахунків виконувати моделювання процесу намотування штаби на барабанних моталках з точки зору динамічних навантажень.

ЛІТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Гречаний О. М. Обґрунтування вибору технічних параметрів гільйотинних ножиць прокатного стану / О. М. Гречаний // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2017. – Вип. 2 (38). – С. 126-130.

2. Кожевников С. Н. Динамика машин с упругими звеньями / С. Н. Кожевников. – Киев: Академия наук Украинской ССР, 1961. – 160 с.
3. Динамика и прочность прокатного оборудования / Ф. К.Иванченко, П. И. Полухин, М. А. Тылкин, В. П. Полухин. – Москва: "Металлургия", 1970. – 486 с.
4. Веренев В. В. Переходные процессы при непрерывной прокатке. Монография. / В. В. Веренев, А. Ю. Путноки, Н. И. Подобедов. – Д.: Літограф, 2017.–116 с.
5. Веренев В. В. Динамические процессы в широкополосных станах горячей прокатки.. Монография. / В. В. Веренев. – Д.: Літограф, 2018. – 158 с.
6. Светлицкий В. А. Случайные колебания механических систем / В. А. Светлицкий. – М.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
7. Дослідження динаміки, міцності і технологічності механічних систем : монографія / Л. М. Мамаєв, О. Д. Романюк, О. В. Нікулін та ін. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 183 с.
8. Жук А. Я. Основы расчетов приводов машин: Навчальний посібник. / А. Я. Жук, Н. К. Желябіна. – Запоріжжя: ЗДІА, 1996. – 145 с.
9. Жук А.Я. Теория и практика приводов.:Учебн.пос. в 3–х кн. Кн. 1 Электромеханический привод. / А.Я. Жук, Н.К. Желябина – Запорожье:Издательство ЗГИА, 2001. – 398 с., ил.
10. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов, прокатных станов: Учеб. пособие для вузов. / А. А. Королев. – М.: "Металлургия", 1985. – 376 с.
11. Дослідження динамічних процесів, виникаючих у вузлах приводу ножиць з паралельними ножами. / [О. М. Гречаний, Ю. Г. Кобрін, Т. О. Васильченко та ін.]. // Збірник наукових праць "Металургія". – 2019. – №1. – С. 96–100.
12. Жук А. Я. Основы научных исследований. Книга 1. Теоретичні дослідження: Навчальний посібник. / А. Я. Жук, Н. К. Желябіна, Г. П. Малишев. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 195 с.

REFERENCE

1. Hrechanyi O. M. Obgruntuvannya viboru tehnicnih parametriv gilyotinnih nozhits prokatnogo stanu / O. M. Hrechanyi // Metalurgiya : naukovі pratsі Zaporіzkoyi derzhavnoyi Inzhenernoyi akademiyi. – Zaporіzhzhya : RVV ZDIA, 2017. – Vip. 2 (38). – S. 126-130.
2. Kozhevnikov S. N. Dinamika mashin s uprugimi zvenyami / S. N. Kozhevnikov. – Kiev: Akademiya nauk Ukrainskoy SSR, 1961. – 160 s.
3. Dinamika i prochnost prokatnogo oborudovaniya / F. K.Ivanchenko, P. I. Poluhin, M. A. Tyilkin, V. P. Poluhin. – Moskva: "Metallurgiya", 1970. – 486 s.

4. Verenev V. V. Perehodnyie protsessyi pri nepreryivnoy prokatke. Monografiya. / V. V. Verenev, A. Yu. Putniki, N. I. Podobedov. – D.: Litograf, 2017. – 116 s.
5. Verenev V. V. Dinamicheskie protsessyi v shirokopolosnyih stanah goryachey prokatki.. Monografiya. / V. V. Verenev. – D.: Litograf, 2018. – 158 s.
6. Svetlitskiy V. A. Sluchaynyie kolebaniya mehanicheskikh sistem / V. A. Svetlitskiy. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 216 s.
7. Doslidzhennya dinamiki, mitsnosti i tehnologichnosti mehanichnih sistem : monografiya / L. M. Mamaev, O. D. Romanyuk, O. V. Nikulin ta in. — Kam'yan'ske : DDTU, 2017. — 183 s.
8. Zhuk A. Ya. Osnovi rozrahunkiv privodiv mashin: Navchalniy posibnik. / A. Ya. Zhuk, N. K. Zhelyabina. – Zaporizhzhya: ZDIA, 1996. – 145 s.
9. Zhuk A.Ya. Teoriya i praktika privodov.:Uchebn.pos. v 3-h kn. Kn. 1 Elektromechanicheskiy privod. / A.Ya. Zhuk, N.K. Zhelyabina – Zaporozhe:Izdatelstvo ZGIA, 2001. – 398 s., il.
10. Korolev A. A. Konstruktsiya i raschet mashin i mehanizmov, prokatnyih stanov: Ucheb. posobie dlya vuzov. / A. A. Korolev. – M.: "Metallurgiya", 1985. – 376 s.
11. Doslidzhennya dinamichnih protsesiv, vinikayuchih u vuzlah privodu nozhits z paralelnimi nozhami. / [O. M. Hrechanyi, Yu. G. Kobrin, T. O. Vasilchenko ta In.]. // Zbirnik naukovih prats "Metallurgiya". – 2019. – #1. – S. 96–100.
12. Zhuk A. Ya. Osnovi naukovih doslidzhen. Kniga 1. Teoretichni doslidzhennya: Navchalniy posibnik. / A. Ya. Zhuk, N. K. Zhelyabina, G. P. Malishev. – Zaporizhzhya: ZDIA, 2008. – 195 s.

Received 24.02.2021.

Accepted 26.02.2021.

Влияние параметров технологического процесса на коэффициент динамичности оборудования

Установлено влияние изменения технологических режимов прокатки на динамическую нагрузку моталок прокатных станков. Исследовано изменение коэффициента динамичности для разных толщин наматываемой полосы. Даны рекомендации по оптимальной толщине намотки полосы с точки зрения динамической нагрузки на узлы барабанной моталки.

Influence of technological process parameters on equipment dynamic factor

Technological equipment of the metallurgical industry operates in difficult conditions in terms of dynamic loads. On the other hand, special requirements are imposed on their mechanisms - they must be reliable in operation and allow easy regulation, and in the event of breakdowns, allow quick replacement or repair of units and parts, and at the same time must meet the conditions for the accuracy of reproduction of the given technological operations.

In modern rolling shops, technological operations are carried out according to the continuous and continuous principles of creating new rolling equipment and the operation of complex machines requires the use of achievements in various fields of science and technology. Scissors, straightening machines, coilers, uncoilers, tilters, manipulators, pushers, conveyors are built into the flow technological working lines. And the performance of the technological line as a whole depends on the coordinated work of these mechanisms.

The issues of dynamic loads from the point of view of the interaction of the rolling stands of the continuous broadband mill 1680 have been considered rather thoroughly, while the effect of changing the technological modes of rolling on the equipment of the current line, in particular the coiler, is not covered.

In order to reduce equipment downtime due to emergency failures associated with an increase in dynamic loads from incorrectly selected technological modes, the task was set to analytically study the effect of a change in the rolling process on the dynamism coefficient using the example of roller coilers of rolling mills.

To analyze the forced vibrations arising in the drive of the reel drum of the mill 1680, a two-mass torsion system is considered, to which external moments are applied - the moment of the technological resistance of the working body, reduced to the motor shaft, and the nominal torque of the electric motor.

On the basis of the considered calculation scheme, a functional equation of motion was compiled through which the relationship between the change in the parameters of the technological process and the coefficient of dynamism was established.

The solution of the functional equation of motion makes it possible to establish the value of the moment of elastic forces as a function of time, which is used in calculating the dynamic coefficient, which in turn characterizes the dynamic loads on the nodes of technological equipment. Its preliminary calculation allows avoiding emergencies associated with equipment failure in case of incorrect selection of the technological process modes.

Гречаний Олексій Миколайович - викладач, кафедра металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Васильченко Тетяна Олександрівна - к.т.н., доцент кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Власов Андрій Олександрович - к.т.н., доцент кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Гузь Едуард Алійович - магістр кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Цімахович Дарья Володимирівна - магістр кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Гречаний Алексей Николаевич - преподаватель, Запорожский национальный университет.

Васильченко Татьяна Александровна - к.т.н., доцент кафедры металлургического оборудования, Запорожский национальный университет.

Власов Андрей Александрович - к.т.н., доцент кафедры металлургического оборудования, Запорожский национальный университет.

Гузь Эдуард Алиевич - магистр кафедры металлургического оборудования, Запорожский национальный университет.

Цимахович Дарья Владимировна - магистр кафедры металлургического оборудования, Запорожский национальный университет.

Hrechanyi Oleksii - lecturer, Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Vasilchenko Tatiana - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Vlasov Andrii - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Huz Eduard - magister of Departament Metallurgical Equipment Zaporizhzhia National University.

Tsimakhovych Daria - magister of Departament Metallurgical Equipment Zaporizhzhia National University.

О.І. Бабаченко, Г.А. Кононенко, Є.С. Клемешов, Р.В. Подольський
**РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ШВИДКОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ
ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС З ЗАСТОСУВАННЯМ МОДЕЛЮВАННЯ
В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ QFORM VX 8.2
ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ОДНОРІДНОЇ ФЕРИТО-ПЕРЛІТНОЇ СТРУКТУРИ**

Анотація. Дослідження проводили на сталі марки ER7 за EN 13262. На основі випробування на прогартуваність (ГОСТ 5657) методом торцевого гартування (по Джомені) визначалась відстань від поверхні, з якої виконували однібічне охолодження, де твердість відповідала вимогам нормативної документації для коліс з досліджуваної сталі, та відстань, де вже не відбувалось утворення голчастих структур, в тому числі бейніту та відманштетту. Було застосовано моделювання в програмному комплексі QForm VX 8.2, в результаті була розроблена модель, для адаптації якої використовували результати експерименту. Підтвердили високу збіжність результатів розрахунку та експерименту. При цьому модель дозволила отримати миттєву швидкість охолодження в вигляді, який більше відповідає фізичному сенсу процесу і уникнути розкиду фактичних значень, пов'язаного з дискретністю фіксації даних. Встановлено, що миттєва швидкість охолодження змінюється в процесі безперервної рівномірної подачі охолоджувача. Розроблена модель може бути використана для побудови термодіаграм при безперервному охолодженні та для розробки рекомендацій щодо режимів термічної обробки для досягнення заданих механічних властивостей за певного структурного стану.

Ключові слова: залізничні колеса, твердість, швидкість охолодження, прогартуваність, моделювання.

Результати отримані в роботі, яка виконується відповідно до державної цільової програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень», код програмної класифікації видатків 6541230.

Вступ. При кристалізації сталевого злитка формується хімічна мікронеоднорідність, пов'язана з дендритною ліквідацією.

В процесі прискореного охолодження ділянки аустеніту з підвищеним вмістом кремнію і марганцю можуть зазнавати $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення по бездифузійному і проміжному механізмі і являють собою структури з голчатою морфологією (мартенсит і бейніт).

Зміна фазового складу і неоднорідність структурного стану є недопустимими згідно окремих нормативних вимог та можуть призводити до зниження механічних властивостей ободів залізничних коліс і зменшення загальної експлуатаційної надійності цих виробів.

Відповідність новим більш жорстким вимогам до залізничних коліс можлива тільки при комплексному підході до вдосконалення технології їх виробництва при обґрунтованому виборі режимів термічної обробки з урахуванням хімічного складу сталі.

Мета дослідження. Визначення раціонального інтервалу швидкостей охолодження ободу залізничного колеса для досягнення високого рівня твердості феритно-перлітної структури з застосуванням моделювання.

Матеріал та методики досліджень. Дослідження проводили на сталі марки ER7 за EN 13262. Зразок досліджуваної сталі підлягав випробуванню на прогартовуваність методом торцевого гартування (за ГОСТ 5657 методом Джомені). Вимірювання твердості проводились на твердомірі ТК-2М. Моделювання проводилось в програмному комплексі QForm VX 8.2.

Результати досліджень. Після випробувань на прогартовуваність за ГОСТ 5657, визначалась відстань від поверхні, з якої виконували однобічне охолодження, де твердість відповідає вимогам нормативної документації для коліс з досліджуваної сталі (рис. 1), та відстань, де вже не відбувалось гартування, тобто утворення голчастих структур, в тому числі бейніту та відманштетту (рис. 2). На наступному етапі досліджень були розміщені термопари в другий зразок з тієї ж сталі на попередньо визначені відстані, та проводилось охолодження в тих самих умовах, як і для першого зразка, з записом зміни температури під час охолодження (рис. 3, а). За результатом аналізу отриманих залежностей визначався оптимальний діапазон швидкостей охолодження, що забезпечуватиме задовільні значення твердості в центральних об'ємах ободу та гарантує відсутність голчастих структур біля поверхні кочення ободу колеса. Але аналіз результатів показав, що необхідне регулювання інтенсивності охолодження при термічній обробці. Для розробки режимів диференціації витрати охолоджувача необхідне була розробка та застосування моделі розрахунку зміни температури металу в процесі охолодження.



Рисунок 1 - Зміна твердості в залежності від відстані до торцю зразка після випробувань на прогартуваність за ГОСТ 5657 (метод Джомені)

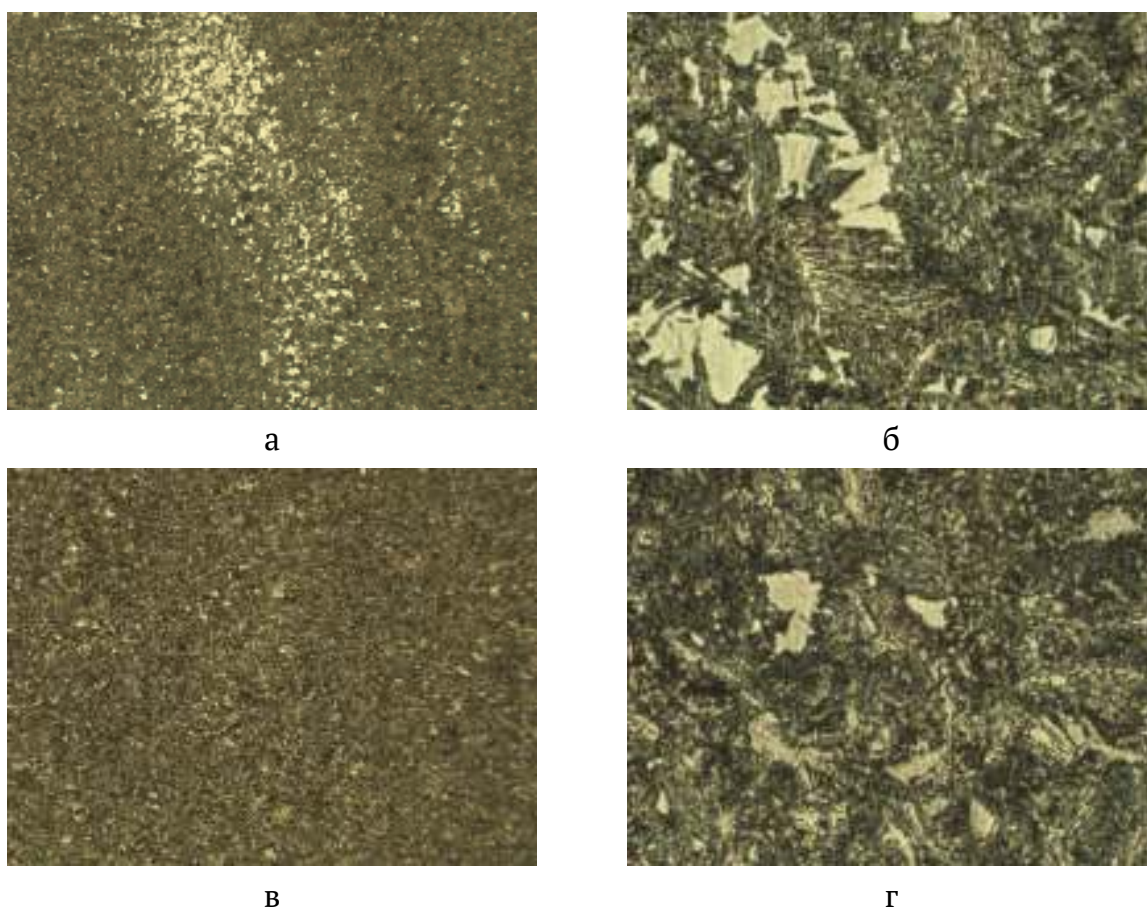


Рисунок 2 - Мікроструктура зразка зі сталі марки ER7 за EN 13262 після торцевого гартування на відстані від торцю 7,5 мм (а, б) та 13,5 мм (в, г)
а, в - $\times 100$; б, г - $\times 1000$

В програмному комплексі QForm VX 8.2 була розроблена модель, для адаптації якої використовували результати експерименту.

В основу роботи програми покладені основні підходи з теорії теплопередачі.

Якщо в просторі існує різниця температур між двома точками, то відбувається перенесення енергії (теплообмін) від області з більшою температурою до області з меншою температурою.

Виділяють наступні три види теплообміну:

- теплопровідність;
- конвекція;
- випромінювання.

Модель розрахунку зміни температури в процесі термічної обробки ободу залізничного колеса виконувалась за допомогою програми QForm VX 8.2, яка може розраховувати нерівномірне температурне поле в заготовці, яке змінюється в часі в процесі деформації, нагрівання або її охолодження.

Виділяють наступні три види теплообміну: теплопровідність; конвекція; випромінювання. Передача тепла теплопровідністю здійснюється при безпосередньому контакті частин тіла з різною температурою. Диференціальне рівняння нестационарної теплопровідності, що використовується для моделювання цього явища в програмі QForm VX 8.2 має вигляд:

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_G = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

де: D - оператор Лапласа,

T - температурне поле [K],

t - час [с],

k - коефіцієнт теплопровідності [Вт / (м К)],

ρ - щільність [кг / м³],

c - питома теплоємність [Дж / (кг К)],

q_G - потужність внутрішнього джерела тепла [Вт / м³].

У програмі QForm VX 8.2 для опису конвективного теплообміну використовується закон Ньютона-Рихмана:

$$q_n = h(T_1 - T_c) \quad (2)$$

де h - коефіцієнт тепловіддачі [Вт / (м² К)],

T_1 - температура тіла (заготовки або інструменту),

T_c - температура навколишнього середовища.

Щільність теплового потоку випромінювання на поверхні визначається за формулою:

$$q_n = \varepsilon \sigma_0 (T_1^4 - T_c^4) \quad (3)$$

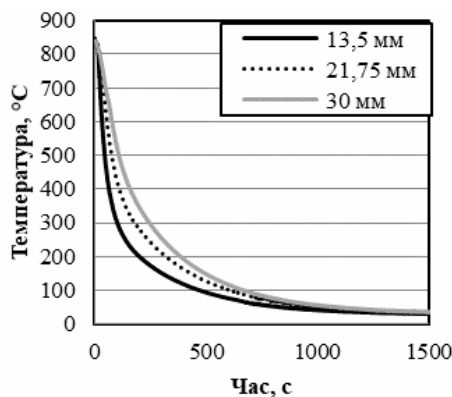
де ε - ступінь чорноти реального тіла, яка визначається як відношення випромінювальної здатності даного тіла до випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла при тій же температурі,

$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт / (м}^2\text{К}^4)$ - постійна Стефана-Больцмана.

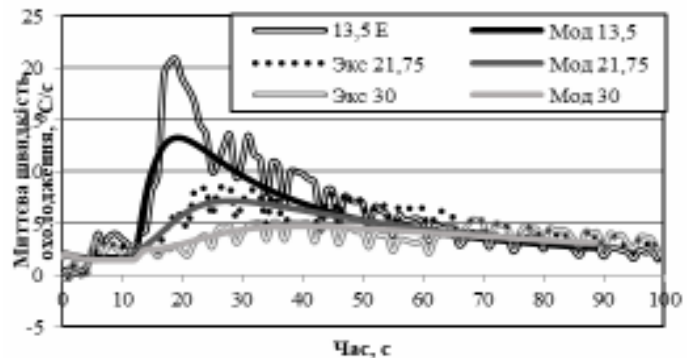
Процес теплообміну в QForm VX 8.2 моделюється за допомогою методу кінцевих об'ємів. Відповідно до цього методу просторова дискретизація завдання здійснюється шляхом розбиття розрахункової області на невеликі дотичні обсяги. У середині кожного контрольного обсягу знаходиться одна точка «прив'язки» шуканого сіткового рішення. В якості кінцевих об'ємів в QForm VX 8.2 використані осередки Вороного.

Сітка осередків Вороного будується на базі кінцево-елементної сітки, використовуваної для дискретизації деформаційної завдання. У кожному з кінцевих елементів виділяється точка, рівновіддалена від кутових вузлів трикутного (2D завдання) або тетрадрального (3D) елемента. Таким чином, кінцеві обсяги у вигляді осередків Вороного є геометричними фігурами, ребра яких з'єднують центри описаних кіл для трикутних (2D) і описаних сфер для тетрадральних (3D) кінцевих елементів.

Порівняння експериментальних та розрахованих за допомогою моделі результатів підтвердило їх високу збіжність. При цьому модель дозволила отримати миттєву швидкість охолодження в вигляді, який більше відповідає фізичному сенсу процесу (рис. 2, б), і уникнути розкиду фактичних значень, пов'язаного з дискретністю фіксації даних.



а



б

Рисунок 3 – Зміна температури в процесі охолодження (а) та миттєва швидкість охолодження (порівняння експериментальних та розрахункових значень) (б) марки ER7 за EN 13262

Як можна бачити з рисунку 2, б, миттєва швидкість охолодження змінюється в процесі безперервної рівномірної подачі охолоджувача. В деяких випадках фіксували значне уповільнення охолодження, або навіть негативні значення миттєвої швидкості охолодження. Це пов'язано з виділенням теплоти фазових перетворень, яке виникає під час розпаду аустеніту за дифузійним механізмом. Також можна відзначити, що для різної відстані від торцю максимуми миттєвої швидкості охолодження припадають на різний час – це час, коли на метал на певній відстані починає впливати дія охолоджувача. До того метал охолоджувався тільки за рахунок відводу тепла бічною поверхнею. В точках, які розташовані ближче до поверхні інтенсивного тепловідводу максимальна миттєва швидкість більша.

Результати моделювання зміни температури по перерізу зразка для випробувань на торцеве гартування представлені на рисунку 4.

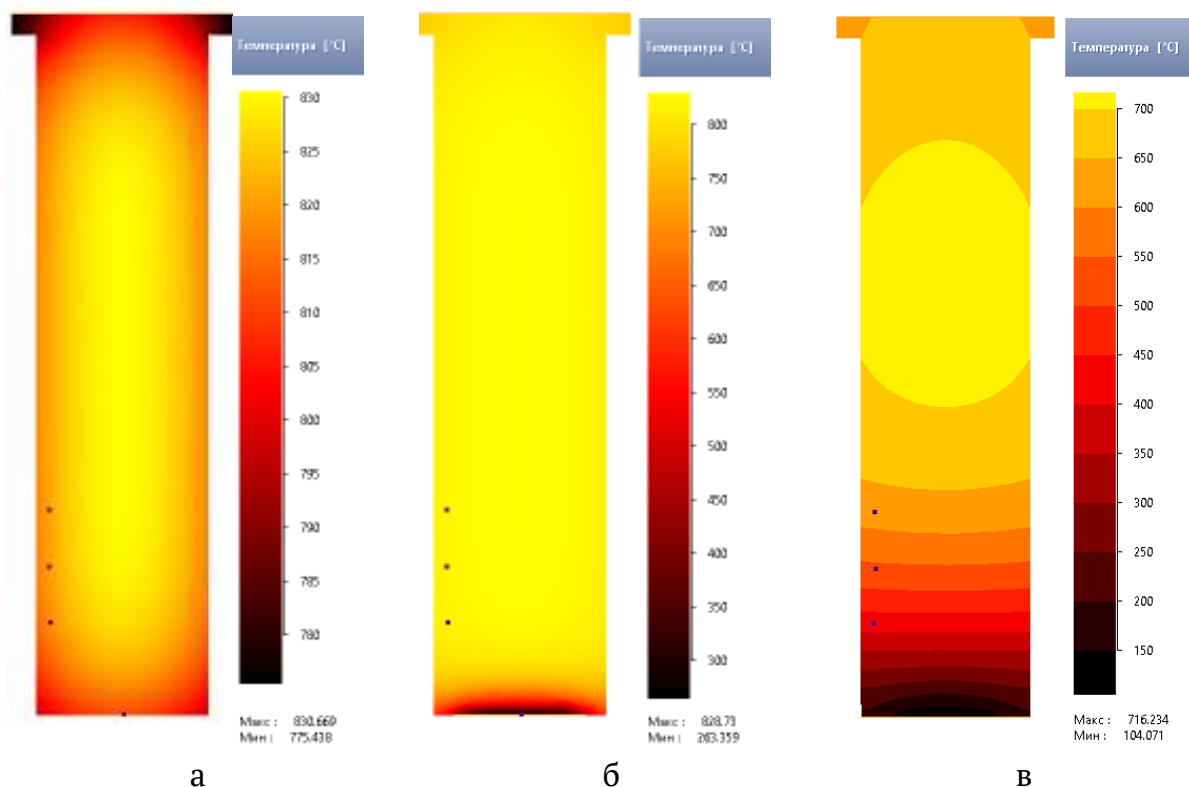


Рисунок 4 – Температурні поля по перерізу зразка для випробувань на прогартуваність зі сталі марки ER7 за EN 13262: а – перед початком охолодження; б – через 1 с одностороннього охолодження; в - через 60 с одностороннього охолодження

З аналізу рисунку видно, розподіл температури в тілі зразка в процесі охолодження зразка досліджуваної сталі. На рисунку 4 вказані точки, у яких ре-

алізовувались швидкості охолодження, при яких твердість та структура відповідають заданим.

Розроблена модель зміни температури по перерізу зразка для торцевого гартування для сталей різного хімічного складу, яка дозволить прогнозувати миттєві та загальні швидкості охолодження, фазовий склад та механічні властивості на будь-якій відстані від поверхні тепловідводу. Така модель може бути використана для побудови термокінетичної діаграми при безперервному охолодженні (рис. 5) та для розробки рекомендацій щодо режимів термічної обробки для досягнення заданих механічних властивостей за певного структурного стану.

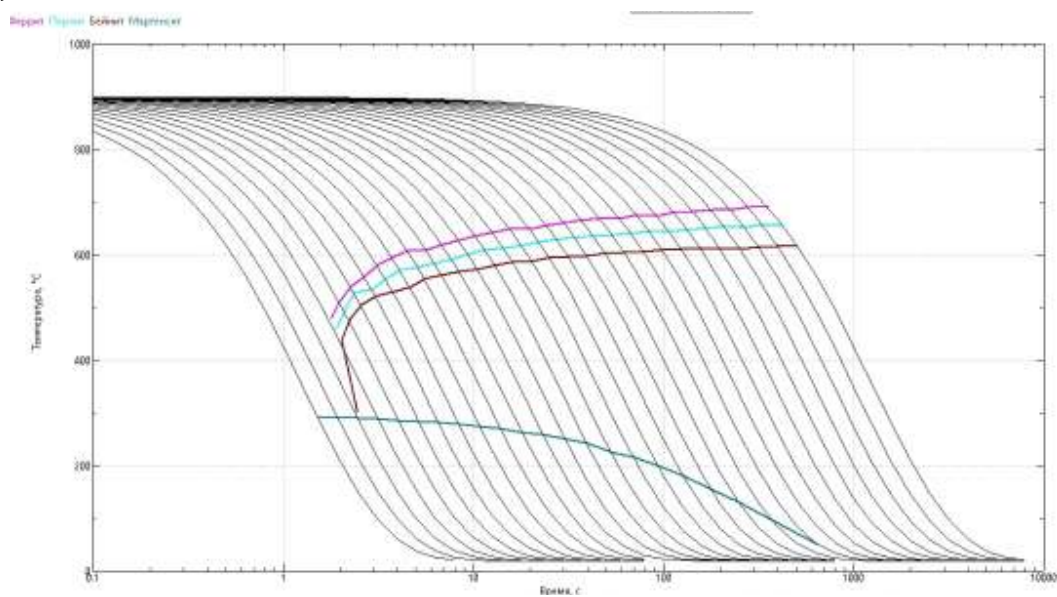


Рисунок 5 – Термокінетична діаграма досліджуваної сталі марки ER7 за EN 13262, побудована з застосуванням моделі розрахунку температури при безперервному охолодженні з застосуванням програми QForm VX 8.2

Висновки. Визначений допустимий інтервал швидкостей охолодження поверхневих і центральних ділянок ободу коліс при прискореному охолодженні з сталі марки ER7. Дані можуть бути використані для вдосконалення режимів термічної обробки залізничних коліс поточного виробництва з метою досягнення високого комплексу механічних властивостей як при існуючій технології охолодження, так і при диференційованому охолодженні на модернізованому обладнанні термічної ділянки колесопрокатного цеху. Розроблена модель зміни температури по перерізу зразка для торцевого гартування для сталей різного хімічного складу, яка дозволить прогнозувати миттєві та загальні швидкості охолодження, фазовий склад та механічні властивості на будь-якій відстані від

поверхні тепловідводу. Така модель може бути використана для побудови термодинамічних діаграм при безперервному охолодженні та для розробки рекомендацій щодо режимів термічної обробки для досягнення заданих механічних властивостей за певного структурного стану.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Бабаченко А.И., Кононенко А.А., Подольский Р.В., Клемешов Є.С. Модель розрахунку зміни температури для розробки параметрів термічної обробки, яка забезпечить однорідну дисперсну структуру по перерізу ободу залізничних коліс. Матеріали всеукраїнської науково-методичної конференції "Проблеми математичного моделювання". 2020. №1. С.46–48.
2. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Подольський Р. В. Імітаційне моделювання зміни теплового поля залізничної рейки під час диференційної термічної обробки. VI Міжнародна науково технічна конференція «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем». 2020. №6. С. 17–18.
3. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Подольський Р. В., Сафронова О.А. Дослідження впливу хімічного складу сталі для залізничних коліс в межах марочного на мікроструктуру та механічні властивості при різних швидкостях охолодження . Матеріали міжнародної наукової конференції міждисциплінарні наукові дослідження: особливості та тенденції. Чернігів. 2020. №2. С. 44–49. <https://doi.org/10.36074/04.12.2020.v2.07>
4. Бабаченко О. І., Кононенко Г. А., Подольський Р. В. Дослідження мікроструктури та розподілу твердості рейок по перерізу при термічній обробці головки рейки, які створюються при виробництві за поточною технологією. Матеріали міжнародної наукової конференції міждисциплінарні наукові дослідження: особливості та тенденції. Чернігів. 2020. №2. С. 50–56. <https://doi.org/10.36074/04.12.2020.v2.08>

REFERENCE

1. Babachenko A. I., Kononenko A. A., Podol'skij R. V., Klemeshov Є. S. Model' rozrahunku zmini temperaturi dlja rozrobki parametriv termichnoї obrobki, jaka zabezpechit' odnoridnu dispersnu strukturu po pererizu obodu zaliznichnih kolis. Materiali vseukraїns'koї naukovo-metodichnoї konferencії "Problemi matematichnogo modeljuvannja". 2020. №1. S. 46–48.

2. Babachenko O. I., Kononenko G. A., Podol's'kij R. V. Imitacijne modeljuvannja zmini teplovogo polja zaliznichnoï rejki pid chas diferencijnoï termichnoï obrobki. VI Mizhnarodna naukovo tehnicna konferencija «Komp'juterne modeljuvannja ta optimizacija skladnih sistem». 2020. №6. S. 17–18.
3. Babachenko O. I., Kononenko G. A., Podol's'kij R. V., Safronova O.A. Doslidzhennja vplivu himichnogo skladu stali dlja zaliznichnih kolis v mezhah marochnogo na mikrostrukturu ta mehanichni vlastivosti pri riznih shvidkostjah oholodzhennja . Materiali mizhnarodnoï naukovoï konferencii mizhdisciplinarni naukovi doslidzhennja: osoblivosti ta tendencii. Chernigiv. 2020. №2. S. 44–49. <https://doi.org/10.36074/04.12.2020.v2.07>
4. Babachenko O. I., Kononenko G. A., Podol's'kij R. V. Doslidzhennja mikrostrukturi ta rozpodilu tverdosti rejok po pererizu pri termichnij obrobci golovki rejki, jaki stvorjуют'sja pri virobnictvi za potочноju tehnologiju. Materiali mizhnarodnoï naukovoï konferencii mizhdisciplinarni naukovi doslidzhennja: osoblivosti ta tendencii. Chernigiv. 2020. №2. S. 50–56. <https://doi.org/10.36074/04.12.2020.v2.08>

Received 01.03.2021.

Accepted 05.03.2021.

Разработка рекомендаций по скоростей охлаждения железнодорожных колес с применением моделирования в программном комплексе qform vx 8.2 для формирования однородной феррито-перлитной структуры

Было применено моделирование в программном комплексе QForm VX 8.2, в результате была разработана модель, для адаптации которой использовали результаты эксперимента. Подтвердили высокую сходимость результатов расчета и эксперимента. Разработанная модель может быть использована для построения термокинетических диаграмм при непрерывном охлаждении и для разработки рекомендаций по режимов термической обработки.

Development of recommendations on cooling rates of railway wheels with the use of modeling in the software package qform vx 8.2 for the formation of a homogeneous ferritic-perlite structure

Summary. The tests were performed on ER7 steel according to EN 13262. Based on the hardenability test (GOST 5657) by the method of end hardening (Jomen) the distance from the surface from which unilateral cooling was performed, where the hardness met the requirements of regulatory documentation for wheels of test steel, and the distance where the formation of needle structures, including bainite and otmanshtette, no longer took place. Simulation was applied in the software package QForm VX 8.2, as a result, a model was developed, for the

adaptation of which the results of the experiment were used. Confirmed the high convergence of the results of the calculation and the experiment. At the same time, the model allowed to obtain an instantaneous cooling rate in a form that is more in line with the physical meaning of the process and to avoid the scatter of actual values associated with the discreteness of data capture. It is established that the instantaneous cooling rate changes in the process of continuous uniform supply of the cooler. The permissible range of cooling rates of the surface and central sections of the wheel rim during accelerated cooling of ER7 steel is determined. The data can be used to improve the heat treatment modes of railway wheels of current production in order to achieve a high set of mechanical properties both with the existing cooling technology and with differentiated cooling on the modernized equipment of the thermal section of the wheel shop. The developed model can be used to build thermokinetic diagrams under continuous cooling and to develop recommendations for heat treatment modes to achieve the specified mechanical properties under a certain structural state.

Бабаченко Олександр Іванович - докт. техн.наук, директор Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Кононенко Ганна Андріївна - канд. техн. наук, вчений секретар Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Клемешов Євгеній Сергійович - канд. техн. наук, науковий співробітник Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Подольський Ростислав Вячеславович - інженер першої категорії Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Бабаченко Александр Иванович - докт. техн.наук, директор Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Кононенко Анна Андреевна - канд. техн.наук, ученый секретарь Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Клемешов Евгений Сергеевич - канд. техн.наук, научный сотрудник Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Подольский Ростислав Вячеславович - инженер первой категории Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины.

Babachenko Alexander - Dr. Technical Sciences, Director of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine.

Kononenko Ganna - Cand. technical science, scientific secretary of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine.

Klemeshov Evgen - Cand. technical science, researcher of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine.

Podolskyi Rostislav - engineer of the first category of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine.

Н.М. Єршова, Н.О. Вельмагіна

МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ТРЬОХ ПІДПРИЄМСТВ В ЄДИНІЙ ВИРОБНИЧІЙ СИСТЕМІ

Анотація. В статті наведено методика проектування процесу взаємодії трьох підприємств в єдиній виробничій системі. Матричним методом динамічного програмування встановлені розрахункові формули для параметрів проектування: частки потоку валової продукції, яка направляєється підприємствами на розвиток власного виробництва. В якості критерію оптимальності прийнятий квадратичний функціонал, фізичний сенс якого - витрати грошових коштів на підтримку стабільного функціонування процесу. При цьому кінцева продукція виробничої системи, що направляєється на зовнішнє споживання повинна бути максимальна. Створено програмний продукт і отримано оптимальне рішення. Виконано моделювання в системі моделювання МВТП 3.7 процесу взаємодії трьох підприємств для трьох варіантів. Варіант з оптимальними параметрами проектування забезпечує збільшення виробничої потужності підприємств і відповідає області раціональних значень часток проміжної продукції підприємств, що встановлена шляхом моделювання.
Ключові слова: оптимізація, моделювання, матричний метод динамічного програмування, процес взаємодії трьох підприємств в єдиній виробничій системі.

Постановка проблеми. В даний час багато підприємств, не витримавши конкуренції ринку, припиняють функціонування. Вирішальне значення при використанні обмежених виробничих ресурсів має тісну і безперервну взаємодію підприємств в єдиній виробничій системі на користь отримання взаємної вигоди при рішенні сумісних задач по задоволенню потреб суспільства [3]. З погляду системного підходу об'єктом дослідження є види і форми взаємодії, тобто об'єктом дослідження є не суб'єкти, а процес взаємодії між ними. Актуальним завданням сьогодення є створення стабільно функціонуючих і ефективних виробничих систем. Для цього необхідно знати значення оптимальних параметрів, які характеризують процес взаємодії підприємств єдиної виробничої системи. На основі моделювання процесу взаємодії підприємств в єдиній виробничій системі [1] встановлено, що кінцева продукція виробничої системи, яку поставляють на зовнішнє споживання, залежить від проміжної продукції, що залишається підприємствами на розвиток власного виробництва. Ставиться завдання – створити методику проектування процесу взаємодії

підприємств в єдиній виробничій системі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автор роботи [6] розглядає завдання, що розкривають внутрішні резерви окремого підприємства в різних умовах його функціонування, в тому числі в умовах кризи. Вперше створено математичну модель життєвого циклу підприємства на основі теорії безперервних динамічних процесів. Модель дозволяє: прогнозувати поведінку підприємства в майбутньому, планувати його розвиток, аналізувати стійкість функціонування, моделювати кризові ситуації всередині підприємства і поведінку в ринкових умовах. Вихідним параметром підприємства є виробнича потужність. Робота [7] присвячена аналізу процесу взаємодії в єдиній виробничій системі двох підприємств, що випускають різну продукцію. В роботі [8] аналізувався процес взаємодії трьох підприємств, що випускають різну продукцію. В роботі [1] виконано аналітичне дослідження і моделювання процесу взаємодії трьох підприємств, що випускають різну кінцеву продукцію. Перше підприємство є фондотворчим. Друге і третє підприємства випускають взаємозамінну, в сенсі споживання, продукцію. Проміжна продукція всіх підприємств йде на розвиток власного виробництва, кінцева продукція фондотворчого підприємства розподіляється порівну між двома іншими підприємствами. Кінцева продукція другого і третього підприємства спрямовується на зовнішнє споживання. Створена схема моделювання для системи моделювання МВТП 3.7 і шляхом моделювання встановлено, що для стійкого функціонування досліджуваної виробничої системи і нарощування її потужності необхідно, щоб фондотворче підприємство залишало на розвиток власного виробництва 0,7-0,8 частки продукції, що випускається, і починала функціонування з максимально можливим капіталом. Крім того, кінцева продукція фондотворчого підприємства повинна порівну розподілятися між другим і третім підприємствами для забезпечення однакової інтенсивності нарощування їх виробничих потужностей. Друге і третє підприємства повинні залишати на розвиток власного виробництва 0,65-0,75 частки продукції, що випускається і починати функціонування без зовнішніх боргів.

Мета дослідження. Створити методику проектування процесу взаємодії трьох підприємств в єдиній виробничій системі.

Викладення основного матеріалу дослідження. Виробнича система має три підприємства, що випускають різну продукцію. Перше підприємство є фондотворчим. Друге і третє підприємства випускають взаємозамінну, в сенсі споживання, продукцію. Проміжна продукція всіх підприємств йде на розвиток

власного виробництва, кінцева продукція фондотворчого підприємства розподіляється порівну між двома іншими підприємствами. Кінцева продукція другого і третього підприємства спрямовується на зовнішнє споживання.

Структурна схема представлена на рисунку 1 [4].

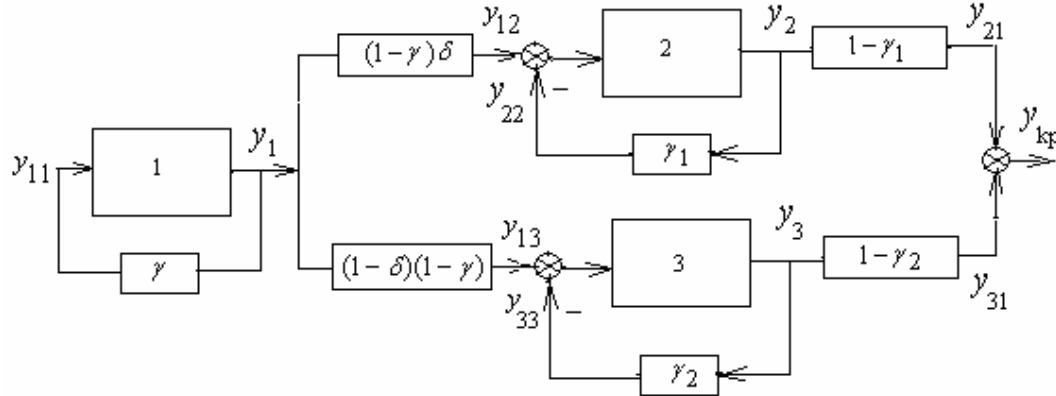


Рисунок 1 - Структурна схема

На рис. 1 позначено: y_i – виробнича потужність i – го підприємства; $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$ – частка потоку, що випускається, залишена підприємствами на розвиток власного виробництва; δ – частка потоку кінцевої продукції фондотворчого підприємства, що розподіляється між другим і третім підприємствами; y_{kp} – кінцева продукція виробничої системи. Отже,

$$\begin{aligned} y_1 &= y_{11} + y_{12} + y_{13}; y_{kp} = y_{21} + y_{31}; y_2 = y_{21} + y_{22}; y_3 = y_{33} + y_{31}; \\ y_{13} &= (1-\gamma)(1-\delta)y_1; y_{11} = \gamma y_1; y_{12} = (1-\gamma)\delta y_1; y_{22} = \gamma_1 y_2; \\ y_{21} &= (1-\gamma_1)y_2; y_{33} = \gamma_2 y_3; y_{31} = (1-\gamma_2)y_3, \end{aligned}$$

У цьому випадку математична модель процесу взаємодії трьох підприємств запишеться у вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 + a_{11}y_1 &= 0, \quad y_1(0) = y_{10}; \\ \dot{y}_2 + a_{22}y_2 &= a_{12}y_1, \quad y_2(0) = y_{20}; \\ \dot{y}_3 + a_{33}y_3 &= a_{13}y_1, \quad y_3(0) = y_{30}. \end{aligned} \quad (1)$$

де $a_{11} = \frac{\beta_1 - \gamma}{m_1}; a_{22} = \frac{\beta_2 - \gamma_1}{m_2}; a_{33} = \frac{\beta_3 - \gamma_2}{m_3}; a_{12} = \frac{(1-\gamma)\delta}{m_2}; a_{13} = \frac{(1-\delta)(1-\gamma)}{m_3}, m_i, \beta_i$

– відповідно фондомісткість і коефіцієнт вибуття ОВФ i – го підприємства.

В роботі [2] доведено, що оптимальні параметри можна визначати на математичних моделях без зовнішнього впливу, так як при будь-якому впливі в синтезуючій функції буде складова, що гасить його. Тому запишемо математичну модель (1) у вигляді

$$M\dot{Y} + FY - CY = 0, \quad (2)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}; \quad F = \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 & 0 \\ 0 & \beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_3 \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} \gamma & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_1 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_2 \end{bmatrix}; \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}; \quad \dot{Y} = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{bmatrix}.$$

Математичну модель (2) приймемо в якості моделі-аналога проектного процесу. Вирішимо задачу матричним методом динамічного програмування. Математична модель керованого процесу має вигляд:

$$\dot{Y} = -M^{-1}(FY + BU), \quad (3)$$

де $Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}$ – вектор стану процесу; $U = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}$ – вектор управління;

$$F = \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 & 0 \\ 0 & \beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_3 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad M^{-1} = \begin{bmatrix} 1/m_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1/m_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/m_3 \end{bmatrix}.$$

В якості критерію оптимальності приймемо квадратичний функціонал

$$J = \int_0^{\infty} (Y'PY + U'GU)dt, \quad (4)$$

де $P = \begin{bmatrix} \alpha_1 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_2 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 \end{bmatrix}$; $G = \begin{bmatrix} \mu_1 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_3 \end{bmatrix}$ – матриці вагових коефіцієнтів.

Ставиться завдання - встановити розрахункові формули для параметрів проектування: частки потоку валової продукції $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$, що направляється підприємствами на розвиток власного виробництва. Фізичний зміст функціоналу - витрати грошових коштів на підтримку стабільного функціонування процесу. При цьому кінцева продукція виробничої системи, яку направляють на зовнішнє споживання повинна бути максимальна. Необхідною умовою оптимальності є рішення нелінійного алгебраїчного рівняння Ріккати

$$P + SF + F'S - SBG^{-1}B'S = 0, \quad (5)$$

де S симетрична позитивно визначена матриця. В загальному вигляді рівняння (5) вирішити неможливо. У матриці C моделі аналога процесу проєктовані параметри $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$ розташовані на головній діагоналі, інші елементи матриці дорівнюють нулю. Тоді елементи матриці S з урахуванням її позитивної визначеності обчислюються по формулах

$$S_{ii} = \mu_i(\beta_i + \sqrt{\beta_i^2 + \alpha_i / \mu_i}), \quad i = 1, 2, 3 \quad (6)$$

Вектор управління визначається матричним вираженням

$$U = -G^{-1}B'SY = - \begin{bmatrix} S_{11}/\mu_1 & 0 & 0 \\ 0 & S_{22}/\mu_2 & 0 \\ 0 & 0 & S_{33}/\mu_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = -DY. \quad (7)$$

Підставимо вектор управління (7) в (3) і врахуємо, що $BU = U$, отримаємо

$$\dot{Y} = -M^{-1}(FY - DY), \quad \text{або} \quad M\dot{Y} + FY - DY = 0, \quad (8)$$

Порівнюючи (8) з моделлю-аналогом (2), відзначаємо рівність матриць $C = D$ і отримаємо аналітичні залежності для визначення параметрів проектування $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$:

$$\gamma_i = \beta_i + \sqrt{\beta_i^2 + \alpha_i / \mu_i}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (9)$$

Елементи матриць P і G звичайно вибирають методом проб і помилок, що суттєво ускладнює синтез систем по даному критерію. При рішенні цієї проблеми необхідно виходити з основного призначення проектного процесу. В даному випадку параметрами проектування є частки потоку валової продукції $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$, що залишаються підприємствами на розвиток власного виробництва. Для отримання фізично реалізуемого процесу досліджується залежність основних динамічних показників підприємств від вагових коефіцієнтів (9) і визначаються розрахункові формули

$$\alpha_i = \mu_i(\gamma_i^2 - 2\gamma_i\beta_i); \quad 0 \leq \gamma_i \leq 1; \quad 0,08 \leq \beta_i \leq 0,3. \quad (10)$$

У таблиці 1 наведено результати моделювання в системі моделювання МВТП 3.7 [5] процесу взаємодії трьох підприємств в єдиній виробничій системі.

Таблиця 1

Результати моделювання

Вар.	γ	γ_1	γ_2	y_1	y_2	y_3	$y_{кр}$
1	0,7	0,7	0,75	36327	31178	24257	7218
2	0,7	0,75	0,75	36327	37378	24257	8079
опт.	0,74	0,736	0,8	48451	35924	28917	8023

Висновки.

1. Варіант з оптимальними параметрами проектування забезпечує збільшення виробничої потужності підприємств і відповідає області раціональних значень часток проміжної продукції підприємств, що встановлена шляхом варіантного моделювання в роботі [1].

2. Методика проектування процесу взаємодії підприємств в єдиній виробничій системі полягає в тому, що на першому етапі виконується оптимізація параметрів процесу, на другому - шляхом моделювання відбувається порівняння варіантів з заданими і оптимальними параметрами, на основі чого приймається рішення про впровадження параметрів проектування в практику.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Вельмагіна Н. О., Ершова Н. М., Шибко О. М. Розробка теоретичних основ проектування підприємств і формування виробничих систем: монографія. Дніпро: ПДАБА, 2020. 272 с.
2. Ершова Н. М. Современные методы теории проектирования и управления сложными динамическими системами: монография. Днепропетровск: ПГАСА, 2016. 272 с.
3. Микрюков В. Ю. Теория взаимодействия экономических субъектов. Москва: Вузовская книга, 1999. 96 с.
4. Сиразетдинов Т. К. Динамическое моделирование экономических объектов. Казань: «Фан», 1996. 223 с.
5. Системы автоматического регулирования: практикум по математическому моделированию / Под ред. Б. А. Карташова. Изд. 2-е, перераб. и доп. Ростов на Дону: Феникс, 2015. 458 с.
6. Шибко О. Н. Выбор основного показателя характеристики жизненного цикла строительной фирмы. Дні науки – '2006. Матеріали ІІ Міжнар. наук. – практ. конф. м. Дніпропетровськ, 17-28 квітня 2006 р. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. Том 7: Економічні науки. 2006. С.95-97.
7. Yershova Nina, Velmahina Natalia, Shibko Oksana. Simulation of the interaction of two enterprises in the single production system. Innovative lifecycle technologies of housing, industrial and transportation objects: Monograph. Dnipro – Bratislava, 2018. P. 98 – 106.
8. Yershova Nina, Velmahina Natalia, Kovtun-Horbachova Tetiana. Simulation of the interaction process of three enterprises in the single production system. Sustainable housing and human settlement: Monograph. Dnipro – Bratislava, 2018. P. 222 – 228.

REFERENCES

1. VelmagIna N. O., Ershova N. M., Shibko O. M. Rozrobka teoretichnih osnov proektuvannya pIdpriEmstv I formuvannya virobnichih sistem: monograflya. Dnipro: PDABA, 2020. 272 s.
2. Ershova N.M. Sovremennyye metodyi teorii proektirovaniya i upravleniya slozhny-

- imi dinamiceskimi sistemami: monografiya. Dnepropetrovsk: PGASA, 2016. 272 s.
3. Mikryukov V.Yu. Teoriya vzaimodeystviya ekonomicheskikh sub'ektov. Moskva: Vuzovskaya kniga, 1999. 96 s.
 4. Sirazetdinov T.K. Dinamicheskoe modelirovanie ekonomicheskikh ob'ektov. Kazan: «Fan», 1996. 223 s.
 5. Sistemyi avtomaticheskogo regulirovaniya: praktikum po matematicheskomu modelirovaniyu / Pod red. B. A. Kartashova. Izd. 2-e, pererab. i dop. Rostov na Donu: Feniks, 2015. 458 s.
 6. Shibko O.N. Vyibor osnovnogo pokazatelya harakteristiki zhiznennogo tsikla stroitel'noy firmy. *Dni nauki – '2006. Materiali II Mizhnar. nauk. – prakt. konf. m. Dnipropetrovsk, 17-28 kvItnya 2006 r. Dnipropetrovsk: Nauka i osvita, 2006. Tom 7: Ekonomichni nauki. 2006. S.95-97.*
 7. Yershova Nina, Velmahina Natalia, Shibko Oksana. Simulation of the interaction of two enterprises in the single production system. Innovative lifecycle technologies of housing, industrial and transportation objects: Monograph. Dnipro – Bratislava, 2018. P. 98 – 106.
 8. Yershova Nina, Velmahina Natalia, Kovtun-Horbachova Tetiana. Simulation of the interaction process of three enterprises in the single production system. Sustainable housing and human settlement: Monograph. Dnipro – Bratislava, 2018. P. 222 – 228.

Received 04.03.2021.

Accepted 05.03.2021.

Моделирование и оптимизация параметров процесса взаимодействия предприятий в единой производственной системе

В статье приводится методика проектирования процесса взаимодействия трех предприятий в единой производственной системе. Матричным методом динамического программирования установлены расчетные формулы для параметров проектирования:

частей потока валовой продукции, направляемой предприятиями на развитие собственного производства. В качестве критерия оптимальности принимается квадратичный функционал, физический смысл которого – затраты денежных средств на поддержание стабильного функционирования процесса. При этом конечная продукция производственной системы, направляемой на внешнее потребление должна быть максимальной. Создан программный продукт и получено оптимальное решение. Выполнено моделирование в системе моделирования МВТУ 3.7 процесса взаимодействия трех предприятий для трех вариантов. Вариант с оптимальными параметрами проектирования обеспечивает увеличение производственной мощности предприятий и входит в область рациональных значений частей промежуточной продукции предприятий, установленную в результате вариантного моделирования.

Simulation and optimization of interaction process parameters three enterprises in a single production system

The article presents a method of designing the process of interaction of three enterprises in a single production system. The matrix method of dynamic programming establishes calculation formulas for design parameters: the share of the flow of gross output, which is sent by enterprises for the development of their own production. The quadratic functional is accepted as a criterion of optimality, the physical meaning of which is the expenditure of funds to support the stable functioning of the process. In this case, the final product of the production system, sent to external consumption should be maximum. The software product is created and the optimum decision is received. Modeling in the modeling system of MVTP 3.7 of the process of interaction of three enterprises for three variants is performed. The option with optimal design parameters provides an increase in the production capacity of enterprises and corresponds to the area of rational values of the shares of intermediate products of enterprises, which is established by modeling.

Єршова Ніна Михайлівна - д.т.н., професор кафедри комп'ютерних наук, інформаційних технологій та прикладної математики Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.

Вельмагіна Наталя Олександрівна - к.физ-мат. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, інформаційних технологій та прикладної математики Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.

Єршова Ніна Михайловна - д.т.н., профессор кафедры компьютерных наук, информационных технологий и прикладной математики Приднепровье-ской государственной академии строительства и архитектуры.

Вельмагина Наталья Александровна - к.физ-мат. наук, доцент кафедры компьютерных наук, информационных технологий и прикладной математики Приднепровской государственной академии строительства и архитектур-ры.

Ershova Nina Mikhailovna - Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Computer Science, Information Technology and Applied Mathematics Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Velmagina Natalia Alexandrovna - Ph.D. n, associate professor Department of Computer Science, Information Technology and Applied Mathematics Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture.

ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Аннотация. В данной статье мы анализируем тестовые задачи глобальной оптимизации на численную эффективность методов их решения. Автор предлагает модификации этих тестовых задач, которые упростят проверку численной эффективности методов. Проведено сравнение существующих методов глобальной оптимизации с методом точной квадратичной регуляризации, предложенным автором. Этот метод показал наилучшие результаты при решении большинства тестовых задач. В частности, лучшие решения были получены для тестовых задач с неизвестными решениями. Этот метод позволяет решать мультимодальные задачи большой размерности и для его реализации требуется только программа локального поиска.

Ключевые слова: глобальная оптимизация, численные методы, тестовые задачи, метод точной квадратичной регуляризации.

Введение. Задачи оптимизации возникают в любой сфере человеческой деятельности. Решение таких задач позволяет проектировать и создавать оптимальные сложные системы с минимальным расходом ресурсов. Такие задачи ставились и решались еще до нашей эры. Интенсивность исследований в области оптимизации сильно возросла во второй половине прошлого века. Для решения задач оптимизации было разработано большое число различных методов. Однако эти методы позволяли находить только локальные экстремумы в задачах оптимизации. Это вынуждало исследователей строить только унимодальные модели, что значительно сужало область применения оптимизации. Практика требовала решения многих задач, которые были мультимодальными. Это вынудило исследователей заняться разработкой методов для решения мультимодальных задач. Эти исследования начались только в конце прошлого века. К этому времени методы решения для решения унимодальных задач почти себя исчерпали. Более актуальной является задача разработки эффективных методов для решения мультимодальных задач.

Постановка задачи и цель исследования. В задачах глобальной оптимизации необходимо найти минимальное или максимальное значение функ-

ции многих переменных при заданных ограничениях на эти переменные в виде неравенств или равенств. Такие задачи, как правило, имеют много экстремальных значений и называются мультимодальными. В данной статье показано, что метод точной квадратичной регуляризации, предложенный автором для решения мультимодальных задач на сегодняшний день является наиболее эффективным.

Анализ последних исследований и публикаций. При построении методов глобальной оптимизации наметилось два основных подхода детерминированный и стохастический. Вначале детерминированный подход ориентировался на разработку методов ветвей и границ [1]. В этих методах область поиска разбивалась на части и на каждой части локальными методами искалась верхняя и нижняя оценка. Если эти оценки не совпадали, то такая часть разбивалась на меньшие части. Этот подход был заимствован из области дискретной оптимизации и для решения задач с булевыми переменными он является доминирующим сегодня. Однако методы ветвей и границ оказались не эффективными для решения мультимодальных задач. Это связано с размерностью решаемых задач. Уже при размерностях задачи больше десяти число разбиений области решений становится очень большим. Столкнувшись со значительными вычислительными проблемами, исследователи начали разрабатывать стохастические методы для решения задач глобальной оптимизации [2]. Этот процесс продолжается и в наше время, хотя, по мнению автора, это направление себя исчерпало. Генетические, эволюционные и другие стохастические методы иногда позволяют находить приближенные решения в тестовых задачах, но во многих случаях они находят решения далекие от оптимальных. В наше время преобладают методы получения хороших оценок решений с последующей локальной оптимизацией. Для этого используется полуопределенная или выпуклая релаксация, решение двойственных задач [3, 4]. Этот подход преимущественно используется в программных пакетах для решения задач глобальной оптимизации. Хотя такие методы не гарантируют получение глобального экстремума, но как показали численные эксперименты на тестовых задачах, эти методы позволяют находить решения близкие к оптимальным.

Результаты исследований. Иной подход предложен автором, который разработал метод точной квадратичной регуляризации для решения мультимодальных задач [5]. В этом методе задача мультимодальной оптимизации преобразуется к эквивалентной, но более простой задаче максимума нормы вектора на выпуклом множестве. Простота преобразованной задачи заключа-

ется в том, что во многих случаях преобразованная задача становится унимодальной. Для ее решения достаточно программы локальной оптимизации.

Для проверки эффективности методов глобальной оптимизации разработано большое число тестовых и прикладных задач. Эти тестовые функции и задачи легко найти в Internet. Число тестовых задач превышает тысячу, их размерность доходит до нескольких тысяч. Две большие базы тестовых задач можно найти по адресам <https://www.minlplib.org> и <https://www.gamsworld.org>. Большинство тестовых задач (особенно первой базы) даны с решениями, полученными различными программными пакетами глобальной оптимизации BARON, ANTIGONE, COUENNE, LINDO, SCIP и другими. Эти результаты могут использоваться для сравнительной эффективности методов. Однако эффективность этих тестовых задач условной глобальной оптимизации для проверки методов не очень высокая. Это связано с тем, что точность решения задачи зависит от точности выполнения ограничений. Для задач условной оптимизации очень малые изменения точности выполнения ограничений часто приводят к существенным изменениям значения целевой функции задачи. В этом случае, более информативными для численной проверки эффективности методов глобальной оптимизации являются тестовые задачи безусловной оптимизации. В Internet также можно найти порядка двухсот тестовых функций, на которых проверяется эффективность методов. Часть из них имеют размерность n , что позволяет решать задачи произвольной размерности. Некоторые задачи имеют прикладной характер, например, задача минимизации потенциальной энергии атома, результаты решений которой даны до 1000 атомов включительно. К сожалению, большинство тестовых задач безусловной оптимизации имеют тривиальные решения. Это затрудняет проверку эффективности методов, так как программы глобальной оптимизации могут модифицироваться настройкой параметров до получения заданного точного решения задачи. Такие алгоритмы как генетический, эволюционный и другие содержат большое число (больше 10) настраиваемых параметров. При известном решении задачи выбор параметров можно подобрать таким образом, чтобы алгоритм достиг оптимального решения. Более информативными являются задачи с неизвестными решениями. Это такие, например, как тестовые функции Rana и Egg Holder. Для этих функций получение лучших решений будет свидетельствовать о большей эффективности метода. Автор предлагает увеличить число таких тестовых задач с неизвестными решениями. Мы обобщили многие несепарабельные тестовые задачи двух переменных на задачи n переменных. Это, например, такие

тестовые функции, как Bird, Adjman, Trefethen, Mishra 6, Scahffer 4 и другие. Также большое число тестовых задач полиномиальной оптимизации предложено в работах J. Nie [6], которые еще не включены в списки для обязательного тестирования. Решение в этих задачах неизвестно, поэтому они эффективны для численной проверки методов глобальной оптимизации. Автор предлагает для проверки эффективности методов использовать размерность задач $n = 100$. В большинстве публикациях приводятся результаты численных экспериментов для малых размерностей, что не является информативным.

Автор при помощи метода точной квадратичной регуляризации решил большинство нетривиальных тестовых задач. Результаты этих экспериментов убедительно свидетельствуют о значительно большей эффективности этого метода. Практически для всех задач с неизвестными решениями были получены лучшие решения. В частности, для функции Rana $n = 100$ найдено решение $f(x^*) = -50865,131$, что значительно превосходит результат $f(x^*) = -47332$, полученный другими методами. И это при том, что эта задача решается разными методами уже более 25 лет. Ниже в табл. 1 приведены 10 тестовых функций для проверки эффективности методов глобальной оптимизации.

Таблица 1

Список тестовых функций мультимодальной оптимизации

№	Название	Тестовая функция
1	Rana	$\min \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} [(x_{i+1} + 1) \cos(\sqrt{ x_{i+1} - x_i + 1 }) \sin(\sqrt{ x_{i+1} + x_i + 1 }) + x_i \cos(\sqrt{ x_{i+1} + x_i + 1 }) \sin(\sqrt{ x_{i+1} - x_i + 1 })] \mid -520 \leq x \leq 520 \right\}$
2	Egg Holder	$\min \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} [-x_i \sin(\sqrt{ x_i - x_{i+1} - 47 }) - (x_{i+1} + 47) \sin(\sqrt{ x_{i+1} + x_i / 2 + 47 })] \mid -512 \leq x \leq 512 \right\}.$
3	Adjman	$\min \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} \cos(x_i) \sin(x_{i+1}) + \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{x_{i+1}^2 + 1} \mid x \in [-1, 1] \right\}$
4	Bird	$\min \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} [\sin(x_i) e^{(1 - \cos(x_{i+1}))^2} + \cos(x_{i+1}) e^{(1 - \sin(x_i))^2} + (x_i - x_{i+1})^2] \mid x \in [-2\pi, 2\pi] \right\}$
5	Trefethen	$\min \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} [e^{\sin(50x_i)} + \sin(60x_{i+1}) + \sin(70\sin(x_i)) + \sin(\sin(80x_{i+1})) - \sin(10(x_i + x_{i+1})) + 0.25(x_i^2 + x_{i+1}^2)^2] \mid x \in [-10, 10] \right\}.$
6	Mishra6	$\min \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} -\ln[\sin^2(\cos(x_i) + \cos(x_{i+1}))^2 - \cos^2(\sin(x_i) + \sin(x_{i+1}) + x_i)^2 + 0.001((x_i - 1)^2 + (x_{i+1} - 1)^2)] \right\}$

7	Scahffer4	$\min \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} \left(0,5 + \frac{\cos^2(\sin(x_i^2 - x_{i+1}^2)) - 0.5}{1 + 0.001(x_i^2 + x_{i+1}^2)^2} \right) \mid x \in [-100,100] \right\}$
8	MZakharov	$\min \left\{ -\sum_{i=1}^n x_i - (0.5 \sum_{i=1}^n i x_i)^2 + (0.5 \sum_{i=1}^n i x_i)^4 \mid x \in [-5,10] \right\}$
9	Nie1	$\min \left\{ \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq n} x_i x_j + \sum_{1 \leq i < j < k \leq n} x_i x_j x_k + \sum_{1 \leq i < j < k < l \leq n} x_i x_j x_k x_l \mid \ x\ ^2 \leq 1 \right\},$
10	Nie2	$\min \left\{ \sum_{1 \leq i < j \leq n} (x_i x_j + x_i^2 x_j - x_j^3 - x_i^2 x_j^2) \mid -1 \leq x \leq 1 \right\},$

Такие функции как Rana и Egg Holder считались много раз различными методами, в том числе и для размерности $n = 100$. Функции 3–7 рассчитывались только для $n = 2$ и обобщены автором на размерность n . Функция 8 является модификацией известной тестовой функции Zakharov, предложенной автором. Значение глобального минимума для модифицированной функции неизвестно, в то время как для функции Zakharov оно тривиально.

Приведенные в табл. 1 функции рассчитывались автором методом точной квадратичной регуляризации, и результаты расчета сравнивались с лучшими результатами, полученными всеми другими методами, которые можно найти в Internet. Для тестовых функций, предложенных автором, расчеты для сравнения производились при помощи эволюционного поиска из библиотеки Python. Решение приведенных тестовых задач методом точной квадратичной регуляризации проводилось с использованием программы OpenSolver. Эта программа реализует прямо-двойственный метод внутренней точки для локальной оптимизации. Она является надстройкой Excel, что упрощает ввод исходных данных и формул, для вычисления функций. Для рассматриваемых тестовых функций достаточно ввести одну формулу и скопировать ее на 99 ячеек.

Каждая тестовая задача преобразовывалась квадратичной регуляризацией к виду

$$\max \{ \|x\|^2 \mid f_0(x) + s + (r - 1) \|x\|^2 \leq d, x \in E^{n+1} \}, \quad (1)$$

где $f_0(x)$ – тестовая функция, $\|x\|^2$ – квадрат евклидовой нормы вектора, $\|x\|^2 = x_1^2 + \dots + x_n^2 + x_{n+1}^2$. Задача (1) содержит два параметра s и r . Параметр s выбирается таким, чтобы ограничение задачи (1) в точке максимума было активным, а значения $r > 0$ должно быть таким, чтобы ограничения задачи (1) было выпуклым. Выбор этих параметров обычно не представляет затруднений. Так,

для предложенных в табл. 1 функций достаточно положить $r = 100$, а значение s в зависимости от получаемого решения на каждой итерации.

Задача (1) решается следующим образом. Для каждого возрастающего значения d решается задача (1) программой OpenSolver. Полученные решения проверяются на выполнения условия $r\|x\|^2 = d$ с заданной точностью. Если это условие выполнено для минимального значения d , то решение задачи (1) совпадает с решением исходной задачи. Обычно требуется порядка 50 решений задачи (1) при разных значениях d . Поиск оптимального значения d осуществляется методом дихотомии.

В табл. 2 приведены результаты сравнительных численных экспериментов для рассмотренных тестовых функций. Из приведенных результатов видим, что метод точной квадратичной регуляризации (EQR) показал существенно лучшие результаты для всех тестовых задач. Полученные результаты могут быть использованы для проверки численной эффективности новых методов глобальной оптимизации.

Таблица 1.

Сравнительные численные результаты решений тестовых задач

№ п/п	Задача	n	Метод EQR	Лучшее известное решение
1	EGG HOLDER	100	-89948,532	-89938
2	RANA	100	-50865,131	-47332
3	Trefethen	100	-237,73323	-135,6185154
4	Mishra 6	100	- 289,8371385	-279,5928(python)
5	Adjman	100	-23,95135	-23,30464(python)
6	Scahffer 4	100	28,95141	48,951266(python)
7	M. Zakharov	100	- 255133,9934	-254808,9343(python)
8	Scahffer 4	100	28,95141	48,951266(python)
9	Nie1	50	-0,9775492	-0,88776
10	Nie2	50	-94	-26

В книге автора [5] приведены результаты решения 350 других тестовых задач методом точной квадратичной регуляризации, которые сравниваются с

лучшими решениями этих задач, полученных другими методами. Все решения автора приведены с ответами, по которым легко проверить истинность решений. Много задач решено из приведенных выше баз данных.

Выводы. В работе приведен анализ существующих тестовых задач для проверки численной эффективности методов глобальной оптимизации. Автор предлагает модификацию и расширение этих тестовых задач, упрощающих проверку эффективности методов. Для сравнительной численной эффективности методов использовался метод точной квадратичной регуляризации, разработанный автором. Этот метод показал значительное численное преимущество при решении большинства тестовых задач. Это преимущество заключается в том, что для задач с неизвестными решениями методом EQR получены лучшие результаты (меньшее значение целевой функции), чем всеми другими методами.

ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Horst R. Global Optimization: Deterministic Approaches. 3rd ed./ R. Horst, H. Tuy. – Berlin: Springer–Verlag, 1996. – 727 p.
2. Kenneth V. P. Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization / V. P. Kenneth, R. M. Storn, J. A. Lampinen. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – 542 p.
3. Ye Y. Semidefinite programming /Y. Ye. – Stanford University, 2003. – 161 p.
4. Floudas C. A. A review of recent advances in global optimization / C. A. Floudas, C. E. Gounaris //J. Glob. Optim. – 2009, v. 45, no. 1. – pp. 3–38.
5. Kosolap A. Practical Global Optimization/A. Kosolap. – Dnipro: Bila K.O., 2020. – 196 p.
6. Nie J. Regularization methods for SDP relaxations in large-scale polynomial optimization / J. Nie, L.Wang // SIAM Journal on Optimization. – 2012, vol. 22. – pp. 408–428.

REFERENCE

1. Horst R. Global Optimization: Deterministic Approaches. 3rd ed./ R. Horst, H. Tuy. – Berlin: Springer–Verlag, 1996. – 727 p.
2. Kenneth V. P. Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization / V. P. Kenneth, R. M. Storn, J. A. Lampinen. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – 542 p.
3. Ye Y. Semidefinite programming /Y. Ye. – Stanford University, 2003. – 161 p.
4. Floudas C. A. A review of recent advances in global optimization / C. A. Floudas, C. E. Gounaris //J. Glob. Optim. – 2009, v. 45, no. 1. – pp. 3–38.

5. Kosolap A. Practical Global Optimization/A. Kosolap. – Dnipro: Bila K.O., 2020. – 196 p.
6. Nie J. Regularization methods for SDP relaxations in large-scale polynomial optimization / J. Nie, L.Wang // SIAM Journal on Optimization. – 2012, vol. 22. – pp. 408–428.

Received 05.03.2021.

Accepted 09.03.2021.

Оцінка чисельності ефективності методів глобальної оптимізації

У даній статті ми аналізуємо тестові завдання глобальної оптимізації на чисельну ефективність методів їх розв'язування. Автор пропонує модифікації цих тестових задач, які спростять перевірку чисельної ефективності методів. Проведено порівняння існуючих методів глобальної оптимізації з методом точної квадратичної регуляризації, запропонованим автором. Цей метод показав кращі результати при розв'язуванні більшості тестових задач. Зокрема, кращі розв'язки були отримані для тестових задач з невідомими розв'язками. Цей метод дозволяє розв'язувати мультимодальні задачі великої розмірності і для його реалізації потрібна тільки програма локального пошуку.

Estimation of the numerical efficiency of global optimization methods

Currently, test problems are used to test the effectiveness of new global optimization methods. In this article, we analyze test global optimization problems to test the numerical efficiency of methods for their solution. At present, about 200 test problems of unconditional optimization and more than 1000 problems of conditional optimization have been developed. We can find these test problems on the Internet. However, most of these test problems are not informative for testing the effectiveness of global optimization methods. The solution of test problems of conditional optimization, as a rule, has trivial solutions. This allows the parameters of the algorithms to be tuned before these solutions are obtained. In test problems of conditional optimization, the accuracy of the fulfillment of constraints is important. Often, small errors in the constraints lead to a significant change in the value of an objective function.

Construction of a new package of test problems to test the numerical efficiency of global optimization methods and compare the exact quadratic regularization method with existing methods.

The author suggests limiting oneself to test problems of unconstrained optimization with unknown solutions. A package of test problems of unconstrained optimization is proposed, which includes known test problems with unknown solutions and modifications of some test problems proposed by the author. We also propose to include in this package J. Nie polynomial functions with unknown solutions. This package of test problems will simplify the verification of the numerical effectiveness of methods. The more effective methods will be those that provide the best solutions. The paper compares existing global optimization methods with the exact quadratic regularization method proposed by the author.

This method has shown the best results in solving most of the test problems. This paper presents some of the results of the author's numerical experiments. In particular, the best solu-

tions were obtained for test problems with unknown solutions. This method allows solving multimodal problems of large dimensions and only a local search program is required for its implementation.

Косолап Анатолий Иванович – докт. физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой специализированных компьютерных систем ДВНЗ «Украинский государственный химико-технологический университет».

Косолап Анатолій Іванович – доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем ГВУЗ «Український державний хіміко-технологічний університет».

Kosolap Anatolii Ivanovich – Dr. phys.-mat. sci., professor, head of the Department of Specialized Computer Systems, SHEI "Ukrainian State University of Chemical Technology".

А.Н. Хомченко, О.І. Литвиненко, О.М. Дудченко, І.О. Астіоненко
СТЕРЕОМЕТРІЯ СТИСНУТИХ КОНОЇДІВ
ТА ФІЗИЧНА АДЕКВАТНІСТЬ БАЗИСІВ ЕЛЕМЕНТА Q8

Анотація. У роботі розглядаються нові моделі базисів серендипових скінченних елементів (ССЕ) Q8. Стандартний елемент Q8 використовують у методі скінченних елементів (МСЕ) вже більше 50 років, незважаючи на фізичну неадекватність спектра еквівалентних вузлових навантажень. За останні роки бібліотека серендипових скінченних елементів суттєво поповнилася нестандартними (альтернативними) моделями. Були встановлені причини неадекватності спектра і запропоновані "рецепти" усунення цього недоліку стандартних серендипових моделей. Нові підходи до моделювання базисів за допомогою ієрархічних форм змушують відмовитись від коноїдів – лінійчатих поверхонь, які асоціюються із проміжними вузлами стандартних елементів. На думку авторів, ці поверхні Каталана (1843 р.) недостатньо вивчені і заслуговують на увагу сучасних дослідників. Тому дослідження тривають і сьогодні, відмовлятися від коноїдів не обов'язково. У роботі показано, як шляхом стиснення поверхні коноїда можна отримати математично обґрунтований і фізично адекватний спектр вузлових навантажень. Цікаво, що такі можливості закладені в тригонометричних функціях, популярність яких у МСЕ неухильно зростає.

Ключові слова: базисні функції скінченного елемента Q8, коноїд поліноміальний, коноїд тригонометричний, еквівалентні вузлові навантаження, ефект стиснення напрямної коноїда.

Постановка проблеми. Проблема, як завжди в МСЕ, пов'язана із побудовою базису скінченних елементів (СЕ), який задовольняє умовам інтерполяційної гіпотези Лагранжа. Особливо це стосується стандартних серендипових СЕ, які математично обґрунтовані, але фізично неадекватні (на думку інженерів – прихильників механічних аналогій). Йдеться про від'ємні навантаження в кутових вузлах, які можна спостерігати, наприклад, на елементах Q8 і Q12. Виявлено, що ефект "гравітаційного відштовхування" в кутових вузлах спричиняють проміжні вузли, які не виправдано перевантажені. Вузлове навантаження залежить від об'єму між відповідною базисною поверхнею і площиною носія. Коноїд - це лінійчата поверхня з нульовою кривиною Гаусса. "Жорстка" модель коноїда містить надлишковий об'єм тіла. Тому у 2016 р. автори роботи запро-

понували іншу стереометрію моделі Q8, відмовившись від коноїдів [1, 2]. Нові моделі отримали фізичну адекватність, але втратили технологічну привабливість для архітекторів і будівельників. Сьогодні ми переконалися, що відмовлятися від коноїдів не обов'язково. У цій роботі ми зменшуємо навантаження на проміжний вузол за рахунок стиснення напрямної коноїда. Твірна лишається прямолінійною. Виявляється, що нову стереометрію коноїдів краще створювати за допомогою тригонометричних функцій. Використання неполіноміальних апроксимацій в МСЕ нікого не дивує.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Лінійчаті поверхні Каталана, зокрема коноїди, відомі з 1834 року. В МСЕ коноїди з'явилися у 1968 р., коли Ергатудіс, Айронс і Зенкевич [3] методом підбору сконструювали поліноміальні базисні функції для СЕ першого порядку (Q4), другого порядку (Q8) і третього порядку (Q12). Ці елементи належать до стандартних і мають назву – серендипові (інша назва – ізопараметричні). На практиці найчастіше використовують елементи Q8, які в комбінації з трикутниками T6 ефективно працюють в областях з криволінійними границями.

Більше детальної інформації можна знайти в [4-7]. Особливість всіх стандартних серендипових СЕ в тому, що базисні поверхні проміжних вузлів – коноїди. Саме коноїди “відповідають” за те, що в кутових вузлах виникають неприродні (від’ємні) навантаження від рівномірної одиничної масової сили [6, 7]. Відвертий Зенкевич [6] називає такий розподіл протиприродним і без здорового глузду, а більш стриманий Фадєєв [7] назвав розподіл несподіваним. Зрозуміло, що фахівцям з будівельної механіки такий спектр не подобається. Тому почалися пошуки нестандартних підходів [8, 9] та альтернативних серендипових моделей [1, 10]. У роботах [1, 8, 9] аномалії спектра вузлових навантажень виправляються шляхом залучення ієрархічних форм поліномів. Про 41е поліноміальні базиси, зокрема тригонометричні, почали писати на початку 70-х років минулого століття. Про можливість тригонометричних базисів згадують провідні науковці [6, 11, 12], але конкретні приклади практично відсутні в доступних джерелах. Нижче, на прикладі елемента Q8, ілюструються можливості тригонометрії в задачах моделювання фізично адекватних базисів.

Мета дослідження – за допомогою тригонометричних базисів конструктивно довести існування математично обґрунтованих і (головне) фізично адекватних моделей серендипових елементів Q8.

Викладення основного матеріалу дослідження. Ми розглядаємо серендипів СЕ Q8 з носієм у формі канонічного квадрата: $|x| \leq 1$, $|y| \leq 1$. Вісім вузлів

елемента мають координати: кутові вузли 1(-1;-1); 2(1;-1); 3(1;1); 4(-1;1); проміжні вузли 5(0;-1); 6(1;0); 7(0;1); 8(-1;0). Нагадаємо, як виглядає базис елемента Standard Q8 [3, 5-7].

Повне уявлення про базис Q8 дають дві функції: “кутова” $N_1(x, y)$ (рис. 1) та “проміжна” $N_5(x, y)$ (рис. 2). Ці функції реалізують біквадратичну інтерполяцію і мають вигляд:

$$N_1(x, y) = \frac{1}{4}(1-x)(1-y)(-1-x-y), \text{ аналогічно для } i = 2, 3, 4;$$

$$N_5(x, y) = \frac{1}{2}(1-x^2)(1-y), \text{ аналогічно для } i = 6, 7, 8,$$

де i – номер функції, що асоціюється з номером вузла.

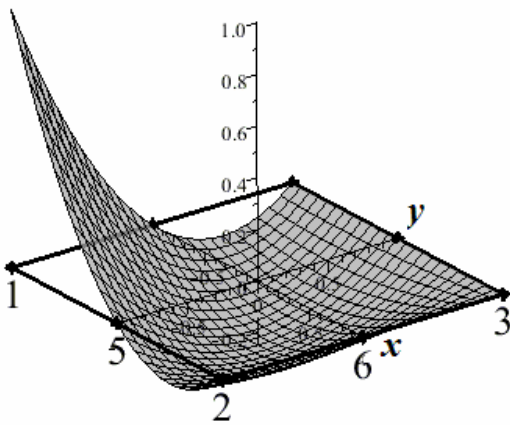


Рисунок 1 – Функція $N_1(x, y)$

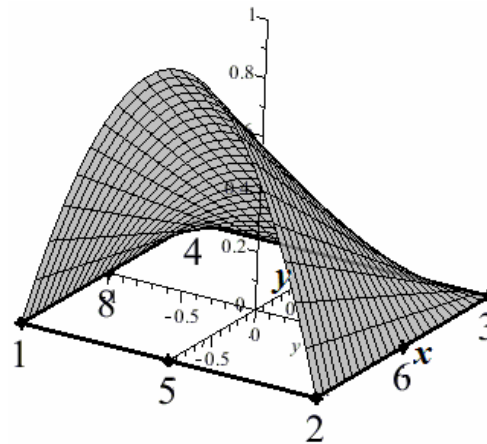


Рисунок 2 – Функція $N_5(x, y)$

Як бачимо, поверхня $N_5(x, y)$ – це коноід, в якому напрямною є парабола, а твірною – пряма.

Вузлові навантаження γ_i обчислюються за правилом інтегрального усереднення, яке відоме з часів Ньютона і Котеса:

$$\gamma_i = \frac{1}{S} \iint_D N_i(x, y) dx dy, \quad i = 1, 2, \dots, 8, \quad (1)$$

де S – площа носія.

З геометричної точки зору γ_i – це середня апліката поверхні $N_i(x, y)$. Вузлові навантаження на стандартному Q8 такі:

$$\gamma_i = -\frac{1}{12}, \text{ для } i = 1, 2, 3, 4; \quad \gamma_i = \frac{1}{3}, \text{ для } i = 5, 6, 7, 8.$$

Тепер зрозуміло, що у цьому спектрі не подобається прихильникам механічних інтерпретацій. Феномен “гравітаційного відштовхування” зникає, як тільки $\gamma_5 \leq \frac{1}{4}$.

Інакше кажучи, все залежить від об’єму між поверхнею коноїда і площиною носія, точніше від середньої аплікати коноїда. Треба шукати альтернативні базиси Q_8 , для яких виконується умова $V_i \leq 1$. Для стандартного базису ця умова не виконується: $V_5 = \frac{4}{3}$. Щоб зменшити об’єм під коноїдом, можна прогнути твірну, як це зроблено в роботі [1].

На жаль, при цьому зникають коноїди, а разом з ними зникають технологічні переваги та естетична привабливість моделі. Нижче показано, як зменшити об’єм під коноїдом шляхом стиснення напрямної. У цьому способі замість фрагмента параболи у ролі напрямної ми використовуємо фрагменти тригонометричних кривих. Ефект зменшення об’єму ілюструють наступні альтернативні моделі коноїдів (рис. 3-4):

$$\text{Модель 1: } \bar{N}_5(x, y) = \frac{1}{2} \cdot \cos \frac{\pi x}{2} \cdot (1 - y) ;$$

$$\text{Модель 2: } \bar{N}_5(x, y) = \frac{1}{2} \cdot \cos^2 \frac{\pi x}{2} \cdot (1 - y) ;$$

$$\text{Модель 3: } \bar{N}_5(x, y) = \frac{1}{2} \cdot \cos^4 \frac{\pi x}{2} \cdot (1 - y) .$$

(2)

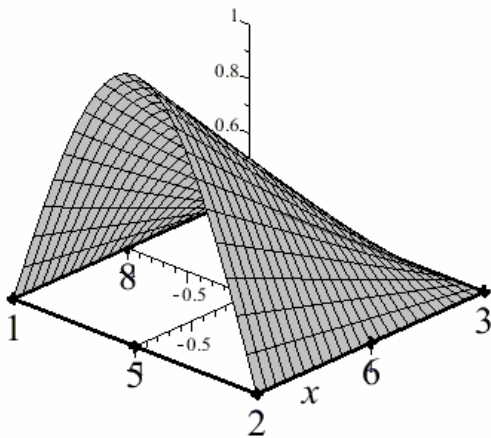


Рисунок 3 – Функція $\bar{N}_5(x, y)$
моделі 1

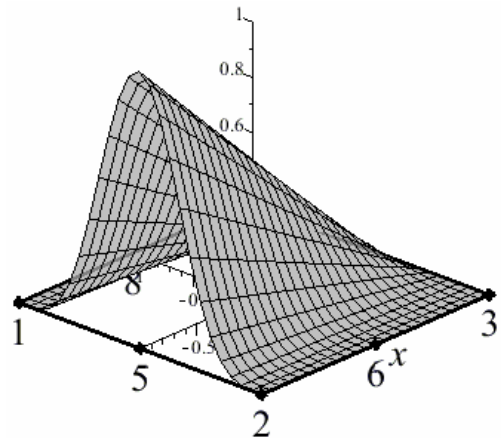


Рисунок 4 – Функція $\bar{N}_5(x, y)$
моделі 3

На цьому ми зупинили процедуру стиснення коноїдів, маючи на увазі адекватність математичної моделі і гіпотезу дифузійної плями. Йдеться про

схему двовимірних випадкових блукань Броунівських частинок з поглинаючими вузлами на границі носія.

Кутові базисні функції Q8 конструюються за методом Тейлора [13] у вигляді лінійної комбінації гіпара і двох сусідніх коноїдів, наприклад,

$$\bar{N}_1(x, y) = \frac{1}{4} \cdot (1-x) \cdot (1-y) - \frac{1}{2} (\bar{N}_5(x, y) + \bar{N}_8(x, y)).$$

Обчислення вузлових еквівалентних навантажень дають наступні результати:

$$\text{для моделі 1: } \bar{\gamma}_1 = \frac{\pi - 4}{4\pi}; \quad \bar{\gamma}_5 = \frac{1}{\pi};$$

$$\text{для моделі 2: } \bar{\gamma}_1 = 0; \quad \bar{\gamma}_5 = \frac{1}{4};$$

$$\text{для моделі 3: } \bar{\gamma}_1 = \frac{1}{16}; \quad \bar{\gamma}_5 = \frac{3}{16}.$$

Треба зауважити, що на $-1 \leq x \leq 1$ графік $f(x) = \cos \frac{\pi x}{2}$ (рис. 3) майже не відрізняється від стандарту $\varphi(x) = 1 - x^2$ (рис. 2). Те саме можна сказати про інтегральні характеристики $\bar{\gamma}_1$ і $\bar{\gamma}_5$ першої моделі. А якщо взяти $\pi = 3$, то навантаження співпадуть із стандартними. Деформація стиснення почалася з моделі 1. Про це свідчить нерівність $\frac{1}{\pi} < \frac{1}{3}$. Модель 2 вже фізично адекватна, вона припиняє “гравітаційне відштовхування”: навантажені лише проміжні вузли. Модель 3 можна вважати кращою, тому що вона наближає теоретичні результати до емпіричних.

Цікаво відшукати серед поліноміальних моделей Q8 таку, що має інтегральні характеристики тригонометричної моделі 3, тобто $\frac{1}{16}$ і $\frac{3}{16}$. Для цього існує метод нематричної конденсації [1, 14], який дає наступні базисні функції:

$$\bar{N}_1(x, y) = \frac{1}{64} \cdot (1-x) \cdot (1-y) (21xy + 5x + 5y + 5), \quad \bar{\gamma}_1 = \frac{1}{16};$$

$$\bar{N}_5(x, y) = \frac{1}{64} \cdot (1-x^2) \cdot (1-y) (11 - 21y), \quad \bar{\gamma}_5 = \frac{3}{16}.$$

Висновки. Тригонометричні моделі SE Q8 ще раз підтвердили, що серендипові елементи – невичерпне джерело важливої і цікавої інформації. Треба відзначити, що сьогодні не обов’язково відмовлятися від коноїдів заради фізичної адекватності моделі. Коноїди мають також “історичне” значення для МСЕ. Перші базиси серендипових SE були сконструйовані із коноїдів (1968 р.). Еле-

гантний метод Тейлора (1972 р.) також спирається на коноїди. Нові результати показують, що тригонометричні базиси спроможні зберегти коноїди та забезпечити фізичну адекватність моделей.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Хомченко А.Н., Астионенко И.А. Гауссова кривизна серендиповых поверхностей или как прогнуть коноид. Вісник ХНТУ. 2016. №3(58). С. 444-447.
2. Хомченко А.Н., Литвиненко Е.И., Астионенко И.А. Геометрия коноида и физическая неадекватность стандартных серендиповых элементов. Вісник Запорізького нац. ун-ту: Зб. наук. статей. Фіз.-мат. науки . Запоріжжя: ЗНУ, 2017. № 1. С. 337-342.
3. Ergatoudis J., Irons B.M., Zienkiewicz O.C. Curved isoparametric quadrilateral elements for finite element analysis, Int. J.Solid: Struct., 4, pp. 31-34. (1968).
4. Norrie D.H., de Vries G. An introduction to finite element analysis. Academic Press, N.Y. (1978).
5. Segerlind L.J. Applied finite element analysis. London: John Wiley (1975).
6. Zienkiewicz O.C. The finite element method in engineering science. McGraw-Hill, London. (1971).
7. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике, М.: Недра, 1987, 221 с.
8. Хомченко А.Н. Некоторые вероятностные аспекты метода конечных элементов. Ивано-Франковский ин-т нефти и газа. 1982, 9 с. – Деп. в ВИНТИ 18.03.82. № 1213 Деп.
9. Хомченко А.Н., Литвиненко Е.И., Астионенко И.А. Геометрия серендиповых полиномов: обратные задачи. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Міжвідомчий науково-техн. збірник. Київ: КНУБА, 2009. Вип. 82. С. 58-63.
10. Астионенко И.А., Литвиненко Е.И., Хомченко А.Н. О серендиповых элементах с естественным спектром узловых нагрузок. Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. Харк. держ. університет харчування та торгівлі. Харків, 2007. Випуск 17. С. 97-102.
11. Strang G., Fix G.J. An analysis of the finite element method: Englewood Cliffs, N.J. Prentice- Hall, Inc. (1973).
12. Oden J.T. Finite elements of nonlinear continua, McGraw Hill, N.Y. (1972).
13. Taylor P.L. On the completeness of shape functions for finite element analysis. J. Num. Meth. Eng., 4, № 1, pp. 17-22. (1972).

14. Литвиненко Е.И. Математические модели и алгоритмы компьютерной диагностики физических полей: дис. кандидата техн. наук: 05.13.06. Херсон, 1999. 172 с.

REFERENCES

1. Homchenko A.N., Astionenko I.A. Gaussova krivizna serendipoviyh poverhnostey ili kak prognut konoid. Visnik HNTU. 2016. 3 (58). 444-447.
 2. Homchenko A.N., Litvinenko E.I., Astionenko I.A. Geometriya konoida i fizicheskaya neadekvatnost standartnyih serendipoviyh elementov. Visnik Zaporizkogo nats. un-tu: Zb. nauk. statey. Fiz.-mat. nauki . Zaporizhzhya: ZNU, 2017. 1. 337-342.
 3. Ergatoudis J., Irons B.M., Zienkiewicz O.C. Curved isoparametric quadrilateral elements for finite element analysis, Int. J.Solid: Struct., 4, pp. 31-34. (1968).
 4. Norrie D.H., de Vries G. An introduction to finite element analysis. Academic Press, N.Y. (1978).
 5. Segerlind L.J. Applied finite element analysis. London: John Wiley (1975).
 6. Zienkiewicz O.C. The finite element method in engineering science. McGraw-Hill, London, (1971).
 7. Fadeev A.B. Metod konechnyih elementov v geomehanike, M.: Nedra, 1987, 221 s.
 8. Homchenko A.N. Nekotorye veroyatnostnyie aspektyi metoda konechnyih elementov. Ivano-Frankovskiy in-t nefti i gaza.1982,9 s.–Dep.vVINITI18.03.82.1213.
 9. Homchenko A.N., Litvinenko E.I., Astionenko I.A. Geometriya serendipoviyh polinomov: obratnyie zadachi. Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika. Mizhvidomchiy naukovu-tehn. zbirnik. Kiyiv: KNUBA, 2009. Vip. 82. 58-63.
 10. Astionenko I.A., Litvinenko E.I., Homchenko A.N. O serendipoviyh elementah s estestvennyim spektrom uzlovyih nagruzok. Geometriche ta komp'yuterne modelyuvannya. Zbirnik naukovih prats. Hark. derzh. universitet harchuvannya ta torgivli. Harkiv, 2007. Vipusk 17. S. 97-102.
 11. Strang G., Fix G.J. An analysis of the finite element method: Englewood Cliffs, N.J. Prentice- Hall, Inc., (1973).
 12. Oden J.T. Finite elements of nonlinear continua, McGraw Hill, N.Y. (1972).
 13. Taylor P.L. On the completeness of shape functions for finite element analysis. J. Num. Meth. Eng., 4, № 1, pp. 17-22. (1972).
- Litvinenko E.I. Matematicheskie modeli i algoritmyi kompyuternoy diagnostiki fizicheskikh poley: dis. ... kandidata tehn. nauk: 05.13.06. Herson, 1999. 172 s.

Received 09.03.2021.
Accepted 11.03.2021.

Стереометрия сжатых коноидов и физическая адекватность базисов элемента Q8

Рассматриваются новые модели базисов серендиповых конечных элементов Q8. За последние годы библиотека серендиповых конечных элементов существенно пополнилась нестандартными (альтернативными) моделями. Были установлены причины неадекватности спектра и предложены "рецепты" устранения этого недостатка стандартных серендиповых моделей. Новые подходы к моделированию базисов при помощи иерархических форм заставляют отказаться от коноидов – линейчатых поверхностей, которые ассоциируются с промежуточными узлами стандартных элементов. Нові дослідження показують, що відмовлятися від коноїдів не обов'язково. Показано, як путем сжатия поверхности коноида можно получить математически обоснованный и физически адекватный спектр узловых нагрузок.

Stereometry of compressed conoids and physical adequacy of q8 element bases

The paper considers new models of bases of serendipity finite elements (FE) Q8. The standard element Q8 has been used in the finite element method (FEM) for more than 50 years despite the physical inadequacy of the spectrum of equivalent nodal loads.

In recent years, the library of serendipity finite elements has been significantly replenished with non-standard (alternative) models. The reasons for the inadequacy of the spectrum were identified and "recipes" were proposed to eliminate this shortcoming of standard serendipity models. New approaches to modeling bases with the help of hierarchical forms force to abandon conoids - linear surfaces that are associated with intermediate nodes of standard elements. According to the authors, these Catalan surfaces (1843) are insufficiently studied and deserve the attention of modern researchers. Therefore, research is being conducted today, and it is not necessary to give up conoids. The paper shows how by compressing the surface of the conoid it is possible to obtain a mathematically sound and physically adequate spectrum of nodal loads. It is interesting that such capabilities are embedded in trigonometric functions, the popularity of which in the FEM is growing steadily.

The purpose of the research is to constructively prove the existence of mathematically substantiated and (most importantly) physically adequate models of serendipity elements Q8 with the help of trigonometric bases.

Trigonometric models of the finite element Q8 once again confirmed that serendipity elements are an inexhaustible source of important and interesting information. It should be noted that today it is not necessary to give up conoids for the sake of physical adequacy of the model. Conoids are also of "historical" importance to FEM. The first bases of serendipity FEs were constructed from conoids (1968).

Taylor's elegant method (1972) is also based on conoids. New results show that trigonometric bases are able to preserve conoids and ensure the physical adequacy of the models.

Хомченко Анатолий Никифорович - д.ф.-м.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв)

Литвиненко Олена Іванівна - к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та фізико-математичних дисциплін Херсонської філії Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

Дудченко Олег Миколайович - к.т.н., професор кафедри інформаційних технологій та фізико-математичних дисциплін, заступник директора з навчальної роботи Херсонської філії Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

Астіоненко Ігор Олександрович - к.ф.-м. н., доцент, доцент кафедри вищої математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університету

Хомченко Анатолій Никифорович - д.ф.-м.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Черноморського національного університету імені Петра Могили (г. Николаев)

Литвиненко Елена Ивановна - к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та фізико-математических дисциплін Херсонського філіала Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

Дудченко Олег Николаевич - к.т.н., професор кафедри інформаційних технологій та фізико-математических дисциплін, заступник директора по навчальній роботі Херсонського філіала Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

Астіоненко Ігорь Александрович - к.ф.-м. н., доцент, доцент кафедри вищої математики і математического моделювання Херсонського національного технічного університету

Khomchenko Anatoliy - doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Intellectual Information Systems of the Petro Mogyla Black Sea National University.

Lytvynenko Olena - ph.d., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Physical and Mathematical Disciplines of the Kherson Branch of the National University of Shipbuilding named after adm. Makarova.

Dudchenko Oleh - ph.d., Professor of the Department of Information Technologies and Physical and Mathematical Disciplines, Deputy Director for Academic Affairs of the Kherson Branch of the National University of Shipbuilding named after adm. Makarova.

Astionenko Igor - ph.d., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Mathematical Modelling of the Kherson National Technical University.

IMPROVEMENT QUALITY OF PREPARATION SPECIALISTS IN AREA OF MATHEMATICAL MODELING

Abstract. Improvement quality of preparation specialists in area of mathematical modeling is an actual problem in education students (especially applied) and non mathematical specialties. For solving this problem must be used system and successive exposition of maintenance of the stages of building model with obligatory demonstration of there intercommunications. Each stage of modeling makes some part of quality of model. Most difficult stage is idealization of original, because in this case the most important properties of original must be distinguished and the experimental samples of output of variables of original and calculation samples of model are got.. Main attention it must be spared to estimation of adequacy original and model with the help of famous nonparametric criteria such as criterion Wilcoxon and special criterion for small samples. Last part of modeling usually is optimization parameters of original.

Methodology of study, that provides a receipt of the deeper and complete understanding of essence of mathematical modeling of technical objects is offered. Positive results are achieved by using method which is proposed.

System exposition of material and accent on research and proof adequacy of model allow to attain the deeper and complete understanding of essence of mathematical design of technical objects and promote efficiency of preparation of specialists in area of the applied mathematical modeling.

Key words: education, design, adequacy, quality, preparation.

Introduction. Mathematical modeling is important addition, and sometimes and by an alternative (especially for expensive and unique objects), for model methods of research of the systems.

For the learning the mathematical modeling to curricula of technical (and other non mathematical) specialties are included special disciplines (in further exposition – mathematical modeling or MM), in which examined common questions of modeling (including using mathematical methods) for applied profile fields (for example, engineer, metallurgy, informative and economic systems etc.)

For successful mastering disciplines MM must be executed certain terms, which may be divided on external and internal demands according to discipline MM.

External demands mainly are taken into account in structural-logical scheme

(which are realized in curriculum) preparation of specialist. There must be envisaged a preliminary study of providing disciplines (in particular mathematics, informatics and some profile disciplines). Thus necessary divisions and volumes of study of providing disciplines are stipulated by the requirements of qualifying description of preparation of specialist. In turn, discipline MM is providing discipline for special profile disciplines of curriculum and its structure and volume also stipulated by corresponding qualifying description.

Internal demands are stipulated mainly by didactic features of learning discipline MM. The aim of learning discipline MM is system task, namely, acquisition of skills of construction and use of mathematical models. During teaching mathematical modeling it is necessary jointly to examine maintenance, connected with strictly mathematical questions and actions, which are connected with creation models (*actually a modeling*). The idea of the system must pierce all stages of study of disciplines MM. Exposition all that executable parts of curricula (realization of lecture, practical and other types of lessons) must provide the achievement of this aim.

For creation of mathematical model it is necessary consistently to execute the row of actions, namely, **forming the aim, idealization of original, formalization, identification and testing adequacy model.**

Forming the aim at creation of mathematical model means pointing **setting of model**, the required exactness and possible cost of modeling.

Pointing **setting of model** must include description of aim for using model (for example, for researches, managements, optimizations) and field of using (turn-downs of entrance and output variables). Exactness and possible cost of modeling are associated.

Idealization of original is executed for simplification initial object by the way of reasonable exception from consideration of unimportant properties of original. Foundation for exception is quality analysis of maintenance of properties and quantitative estimation of degree of influence of entrance variables on output variables. For example, it is possible to except properties which are not mentioned in the aim of modeling. Other reason for exception may be small sizes of coefficients of pair correlation between according input and output varieties.

Formalization consists in a reasonable choice of block-hierarchical structure of mathematical model and forms of mathematical expressions for description model. Structural complication of model (quantity of submodels, their connections, number levels of hierarchies) determines by demands of accuracy of modeling and by results of idealization. Kinds of mathematical expressions for description model

(submodels) elects by the folded traditions in concrete application field or gets out universal form of unidimensional or multidimensional polynomials.

As a result of formalization is created mathematical model for big group close in physical nature originals.

Identification is doing for excretions of model for concrete original from this group by the way of definition numbers of parameters of mathematical model. These numbers are defined on the base of aim creation model by the way of analyzing known apriori information or by special experiments and treatments of their results (for example by methods of regressive analysis).

Testing adequacy of model is doing for estimation level of conformity of mathematical model and the original, which has some difficulties in the conditions of deficit of information and limit resources of time and facilities.

Conformity is provided if idealization, formalization and identification are doing in correct way during building models, and accuracy input and output information (for one and some samples). If level of adequacy is not sufficient, it is necessary to analyze content works on each stages of creation model, something change and to obtain implementation of condition conformity.

Depending from brunch of using mathematical modeling there is [1] definite opinion about the level of conformity for models, which used during investigation, designing or using original. Particularly, during investigation of originals it is possible maximum level of mistake (near 20%), during designing of originals demands more strong conditions to accuracy (near 7%), and during using of originals these demands are most strong (near 3%).

The problem of an estimation of conformity (the term adequacy is sometimes used) of mathematical model and the original can be considered [4] as a version of a known problem about checking of uniformity of two samples, formed by target variables of mathematical model and the original. Let elements of two samples, which are realizations of target variables of model and the original, are mutually independent and submit to continuous distributions. The basic checking hypothesis, consists in the assumption, that both samples are taken from the same sets and, so means that functions of distribution of random variables are identical.

Considering, that in real conditions of modeling it is often inconvenient to receive the necessary information on laws of distribution of the random variables forming samples, expediently use for this purpose nonparametric criteria. Famous criteria of this type are criterion Wilcoxon and special criterion for small samples.

Let's look the specialties of application the criterion Wilcoxon:

1. At first it must be build variational raw for numbers of elements of both samples.

2. Calculate criterion Wilcoxon as sum of ranks (serial numbers) of elements of smaller sample.

3. Compare criterion Wilcoxon with it criterial values, which are depends from volumes of both samples and significance value Q .

4. Hypothesis about adequacy for significance value Q is proved if value of criterion Wilcoxon is between minimum and maximum criterial values.

Criterion Wilcoxon provides an opportunity of the analysis small samples, including case when in one of samples is one value (the minimum quantity of values is equal the second sample 9 at a significance value of 10 %). Considering, that criterion Wilcoxon possesses, besides with sufficient power and efficiency, allows to allocate area of modeling, criterion Wilcoxon is recommended to be used as the core at estimation conformity of mathematical model and original.

More difficult is task to estimate adequateness of model when the quantity of information is too small, for example, as it may be for the metallurgical processes. In this case it is necessary to use other criteria, which is based on small samples as for model so for original. It shows what is the difference between testing variety and average value for bigger sample (for original or model) on a relation to mean quadratic deviation for this sample.

The criteria may be built in such way:

1. For bigger sample (indifferently model or origin) calculate statistical characteristics

$$\bar{\xi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i,$$
$$(S^*)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\xi_i - \bar{\xi})^2$$

2. Determine the value of criteria

$$\zeta(\bar{\xi}, S^*) = \max |(\xi'_r - \bar{\xi}) / S^*|, \quad r = \overline{1, m}.$$

3. According to rule of criteria main hypothesis (about the conformity of testing variety) is true if it is true such condition

$$\zeta(\bar{\xi}, S^*) < \zeta(n, Q)$$

where n – volume of bigger sample,

ξ'_r - testing variety.

Practical using of criteria may be more simple if take its limit values

$$\xi_{max} = \bar{\xi} + \zeta(n, Q) \cdot S^*$$

$$\xi_{min} = \bar{\xi} - \zeta(n, Q) \cdot S^*$$

If testing variety is placed between limit values so it means that hypothesis about the conformity of testing variety is true with a definite level of significance value Q .

The finishing stage of decision of task of modeling of the real object usually is optimization. Depending on maintenance of concrete task [2] one (rarer a few) of output variables of mathematical model gets out as a criterion of optimization, and other output variables are taken into account in problem of optimization definition as limitations as equalities or inequalities.

Optimization is based on mathematical models (which are built) and is doing for determining optimal numbers of input varieties and parameters of model. For solving such task may be used enough universal gradient method based on application of the known [2] receptions of the extreme planning of model experiments,

System exposition of material and accent on research and proof adequacy of model allow to attain the deeper and complete understanding of essence of mathematical design of technical objects and promote efficiency of preparation of specialists in area of the applied mathematical modeling.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Ясев А.Г. Соответствие математических моделей и технологических процессов в металлургии и машиностроении. - Днепропетровск: Днепр-VAL, 2001. - 237 с.
2. Ясев А.Г. Применение методов оптимизации технологических процессов. С. 163-217 // Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. - Т. 8: «Оптимизация технологических процессов в машиностроении» - Одесса: ОНПУ, 2004. - 509 с.
3. Ясев А.Г. Основы математического моделирования: Конспект лекций. - Днепропетровск: НМетАУ, 2014. - 141 с.
4. Yasev A.G. Estimation of conformity of model and the original // Системные технологии. - 2017. - №5. - С. 86-90

REFERENCES

1. Jasev A.G. Sootvetstvie matematicheskikh modelej i tehnologicheskikh processov v metallurgii i mashinostroenii. - Dnepropetrovsk: Dnepr-VAL, 2001. - 237 с. [in Russian].
2. Jasev A.G. Primenenie metodov optimizacii tehnologicheskikh processov. S. 163-217 // Fiziko-matematicheskaja teorija processov obrabotki materialov i tehnologii

mashinostroenija / Pod obshhej redakciej F.V. Novikova i A.V. Jakimova. V desjati tomah. - T. 8: «Optimizacija tehnologicheskikh processov v mashinostroenii» - Odessa: ONPU, 2004. - 509 s. [in Russian].

3. Jasev A.G. Osnovy matematicheskogo modelirovanija: Konspekt lekcij. – Dnepropetrovsk: NMetAU, 2014. – 141 s. [in Russian].

4. Yasev A.G. Estimation of conformity of model and the original // Системные технологии. – 2017. - №5 . - С. 86-90.

Received 09.03.2021.

Accepted 11.03.2021.

Підвищення якості підготовки фахівців в галузі математичного моделювання

Підвищення якості підготовки фахівців в області математичного моделювання є актуальною проблемою в освіті студентів (особливо прикладних) та нематематичних спеціальностей.

Для рішення цієї проблеми повинне бути використано системне та послідовне представлення змісту етапів створення моделі з обов'язковою демонстрацією їх взаємозв'язків. Кожний етап моделювання створює певну частку якості моделі. Найбільш складним етапом є ідеалізація оригінала, так як в цьому випадку самі важливі якості оригіналу повинні бути визначені, і одержані експериментальні вибірки вихідних перемінних оригіналу та розрахункові вибірки моделі. Головна увага повинна бути приділена оцінці адекватності оригіналу та моделі за допомогою відомих непараметричних критеріїв таких як критерій Wilcoxon і спеціальний критерій для малих вибірок. Критерій базується на статистичному аналізі вихідних перемінних моделі та оригіналу. За необхідності розробляються нові конструктивні або технологічні пропозиції для вдосконалення оригіналу. Кінцевою частиною моделювання зазвичай є оптимізація параметрів оригіналу. Метод оптимізації обирається в залежності від виду моделі та змісту задачі.

Запропоновано методологію навчання, яка забезпечує досягнення більш глибокого та повного уявлення щодо сутті математичного моделювання технічних об'єктів. Позитивні результати отримані завдяки використанню метода, який було створено.

Системне представлення матеріалу та акцент під час навчання на дослідженні та доведенні адекватності моделі дозволяють отримати більш ясне розуміння студентами сутності математичного моделювання технічних об'єктів і підвищити ефективність підготовки фахівців в області прикладного математичного моделювання.

Improvement quality of preparation specialists in area of mathematical modeling

Improvement quality of preparation specialists in area of mathematical modeling is an actual problem in education students (especially applied) and non mathematical specialties.

For solving this problem must be used system and successive exposition of maintenance of the stages of building model with obligatory demonstration of there intercommunications. Each stage of modeling makes some part of quality of model. Most difficult stage is idealization of original, because in this case the most important properties of original must be distinguished and the experimental samples of output of variables of original and calculation samples of model are got.. Main attention it must be spared to estimation of adequacy original and model with the help of famous nonparametric criteria such as criterion Wilcoxon and special criterion for small samples. This criterion is based on the statistical analysis of output variables of the

model and original. At a necessity new structural or technological suggestions are developed for perfection of original. Last part of modeling usually is optimization parameters of original. The method of optimization is elected depending on the type of model and maintenance of task.

Methodology of study, that provides a receipt of the deeper and complete understanding of essence of mathematical modeling of technical objects is offered. Positive results are achieved by using method which is proposed.

System exposition of material and accent during the teaching on research and proof adequacy of model allow to attain the deeper and complete understanding by students of essence of mathematical design of technical objects and promote efficiency of preparation of specialists in area of the applied mathematical modeling.

Ясев Олександр Георгійович – к.т.н., професор кафедри екології, теплотехніки та охорони праці Національної металургійної академії України.

Ясев Александр Георгиевич – к.т.н., професор кафедри екології, теплотехніки и охораны труда Национальной металлургической академии Украины.

Yasev Aleksandr Georgievich - professor Department of Ecology, Heat Engineering and Protection of Practice National metallurgical academy of Ukraine.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF A NETWORK INTERFACE ON THE EFFICIENCY OF MODULAR MULTIPROCESSOR SYSTEMS

Abstract. The paper is devoted to the approach development related to methodology definition for evaluation of the modular multiprocessor computing systems efficiency. At the same time, the main attention is focused on the impact peculiarities on this network interface value. The formation analysis of the multiprocessor system network interface architecture and the basic modes of its operation have been analyzed. To evaluate the processes occurring in the system during the information flows transmission, the network system bandwidth and the switch throughput were compared; which allowed determining the preconditions for optimal components selection of the multiprocessor computing system network interface. The performed researches also allowed deducing analytical relations for determining the optimal number of system nodes with different functioning modes. The selected processors coherency coefficient, network interface and value of the computing area are deduced. The derived analytical relationships also showed that the optimal number of blades in a multiprocessor computing system, that provide its highest speed, decreases with increasing computing power of the processors included. It is shown that the network data interchange among the multiprocessor computing system nodes the more likely to impede the overall computation process; the less time will be spent directly on solving a specific problem.

Keywords: multiprocessor computing system, acceleration, efficiency, computing network loading coefficient, computing nodes.

Introduction. Almost simultaneously with the first multiprocessor computing systems advent, there emerged a need to evaluate their efficiency, performance, speed and later the comparison with similar computing systems, considering the listed criteria. It is the speed and performance that draw main focus, including the multiprocessor computing systems design. Such an approach is aimed, for example, to the development of new technological processes (when the time of computations is a critical value), the analysis of environmental pollution, and also owing to its method one can solve a variety of multidimensional non-stationary problems [1 – 3]. In addition, such problems types often have to be solved in medicine, military equipment, etc.

One of the main problems of using a multiprocessor computing system to solve such problems considered in this paper can be stated as follows: we have the dimension mesh difference M , the computation time of a problem solved by a single-processor system denoted by the t value. This is a key parameter. It is necessary to significantly reduce the computing time while saving the M value. Consequently, we consider the problem where we aim to reduce the computation time by increasing the nodes number in the multiprocessor computing system. In this case, the computing area is evenly distributed among the multiprocessor computing system nodes.

Problem statement. Significant interest in the practice of parallel computing is the value evaluation of possible increase in productivity, considering qualitative characteristics of the software product itself and technical capabilities of multiprocessor computing system. Ideally, one can predict that solving any problem by the number of processors n should be n times faster than one processor. However, in fact, such acceleration can hardly ever be achieved. The reason for this circumstance is well illustrated by the Amdahl law (Gene Amdahl) [4]. The Amdahl law associates potential computation acceleration when paralleling with the share of operations performed a priori consistently. A preliminary analysis of Amdahl's law suggests that the potential acceleration of computations when paralleling is associated with the proportion of operations that are performed sequentially. The priori estimation of the successive operations proportion f is not easy (the sequence concepts and operations parallelism are difficult to formalize and allow for ambiguous interpretations). It's virtually impossible to estimate this value by simple analyzing the program text. We emphasize that this estimate can only be made by real computations using a different number of processors. This circumstance was considered while evaluating the developed multiprocessor computing system effectiveness. For that matter, in the research of efficiency indicators, Amdahl's law was applied to solve the inverse problem, which is in determining the value of f (the algorithm operations part that can not be parallelized) based on experimental data obtained from the system's performance. That allowed quantifying the achieved *parallelism efficiency*. Taking into account the aforementioned, a general approach was developed to evaluate the performance of a modular multiprocessor computing system.

It is also known that the computations parallelization efficiency essentially depends on many factors; one of the most important is the specificity of the data transfer among adjacent nodes of the multiprocessor computing system, since this is the algorithm slowest part can undo the effect of increasing the processors number used.

These issues are considered crucial in a simulation of a wide range of problems using modular multiprocessor computing systems, and today those are successfully solved by many researchers [5 – 9].

The unresolved parts of the problem. Working methods of efficiency analyzing of multiprocessor computing systems do not allow determining optimal number of its nodes for solving a certain class of problems. At the same time, they did not get proper research development on the network interface impact on the efficiency of modular multiprocessor computing systems. In addition, for computing multiprocessor system evaluation efficiency, the main analytical relations are not provided through parameters of the system being studied.

Research purpose. Research purpose is to further develop the approach associated with definition of a methodology for evaluating the multiprocessor modular computing system effectiveness. At the same time, the main attention is paid to influence peculiarities on the given indicator of the developed system network interface. It is also necessary to derive analytical relations for determining the optimal nodes number in the application to different modes of its operation. For ease of estimation of the multiprocessor computing system efficiency, it is necessary to derive the main analytical relationships through its parameters.

The research main results. For a class of problems that are solved in this paper, all computations are performed on the basis of the difference grid. Then, when analyzing the multiprocessor computing system efficiency, the most important parameter was the time to compute a single iteration (T_{it}) in association with the computing field. In terms of multiprocessor computing system, this indicator was determined on the basis of the following ratio:

$$T = T_n + T_{ex} , \quad (1)$$

herein $T_n = \frac{T_{it}}{N}$, this value means the computation time of a single iteration by N computing nodes, in seconds, T_{ex} is the time of boundary data exchange among the system nodes, in seconds. The computation time of the single iteration itself when used in the system N of the computing nodes can be specified by the following formula:

$$T_n = \frac{E_i \cdot E_y \cdot K_R}{N \cdot V_c} \quad (2)$$

In expression (2) E_i is the array length of the computations boundary field; at the same time, this value determines the difference grid length along the abscissa; E_y is the length of the difference grid along the ordinate; K_R is the one difference cell size of type *Real*8* (64 bits); parameter V_c shows the speed of computing when solving such problems using the proposed processor.

The value T_{ex} was determined by the following formula:

$$T_{ex} = \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R}{k \cdot d \cdot V_p} \quad (3)$$

In expression (3), the m value may be equal to one in the unilateral mode of boundary data exchange, or two when it is two-way; V_p is network bandwidth in the system, Gbit/s; k is the communication channels number of the network operating simultaneously (computing networks number), d - half-duplex ($d = 1$), or duplex ($d = 2$) mode of the computer network in a multiprocessor computing system.

Under these conditions one can compute total computation time of a single iteration that will include, in fact, the computation time of a single iteration when using N nodes of a multiprocessor computing system and the time of boundary data exchange depending on the number of nodes N , that is

$$T = \frac{E_i \cdot E_y \cdot K_R}{N \cdot V_c} + \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R}{k \cdot d \cdot V_p} \quad (4)$$

The relation (4) analysis shows that computation area distribution among the nodes allowed reducing the number of computations performed by each of its blades. Due to the fact that the multiprocessor computing system nodes work in parallel, then the total computing iteration time decreases. At the same time, with the nodes increase in the system, the boundary data volume also increases, and thus, time for the information exchange among the nodes increases.

In order to compute acceleration and efficiency of the system, the commonly accepted concepts in the theory of parallel computations were taken as the basis. An analytical ratio was derived for estimating the efficiency of a multiprocessor computer system through its parameters, i.e.

$$Q = \frac{T_{ii} \cdot k \cdot d \cdot V_n \cdot N}{T_{ii} \cdot k \cdot d \cdot V_n \cdot N + N^2 \cdot m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R} \quad (5)$$

The performance indicators of multiprocessor computing system were simultaneously determined by the formulas (3 - 5) given above and by means of experimental computations. It was observed that the results obtained coincide, which is explained by the computations nature. Fig. 1, 2 depict simulation graphs of depend-

ence of a single iteration computation time on the nodes number of a multiprocessor computing system and computations acceleration dependence on the nodes number of a multiprocessor computing system.

Fig. 1 shows a single iteration computation time with increasing number of nodes decreases with hyperbolic dependence (curve 1). However, the boundary data exchange time with the increase in the nodes number of the system increases according to the linear law (line 2). The general picture of the change in a single iteration computation time in a multiprocessor computing system illustrates dependence represented by curve 3. An analysis of such a curve shows that at the first stage, the computations time decreases with increasing nodes number of the system. A similar result was foreseen. However, the reduction of this time occurred to a certain limit. If, for instance, the nodes number exceeds six, then the total computation time begins to increase. This happens along with the increase in the data amount, which get transferred among the nodes. Thus, one can conclude that with the constant grid size the blades number in the system should be no more than six. At the same time, the time spent on solving the problem, decreased from 100 seconds to 30.81 seconds.

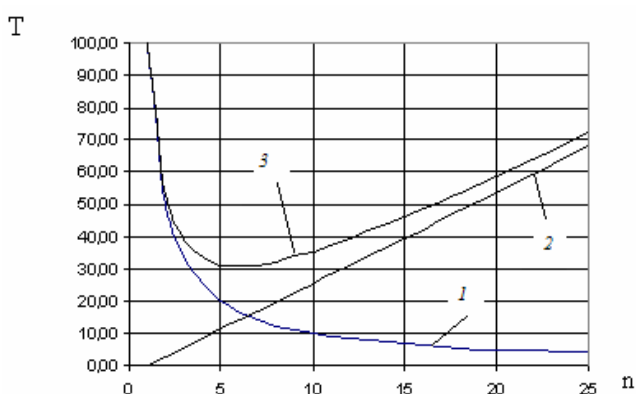


Figure 1 - A single iteration computation time dependence curves on the nodes number of the multiprocessor computing system

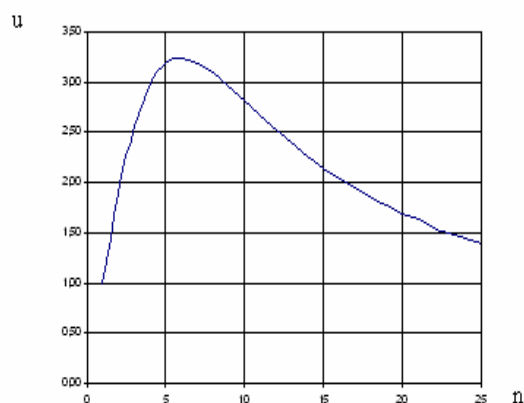


Figure 2 - Computations acceleration dependence curves on the nodes number of a multiprocessor computing system

In the second part of the research, further development methods for analyzing the multiprocessor modular computing system efficiency have been developed. Moreover, the main attention was paid to the peculiarities of the network interface interference of the developed system on its efficiency values. Initially, the network interface architecture peculiarities of the multiprocessor computing system and the basic modes of its operation were considered. To evaluate the processes occurring in the system during the information flows transmission, the network system band-

width and the switch throughput were compared. This procedure was necessary for optimal selection of components of the network interface of a multiprocessor computing system. In this regard, for the research convenience, the total bandwidth parameter of the multiprocessor network system was introduced according to the specification of the manufacturer (V_s). It was defined as follows:

$$V_s = V_p \cdot N \cdot d. \quad (6)$$

Herein N is the nodes number in the system, and V_p is its network protocol throughput, Gbit/s. With this approach it is already possible to compare the values of the total network interface bandwidth of the system (V_s) and the switch (V_b) bandwidth. For further analysis of the network interface of multiprocessor computing system, the throughput coefficient of the network system (k_s) was introduced. Its value was determined by the following ratio:

$$k_s = \frac{V_s}{V_b}. \quad (7)$$

By taking into account formula (7)

$$k_s = \frac{V_p \cdot N \cdot d}{V_b}. \quad (8)$$

To further use this approach, the concept of switching capacity coefficient (k_b) was proposed and a formula was derived for its definition, i.e.

$$k_b = \frac{V_b}{V_p \cdot N \cdot d}. \quad (9)$$

To illustrate broad picture of the processes under research, some definitions were introduced, and then, with their account, a more detailed analysis of the main network characteristics of multiprocessor computing system was performed.

Definition 1. *The network interface deficiency mode of a multiprocessor computing system is such an option of its network functioning, where there is an inequality:*
 $k_s < k_b$.

Definition 2. *The network interface surplus mode of the multiprocessor computing system is such an option of its network functioning, where there is an inequality:*
 $k_s > k_b$.

Establishing the optimal nodes number in the cluster system. It should be noted that the numerical-analytical schemes of the higher accuracy order, considered in the papers [12, 9], serve as the computational methods for solving the heat

conduction problem. As a basis for determining the boundary data exchange time in a cluster system while working in its network interface deficiency mode, the relation (3) becomes as follows:

$$T_{ex1} = \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot K_{pr}}{k \cdot d \cdot V_p}, \quad (10)$$

To compute the boundary data exchange time in the cluster system in its network interface surplus mode, we apply the relation of the following form:

$$T_{ex2} = \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot N \cdot K_{pr}}{k_m \cdot d \cdot V_b} \quad (11)$$

Further, considering the multiprocessor computing system in the performed experiment conditions, we establish in it the nodes number that provides the most effective solution to the problem. At the same time, [5, 3] show that the computational speed will increase by about the moment when

$$T_{calc} \approx T_{ex} \quad (12)$$

Thus, on the basis of the relation (12), it is possible to compute the nodes number in the cluster computing system needed to effectively solve the problem. Note that this research phase aims to reduce the total computation time by parallelizing the program. Obviously, at the same time, the overall grid size does not depend on the computing nodes number in the cluster system. Taking into account the relation (9), we obtain analytical expressions for determining the optimal nodes number of a cluster system, when it operates in a network interface deficiency mode, that is,

$$\frac{T_{calc}}{N} \approx \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot K_{pr}}{k \cdot d \cdot V_p} \quad (13)$$

We also have the following expression for the network interface surplus:

$$\frac{T_{calc}}{N} \approx \frac{m \cdot (N - 1) \cdot E_i \cdot K_R \cdot N \cdot K_{pr}}{k_m \cdot d \cdot V_b} \quad (14)$$

Using expressions (13) and (14), we can obtain two equations in relation to N to determine the optimal nodes number in a cluster system, where the total computational required time for solving the problem will be minimal. Thus, the equation (13) reduces to a quadratic form, i.e.

$$N^2 - N - \frac{E_y \cdot k \cdot d \cdot V_p}{m \cdot V_c} = 0 \quad (15)$$

For analysis convenience, we will write the equation (15) as follows:

$$N^2 - N - \lambda = 0 \quad (16)$$

In equation (16) $\lambda = f(E_y, V_p, 1/V_c)$, this value can be interpreted as the capabilities coherency coefficient of the selected processors, the network interface and the computing area value when the system operates in a network interface deficiency mode. In addition, it should be emphasized that the correspondence of the cluster system capabilities to the nature of the problems to be solved requires the coordination of all parts that is included in the value λ . Let's analyze this coefficient. At first glance, the result turned out to be somewhat paradoxical. It shows that the coefficient of consistency λ , as well as the optimal blades number in the cluster system do not depend on the data area size. Such an assertion can be explained by the fact that the computation domain distribution among the cluster system nodes was carried out at its constant size. This means that the ratio of the time spent on processing the data in this area and the transfer time also remained unchanged and independent of its size. The second very important conclusion is that the optimal blades number in the cluster system, which provides its highest speed, decreases with increasing computing power of the processors included in it. Such a statement becomes quite clear when one considers that the network data exchange among the cluster system nodes is more likely to impede the overall computation process, the less time will be spent directly on solving a specific problem.

Thus, the equation (15) solution will be two radicals, one of them is negative, and the other one is positive. Proceeding from the set physical conditions of the problem, a positive radical is adopted, which value is equal to eight, hence $N = 8$. Note that this result satisfies the inequality that establishes the conditions for the cluster system to function in the network interface deficiency mode [14].

Equation (11) is reduced to a cubic form, i.e.

$$N^3 - N^2 - \frac{E_y \cdot k_m \cdot d \cdot V_b}{m \cdot V_c} = 0 \quad (14)$$

For the convenience of analysis, we will write it in this way

$$N^3 - N^2 - \mu = 0 \quad (15)$$

In equation (15) $\mu = f(E_y, V_b, 1/V_c)$, and this value can be considered as the capabilities coherence coefficient of selected processors, the network interface and the value of the computing area when the system operates in the network interface surplus mode. Let's analyze the value of this coefficient. One can conclude that the optimal number of blades in the cluster system is capable of providing its highest performance, will depend on the size of the computing area, the switching capabilities and computing power of the processors which the cluster system is composed

from. These parameters variation allows selecting the appropriate blades number when operating the system in the network interface surplus mode.

As a result of the equation (14) solution three radicals are obtained, in particular, two imaginary, and one valid. The actual radical corresponds to the nodes number: $N = 33$. However, this result analysis indicates that it does not satisfy the condition of the cluster system functioning in the network interface surplus mode [5]. Having analyzed the simulation results, we can conclude that under the conditions of the problem being researched the optimal blades number of the cluster system would correspond to $N = 8$.

Conclusions. Improvement and creation of new technological processes require considerable expenses for a large number of field experiments on laboratory, experimental and industrial equipment, as well as in industrial conditions. The reduction of experimental researches and the time to conduct them with obtaining of necessary information for technological developments design and implementation can be achieved by multiprocessor computing systems.

The class of problems being considered in this paper is solved by a multiprocessor computing system. Thus, we have preconditions for quantifying the multiprocessor computing system efficiency. In this problem, the optimal nodes number in the cluster system, with the maximum parallelism efficiency is $N = 8$. Such a cluster size will provide 4.28 times faster than solving a problem by one computer. According to the computed data, the proposed cluster mode allowed not only to improve system efficiency, but also significantly reduce computing time, from 83.11 to 19.52 seconds. At the same time, note that if such an acceleration computation value is not able to provide control of temperature fields, then, in this case, it is necessary to apply more powerful processors. For these reasons, further promising research will be aimed at highlighting such issues.

REFERENCES

1. Shlomchak G. Automated control of temperature regimes of alloyed steel products based on multiprocessor computing systems / G. Shlomchak, G. Shvachykh, B. Moroz, E. Fedorov, D. Kozenkov // *Metalurgija*, № 58 (3 – 4), 2019. – P. 299-302.
2. Yanenko N.N. Method of fractional steps for solving multidimensional problems of mathematical physics. – Novosibirsk: Nauka, 1967. – 196 p.
3. V. M. Covenia, N. N. Yanenko. The splitting method in gas dynamics problems. – Novosibirsk: Nauka, 1981. – 304p.
4. Amdahl G. Validity of the single-processor approach to achieving large-scale computing capabilities // *Proc. 1967 AFIPS Conf.*, AFIPS Press. V. 30, 1967. – p. 483 .

5. Bashkov EA. Prospects of application of modern communication technologies and research of their influence on the efficiency of multiprocessor computing systems / E.A. Bashkov V.P. Ivaschenko, GG Shvachych // Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series "Informatics, Cybernetics and Computing". Issue 14 (188), 2011. – Donetsk: DonNTU. P. 100 – 112.
6. Alishov A.N. Realization of aggregating of the channels for network interface in the multiprocessor computer systems when solving problems with the expandable area calculations / N.A. Alishov, G.G. Shvachych, M.A. Tkach // Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science, Baku, Azerbaijan. – Vol. 1. – Numb. 1, 2015. – P. 11 – 19.
7. Alishov A.N. Study of the efficiency of multiprocessor systems when solving problems with the expandable area calculations / N.A. Alishov, G.G. Shvachych, M.A. Tkach // Journal of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science, Baku, Azerbaijan. – Vol. 1. – Numb. 1, 2015 – P. 3 – 10.
8. Ivaschenko V.P. Prospects of network interface Infiniband in the multiprocessor computer system for solving tasks of calculations' area spreading / V.P. Ivaschenko, G.G. Shvachych, M.A. Tkach // System technologies. – № 2(91), 2014. – 32 – 43.
9. Ivaschenko V.P. Prospects of network interface infiniband in multiprocessor computer system for solving tasks of calculations 'area spreading / V.P. Ivaschenko, G.G. Shvachych, M.A. Tkach // System technologies. № 2 (91). - Dnipropetrovsk, 2014. - P. 32 - 43.

Received 11.03.2021.
Accepted 15.03.2021.

Дослідження впливу мережевого інтерфейсу на ефективність багатопроцесорної системи

Стаття присвячена розвитку підходу до визначення методології оцінки ефективності модульних багатопроцесорних обчислювальних систем. При цьому основна увага приділяється особливостям впливу на значення даного параметра мережевого інтерфейсу. Проведено аналіз формування архітектури мережевого інтерфейсу багатопроцесорної системи та основних режимів її роботи. Для оцінки процесів, що відбуваються в системі при передачі інформаційних потоків, проводилося порівняння пропускної здатності мережевої системи та пропускної здатності комутаторів, що дозволило визначити передумови для оптимального вибору компонентів мережевого інтерфейсу багатопроцесорної обчислювальної системи. Проведені дослідження також дозволили вивести аналітичні співвідношення для визначення оптимальної кількості вузлів системи з різними режимами функціонування. Показано, що обмін мережевими даними між вузлами багатопроцесорної обчислювальної системи уповільнює загальний процес обчислень.

**Research of the influence of a network interface
on the efficiency of modular multiprocessor systems**

The paper is devoted to the approach development related to methodology definition for evaluation of the modular multiprocessor computing systems efficiency. At the same time, the main attention is focused on the impact peculiarities on this network interface value.

Working methods of efficiency analyzing of multiprocessor computing systems do not allow determining optimal number of its nodes for solving a certain class of problems. At the same time, they did not get proper research development on the network interface impact on the efficiency of modular multiprocessor computing systems. In addition, for computing multiprocessor system evaluation efficiency, the main analytical relations are not provided through parameters of the system being studied. Research purpose is to further develop the approach associated with definition of a methodology for evaluating the multiprocessor modular computing system effectiveness. At the same time, the main attention is paid to influence peculiarities on the given indicator of the developed system network interface.

The formation analysis of the multiprocessor system network interface architecture and the basic modes of its operation have been analyzed. To evaluate the processes occurring in the system during the information flows transmission, the network system bandwidth and the switch throughput were compared; which allowed determining the preconditions for optimal components selection of the multiprocessor computing system network interface. The performed researches also allowed deducing analytical relations for determining the optimal number of system nodes with different functioning modes. The selected processors coherency coefficient, network interface and value of the computing area are deduced. The derived analytical relationships also showed that the optimal number of blades in a multiprocessor computing system, that provide its highest speed, decreases with increasing computing power of the processors included. It is shown that the network data interchange among the multiprocessor computing system nodes the more likely to impede the overall computation process; the less time will be spent directly on solving a specific problem.

Мороз Дмитро Максимович – магістр, Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро.

Мороз Дмитрий Максимович – магістр, Днепровский национальный университет им. Олеся Гончара, г. Днепр.

Moroz Dmytro – master, Oles Honch Dnipro National University, Dnipro.

В.П. Тарасов, В.П. Молодець В.П., Т.М. Булана, О.Г.Байбуз

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯ

Анотація. Робота присвячена існуючим технологіям моніторингу повітря: наземні (датчики, дифузійні трубки і т.п.) та віддалені ресурси (супутники, літаки і т.п.). Також в рамках роботи описані стандарти оцінки якості повітря (європейський та американський). В якості прикладу розглянуто європейський індекс якості повітря (EAQI) та індекс якості повітря за стандартами EPA (Environmental Protection Agency): описані показники, за якими ці індекси розраховуються, ранжування стану повітря в залежності від значення індексу.

Ключові слова: моніторинг, якість повітря, індекси якості повітря.

Стан повітря – є важливим фактором не тільки для навколишнього середовища, а й для людини в цілому. В 2020 році було проведено дослідження щодо взаємозв'язку між довгостроковим впливом NO₂ і смертністю від COVID-19. Результати показують, що з 4443 смертельних випадків, 3487 (78%) були в п'яти регіонах, розташованих на півночі Італії і в центральній Іспанії. Крім того, в тих же п'яти регіонах спостерігаються найвищі концентрації NO₂ в поєднанні з низхідним потоком повітря, який перешкоджає ефективному розсіюванню забруднення повітря. Ці результати показали, що довгостроковий вплив цього забруднювача може бути одним з найбільш важливих факторів смертності, викликані COVID-19 в цих регіонах, а можливо, і в усьому світі [1].

З цього дослідження можна зробити припущення що погіршення якості повітря впливає на швидкість розповсюдження респіраторних захворювань. Щоб вирішити проблему зі станом повітря необхідно проводити спочатку моніторинг (збір даних) з подальшим їх аналізом та класифікацією. Мета цієї роботи – провести аналіз існуючих способів моніторингу якості повітря, дослідити стандарти які використовуються в Україні та в світі, показники, що впливають на їх значення.

Моніторинг атмосферного повітря - це систематична, довгострокова оцінка рівня певних видів забруднюючих речовин шляхом вимірювання їх кількості у відкритому повітрі. Моніторинг атмосферного повітря є невід'ємною частиною ефективної системи управління якістю повітря та

здійснюється за допомогою мереж навколишнього моніторингу, що повинні підтримувати [2]:

- Своєчасне надання широкому загалу даних про забруднення повітря.
- Дотримання стандартів якості навколишнього повітря та розробки стратегії викидів.
- Підтримку досліджень щодо забруднення повітря.

Для забезпечення роботи мережі відповідно до умов, вона повинна бути розроблена з урахуванням різних типів ділянок моніторингу. Вони повинні бути здатні інформувати про піковий рівень забруднення повітря, типові рівні в населених пунктах, забруднення повітря, що транспортуються до міста та регіону та за його межами, та рівні забруднення повітря поблизу конкретних джерел. Тож можна виділити шість загальних типів ділянок, які потребують контролю [3]:

- Ті, які визначають найвищі концентрації, які очікуються в зоні, що охоплена мережею;
- Розміщені для вимірювання типових концентрацій у районах з високою щільністю населення;
- Які визначають вплив джерел забруднення або категорій джерел на якість повітря;
- Які визначають загальний рівень фонові концентрації;
- Для визначення ступеня транспорту забруднюючих речовин серед населених пунктів;
- Які розміщені для вимірювання впливу забруднення повітря на видимість, рослинний покрив чи інші впливи на оточуюче середовище.

Для уточнення природи зв'язку між загальними цілями моніторингу, типами ділянок та фізичним розташуванням конкретного монітора визначається концепція просторового масштабу. Метою розміщення моніторів є правильна відповідність просторового масштабу, представленого вибіркою спостережуваного повітря, та просторового масштабу, найбільш відповідного до типу моніторингової ділянки, забруднювача повітря, що вимірюється, та цілі моніторингу.

Таким чином, масштаб описується з точки зору фізичних розмірів повітряного об'єму, найближчого до місця спостереження, яке має досить однакові фактичні концентрації забруднюючих речовин. Масштаби, що представляють найбільший інтерес для типів моніторингу представлені у таблиці 1[3]:

Просторові масштаби

Назва масштабу	Опис
Мікро масштаб	Визначає концентрації в об'ємах повітря, пов'язані з розмірами площі від кількох метрів до приблизно 100 метрів
Середній масштаб	Визначає концентрацію, характерну для районів розміром до декількох міських кварталів з розмірами від 100 метрів до 0,5 кілометра
Районний масштаб	Визначає концентрації в межах деякої розширеної площі міста, яка має відносно рівномірне використання земель із розмірами в межах від 0,5 до 4 кілометрів
Міський масштаб	Визначає концентрації в межах міста, порядку від 4 до 50 кілометрів
Регіональний масштаб	Визначає, як правило, сільську територію з досить однорідною географією без великих джерел забруднення і простягається від десятків до сотень кілометрів
Національний та глобальний масштаби	Представляють концентрації, що характеризують територію країни та земну кулю в цілому

Правильне розміщення приладу вимагає уточнення мети моніторингу, типів ділянок, необхідних для досягнення мети, а потім бажаного просторового масштабу[4].

Класифікація ділянок моніторингу якості повітря є необхідною умовою для будь-якої інтерпретації даних забруднення. Це потрібно для:

- Макромасштабних критеріїв розміщення;
- Звітування про метадані оцінки (2011/850 / ЄС) [5];
- Оцінки репрезентативності, експозиції, моделі, розподілу джерел тощо.

Будь-яка класифікація повинна мати чітко визначені кількісно вимірювані параметри та чіткі пороги між класами на основі таких параметрів для її використання по всій Європі[6].

Відповідно до 361 статті Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Україна зобов'язалася впровадити основні положення двох європейських директив: 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи; а також 2004/107/ЄС про миш'як, кадмій, ртуть, нікель і поліциклічні ароматичні вуглеводні у атмосферному повітрі.

Типовими датчиками, які можуть використовуватись в населених пунктах для побудови мережі моніторингу високої щільності, є:

- Пасивні монітори та дифузійні трубки;
- Прилади на основі фільтрів для твердих часток;
- Високоякісні датчики, інтегровані в нерухому інфраструктуру [7];
- Датчики низької вартості варіюються від простих датчиків, що вимірюють лише один забруднювач до пристроїв, які вимірюють декілька і включають можливості зв'язку та метеорологічного моніторингу;
- Мобільні датчики[7].

Оскільки багато країн, мають великі прогалини в наземних мережах моніторингу забруднення повітря, а супутники надають доволі великомасштабну інформацію, то постає питання використання літаків та інших повітряних засобів для вимірювання якості повітря верхнього шару, що дозволить збільшити покриття території та надати більш точні дані по забрудненню, наприклад, для вимірювання [8] оцінки викидів літальних апаратів.

Супутникові знімки допомагають визначити великі райони забруднення, спричинені пожежами, пиловими або піщаними бурями, виверженнями вулканів, великими промисловими джерелами або транспортуванням техногенного забруднення з інших регіонів [8].

Прикладом такого супутника є Sentinel-5. Це місія з моніторингу атмосферного середовища в рамках програми European Copernicus. Основна мета місії - оперативний моніторинг концентрацій газів в атмосфері та клімату.

Для дослідження впливу розподілу забруднення від конкретного джерела або групи джерел для оцінки якості повітря та впливу на здоров'я людини для малих просторових масштабів приватними компаніями розробляється спеціальне програмне забезпечення (ПЗ). Окрім моделювання, ПЗ може включати оцінку прогнозу якості повітря відповідно до стандартів та граничних

значень, а також містити стандарти Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), Європейського Союзу (ЄС), Великобританії, США або Китаю.

Для діагностики системи оцінки якості повітря створюються критерії якості навколишнього повітря або стандарти - це допустимі концентрації забруднюючих речовин у повітрі.

Нещодавно ВООЗ видала настанови щодо рівня забруднення оточуючого повітря, які широко використовуються у всьому світі, як орієнтири для встановлення стандартів та цілей управління якістю повітря [9].

В керівництві ВООЗ зазначено, що середньорічні концентрації $PM_{2.5}$ не повинні перевищувати 10 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$, тоді як середньодобова не більш 25 $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ більше трьох разів на рік.

У свою чергу ЄС розробив широкий законодавчий акт, який встановлює стандарти та цілі щодо ряду забруднюючих речовин у повітрі.

Директиви ЄС щодо якості повітря (Директива 2008/50/ЄС про якість навколишнього повітря та очищення повітря для Європи та Директива 2004/107/ЄС про важкі метали та поліциклічні ароматичні вуглеводні в навколишньому повітрі) встановлюють порогові концентрації забруднюючих речовин, які не повинні перевищуватись у заданий проміжок часу. У разі перевищення, органи влади повинні розробити та впровадити плани управління якістю повітря.

В Україні оцінка фактичного або прогнозного (розрахункового) рівня забруднення атмосферного повітря проводиться шляхом співставлення показника забруднення однією речовиною або сумарного показника забруднення (СПЗ) сумішшю речовин з показником гранично допустимого забруднення (ГДЗ). Допустимим визнається рівень, що не перевищує ГДЗ [10].

Air Quality Index (AQI) - це індекс для звітування про якість щоденного повітря, що зосереджується на впливі на здоров'я та відчущаються протягом декількох годин або днів після вдихання забрудненого повітря. EPA розраховує AQI для п'яти основних забруднювачів повітря: наземний озон, забруднення PM (також відомих як тверді частинки), оксид вуглецю, діоксид сірки та діоксид азоту. Для кожної з цих забруднюючих речовин EPA встановила національні стандарти якості повітря для захисту здоров'я населення. Озонові та частинки повітря, які містяться в повітрі, є двома забруднювачами, які представляють найбільшу загрозу здоров'ю людини в цій країні.

Чим вище значення AQI, тим більший рівень забруднення повітря та більша стурбованість здоров'ям. Наприклад, значення AQI 50 являє собою хорошу якість повітря з невеликим потенціалом впливу на здоров'я, тоді як значення AQI понад 300 представляє небезпечну якість повітря. Мета AQI - допомогти зрозуміти, яким чином місцева якість повітря впливає на ваше здоров'я. Щоб полегшити розуміння EPA розробила власний стандарт AQI, який ділиться на шість категорій, кожна з яких має власний вплив на здоров'я. Рівні індексу представлені у таблиці 2 [11].

Таблиця 2

Рівні індексу якості повітря за стандартом EPA

Назва рівню	Діапазон значень	Пояснення
Хороший	від 0 до 50	Якість повітря вважається задовільною, а забруднення повітря не представляє мало ризику або не має ніякого ризику
Помірний	від 51 до 100	Якість повітря прийнятна; однак для деяких забруднювачів може спостерігатися помірне занепокоєння щодо здоров'я дуже незначної кількості людей. Наприклад, люди, які незвично чутливі до озону, можуть відчувати респіраторні симптоми
Нездоровий для чутливих груп	від 101 до 150	Люди з уразливої групи можуть мати проблеми зі здоров'ям
Нездоровий	від 151 до 200	Кожен може почати відчувати деякі негативні наслідки для здоров'я, а члени уразливих груп можуть відчувати більш серйозні наслідки
Дуже нездоровий	від 201 до 300	Кожен може зазнати більш серйозних наслідків для здоров'я
Небезпечний	більше 300	Може постраждати все населення

Європейський індекс якості повітря дозволяє користувачам більше розуміти якість повітря там, де вони живуть, працюють або подорожують. Відображаючи інформацію для Європи, користувачі можуть отримати розуміння якості повітря в окремих країнах, регіонах та містах. Індекс базується на значеннях концентрації п'яти основних забруднюючих речовин,

включаючи тверді частинки (PM₁₀), дрібнодисперсні речовини (PM_{2.5}), озон (O₃); діоксид азоту (NO₂); діоксид сірки (SO₂). Індекс якості повітря відображає потенційний вплив якості повітря на здоров'я, обумовлений забруднювачем, концентрація якого найбільша[12]. Інформація про концентрацію та відповідний вплив на здоров'я людини приведена в таблиці 3 та таблиці 4.

Таблиця 3

Індекс на основі концентрацій забруднювачів

Забруднювач	Рівень індексу				
	Добре	Непогано	Помірно	Погано	Дуже погано
PM _{2.5}	0-10	10-20	20-25	25-50	50-800
PM ₁₀	0-20	20-35	35-50	50-100	100-1200
NO ₂	0-40	40-100	100-200	200-400	400-1000
O ₃	0-80	80-120	120-180	180-240	240-600
SO ₂	0-100	100-120	200-350	350-500	500-1250

Таблиця 4

Пов'язані із індексом повідомлення про вплив на здоров'я людини

Індекс якості повітря	Все населення	Уразливі групи населення
Добре	Якість повітря добра	Якість повітря добра
Непогано	Насолоджуйтесь звичайними видами активного відпочинку	Насолоджуйтесь звичайними видами активного відпочинку
Помірно	Насолоджуйтесь звичайними видами активного відпочинку	Насолоджуйтесь звичайними видами активного відпочинку
Погано	Подумайте про зменшення інтенсивних занять на свіжому повітрі, якщо у вас з'являються такі симптоми, як біль в очах, кашель або біль у горлі	Подумайте про зменшення фізичних навантажень, особливо на відкритому повітрі, особливо якщо у вас симптоми.
Дуже погано	Зменшіть фізичні навантаження на свіжому повітрі	Уникайте фізичних занять на свіжому повітрі

можливість користувачам отримати інформацію про забруднення повітря за допомогою відкритих даних та інструментів з відкритим кодом [12,13].

Отже джерелом інформації можуть виступати, як дані з наземних станцій, так і супутникові дані. Наземні станції дають більш точну картину щодо стану повітря в точці, в той час як дані супутникового зображення з певною похибкою (через хмарність тощо) можуть охопити більшу територію та вирішити проблему з покриттям станціями місцевості. В якості показника впливу повітря на стан людини використовують AQI. В якості параметрів розрахунку тверді частинки, дрібнодисперсні речовини, озон, діоксид азоту, діоксид сірки. Єдиного стандарту для розрахунку не існує. На сьогодні в Україні та в Європі використовується Європейський індекс якості повітря (EAQI).

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality [Електронний ресурс] / Science of The Total Environment – Режим доступу до ресурсу:
https://www.researchgate.net/publication/340587171_Assessing_nitrogen_dioxide_NO2_levels_as_a_contributing_factor_to_the_coronavirus_COVID-19_fatality_rate.
2. 40 CFR Appendix D to Part 58 - Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-D_to_part_58.
3. 40 CFR Part 50 - NATIONAL PRIMARY AND SECONDARY AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/part-50>.
4. Ambient Air Monitoring Protocol For PM_{2.5} and Ozone Canada-wide Standards for Particulate Matter and Ozone [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.ccme.ca/files/Resources/air/pm_ozzone/pm_oz_cws_monitoring_protocol_pn1456_e.pdf.
5. 2011/850/EU: Commission Implementing Decision of 12 December 2011 laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air qual [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011D0850>.
6. Assessment on siting criteria, classification and representativeness of air quality monitoring stations [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/SCREAM_final.pdf

7. Air Monitoring, Measuring, and Emissions Research [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epa.gov/air-research/air-monitoring-measuring-and-emissions-research>.
8. Satellite Observations Part II. Track Pollution from Space [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://terra.nasa.gov/citizen-science/air-quality/part-ii-track-pollution-from-space>.
9. WHO Air Quality Guidelines [Електронний ресурс]
Режим доступу до ресурсу: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US.
10. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97/ed20000223>.
11. Air quality standards [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards>.
12. OpenAQ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/OpenAQ?language=en_US.
13. About AirNow [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.airnow.gov/index.cfm?action=topics.about_airnow.

REFERENCES

1. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality [Electronic resource] / Science of The Total Environment – Resource access mode:
https://www.researchgate.net/publication/340587171_Assessing_nitrogen_dioxide_NO2_levels_as_a_contributing_factor_to_the_coronavirus_COVID-19_fatality_rate.
2. 40 CFR Appendix D to Part 58 - Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring [Electronic resource] – Resource access mode:
https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/appendix-D_to_part_58.
3. 40 CFR Part 50 - NATIONAL PRIMARY AND SECONDARY AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS [Electronic resource] – Resource access mode:
<https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/part-50>.
4. Ambient Air Monitoring Protocol For PM_{2.5} and Ozone Canada-wide Standards for Particulate Matter and Ozone [Electronic resource] –
Resource access mode: https://www.ccme.ca/files/Resources/air/pm_ozone/pm_oz_cws_monitoring_protocol_pn1456_e.pdf.

5. 2011/850/EU: Commission Implementing Decision of 12 December 2011 laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information and reporting on ambient air quality [Electronic resource] – Resource access mode: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011D0850>.
6. Assessment on siting criteria, classification and representativeness of air quality monitoring stations [Electronic resource] – Resource access mode: https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/SCREAM_final.pdf
7. Air Monitoring, Measuring, and Emissions Research [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.epa.gov/air-research/air-monitoring-measuring-and-emissions-research>.
8. Satellite Observations Part II. Track Pollution from Space [Electronic resource] – Resource access mode: <https://terra.nasa.gov/citizen-science/air-quality/part-ii-track-pollution-from-space>.
9. WHO Air Quality Guidelines [Electronic resource] – Resource access mode: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/WHO-Air-Quality-Guidelines?language=en_US.
10. State sanitary rules of protection of atmospheric air of settlements (from pollution by chemical and biological substances) [Electronic resource]. – Resource access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97/ed20000223>.
11. Air quality standards [Electronic resource]. – 2019. – Resource access mode: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards>.
12. OpenAQ [Electronic resource] – Resource access mode: https://www.c40knowledgehub.org/s/article/OpenAQ?language=en_US.
13. About AirNow [Electronic resource] – Resource access mode: https://www.airnow.gov/index.cfm?action=topics.about_airnow

Received 11.03.2021.
Accepted 15.03.2021.

Анализ существующих технологий мониторинга воздуха

Работа посвящена существующим технологиям мониторинга воздуха: наземные (датчики, диффузные трубки и т.п.) и отдаленные ресурсы (спутники, самолеты и т.п.). Также в рамках работы описаны стандарты оценки качества воздуха (европейский и американский). В качестве примера рассмотрен европейский индекс качества воздуха (EAQI) и индекс качества воздуха по стандартам EPA (Environmental Protection Agency): описаны показатели, по которым эти индексы рассчитываются, ранжирование состояния воздуха в зависимости от значения индекса.

Analysis of existing air monitoring technologies

Atmospheric air monitoring is a systematic, long-term assessment of the level of certain types of pollutants by measuring their amount in the open air. Atmospheric air monitoring is an integral part of an effective air quality management system and is carried out through environmental monitoring networks, which should support timely provision of public information about air pollution, support compliance with ambient air quality standards and development of emission strategies, support for air pollution research.

The work is devoted to existing air monitoring technologies: ground (sensors, diffusion tubes, etc.) and remote resources (satellites, aircraft, etc.). In addition, standards of air quality assessment (European and American) are described. As an example, we consider the European Air Quality Index (EAQI) and the Air Quality Index according to EPA standards: indicators by which these indices are calculated, the ranking of air status depending on the value of the index are described.

AQI (Air Quality Index) is used as an indicator of the impact of air on the human condition. The European Air Quality Index allows users to better understand air quality where they live, work or travel. By displaying information for Europe, users can gain an understanding of air quality in individual countries, regions and cities. The index is based on the values of the concentration of the five main pollutants, including particles less than 10 μ m (PM10), particles less than 2.5 μ m (PM2.5), ozone (O₃); nitrogen dioxide (NO₂); sulfur dioxide (SO₂).

To conclude, ground stations give a more accurate picture of the state of the air at a point, while satellite image data with a certain error (due to cloud cover, etc.) can cover a larger area and solve the problem of coverage of stations in the area. There is no single standard for calculation. Today, the European Air Quality Index (EAQI) is used in Ukraine and Europe.

Тарасов Володимир Павлович – магістр, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Молодець Богдан Володимирович – аспірант, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Булана Тетяна Михайлівна – доцент, кандидат технічних наук, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Байбуз Олег Григорович – професор, доктор технічних наук, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Тарасов Владимир Павлович – магістр, Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Молодец Богдан Владимирович – аспирант, Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Буланая Татьяна Михайловна – доцент, кандидат технических наук, Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Байбуз Олег Григорьевич – профессор, доктор технических наук, Днипровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Tarasov Volodymyr – Master Student, Oles Honchar Dnipro National University.

Molodets Bohdan – Postgraduate Student, Oles Honchar Dnipro National University.

Bulanaya Tatyana – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Oles Honchar Dnipro National University.

Baybuz Oleg – Full Professor Doctor of Technical Sciences, Oles Honchar Dnipro National University.

С.В. Швачич, В.В. Буличов, К.В. Тернова

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ В КОНТУРІ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Анотація. Актуальність роботи обумовлена виснаженням запасів традиційних видів палива та зростанням навантаження на біосферу за рахунок викидів при спалюванні вугілля, нафти та газу. Рішення цих проблем можна знайти у розвитку ядерної енергетики. Тому метою даної роботи є оптимізація процесів теплообміну в другому контурі атомної електростанції. В роботі розглянуто заходи щодо оптимізації процесів теплообміну в тепловій схемі другого контуру АЕС для підвищення енергетичних показників. А саме, запропоновано реагент, який видаляє солі жорсткості на стінках теплообмінного обладнання. В ході роботи вирішена задача щодо оптимізації руху теплоносіїв в проміжних теплообмінниках для підвищення енергоефективності енергетичного обладнання.

Ключові слова: атомна електростанція, ядерна енергетика, теплообмін, реагент, реактор, енергоефективність.

Вступ. В сучасному світі енергетика є основою розвитку базових галузей промисловості, що визначають процес виробництва. Тому все гостріше постає питання про виснаження запасів традиційних видів палива та можливості зростання навантаження на біосферу за рахунок викидів при спалюванні вугілля, нафти та газу. Рішенням цих питань може стати розвиток ядерної енергетики.

Перевагами ядерної енергетики над енергетикою інших видів є велика теплотворна здатність ядерного палива (у 2 мільйони разів більше ніж нафти і в 3 мільйони разів більше ніж вугілля), кращі економічні показники, менше забруднення довкілля. До того ж відпадає потреба використовувати кисень, якого на енергетичні потреби спалюється в 5 разів більше, ніж його споживають всі живі істоти. Крім того запаси ядерного пального (якщо їх повністю використати) приблизно в 20 разів перевищують запаси органічного палива всіх видів [1].

Основа ядерної енергетики – атомні електростанції, які забезпечують близько 6% світового виробництва енергії та 13-14% електроенергії. За даними МАГАТЕ в 2013 році у світі працювало 437 промислових ядерних реакторів,

розташованих на території 31 країни. Також було збудовано понад 150 суден з ядерними енергетичними установками [1].

Якщо коротко сформулювати в чому полягають переваги ядерної енергетики, то отримаємо наступне:

1) велика енергоємність використовуваного палива (1 кілограм урану, збагачений до 4 %, при повному використанні виділяє енергію еквівалентну спалюванню приблизно 100 тонн високоякісного кам'яного вугілля або 60 тонн нафти) [2];

2) можливість повторного використання палива (після регенерації в реакторах на швидких нейтронах). Розщеплений матеріал U_{235} може бути використаний знову. З розвитком технології реакторів на швидких нейтронах в перспективі дає можливість переходу на замкнений паливний цикл, що означає повну відсутність відходів;

3) ядерна енергетика не сприяє створенню парникового ефекту. Щорічно атомні станції в Європі дозволяють уникнути емісії 700 мільйонів тонн CO_2 . Таким чином, інтенсивний розвиток ядерної енергетики можливо вважати одним з методів боротьби з глобальним потеплінням. На даний момент по всьому світі працює понад 436 енергоблоків різної потужності та типів.

Зазначимо також, що рівень розвитку реакторобудування повною мірою залежить від вивчення гідродинаміки та теплообміну теплоносіїв в елементах активної зони ядерних реакторів. Необхідність знання процесів теплообміну і гідродинаміки визначається тим, що ядерні реактори являють собою енергетично напружені теплові машини, в яких зазначені процеси проявляються в досить складній формі.

З одного боку, істотні запаси за параметрами теплоносія, що обмежують потужність і ККД атомних енергетичних установок (АЕУ) неприпустимі. З іншого боку, перевищення локальних температур в активній зоні понад допустимі норми викликає вихід реактора з ладу. Причини аварії ядерних реакторів пов'язані в основному з гідравлічними або тепломеханічними ефектами. Тому необхідно вміти з достатнім ступенем точності визначати локальні характеристики теплових процесів в активній зоні ядерних реакторів. Успішна експлуатація ядерних реакторів багато в чому визначається повнотою і надійністю теплофізичного обґрунтування.

За об'єкт дослідження в даній роботі пропонується взяти другий контур третього енергоблоку Рівненської електростанції.

Метою даної роботи є оптимізація процесів теплообміну в другому контурі атомної електростанції.

Методом дослідження є обчислювальний експеримент.

Проаналізувавши енергоефективні заходи, які представлені в науково-технічній літературі, щодо підвищення енергоефективності енергетичних контурів АЕС, можна виділити наступні методи:

- повторне використання низько-потенційної теплоти;
- заміна діючого ізолятора з'єднуючого трубопроводу;
- встановлення потужніших турбін та електрогенераторів;
- зниження тиску в першому контурі енергоблоку;
- збільшення глибини вигоряння ядерного палива;
- збільшення встановленої потужності модернізацією енергетичного обладнання;
- зниження контрольованих відборів пару на теплофікаційні потреби станції;
- повторне використання теплоти, відібраної на конденсаторних установках, в зимній період часу, для власних потреб станції;
- хімічна промивка трубопроводу та обладнання;
- зменшення кількості ремонтів та строків простою обладнання;
- зменшення енергозатрат на власні потреби станції.

На Рівненській атомній електростанції (РАЕС) експлуатують чотири енергоблоки з реакторами ВВЕР: перший та другий енергоблоки мають в своєму складі реактори ВВЕР-440, третій та четвертий – ВВЕР-1000.

Третій енергоблок РАЕС має двоконтурну компоновку. Перший контур складається з реакторної установки та чотирьох кілець теплообміну. Кожне кільце складається з головного циркуляційного трубопроводу (ГЦТ), парогенератору ПГВ-1000М, запірної автоматичної арматури та головки циркуляційного насосу. Другий контур має в своєму складі турбоагрегат (який складається з парової турбіни та електрогенератору), конденсаторну установку, 2 підігрівачі високого тиску (ПВТ), деаераторну установку. Для розробки заходів щодо підвищення енергоефективності другого контуру РАЕС було складено та розраховано його тепловий баланс.

Рівняння теплового балансу має наступний вигляд:

$$Q_{яр} = Q_{заг.ПГ} + Q_{тр.1к} + Q_{тр.2к} + Q_{кд} + Q_{п.в.} + Q_{виг} + Q_{нд} \quad (1)$$

$Q_{яр}$ – кількість теплоти, яку виробляє ядерний реактор, МВт;

$Q_{заг.ПГ}$ – кількість теплоти, яку споживають парогенератори, МВт;

$Q_{тр.1к}$, $Q_{тр.2к}$ – кількість теплоти, яка втрачається з трубопроводу першого та другого контуру, МВт;

$Q_{кд}$ – кількість теплоти, яка віддається в конденсаторній установці, МВт;

$Q_{п.в.}$ – кількість повторно використаної теплоти, МВт;

$Q_{виг}$ – кількість теплоти, яка вигорає в ядерному реакторі, МВт;

$Q_{нд}$ – теплота недогріву, МВт.

Результати розрахунків теплового балансу показали, що з системи нерівномірним чином втрачається тепла енергія з поверхонь трубопроводу першого та другого контурів, а саме 5,73 МВт та 1,41 МВт. З цими тепловими витратами можливо боротися шляхом заміни ізоляції на більш нові, досконалі види. Окрім того, в ядерному реакторі відбувається розпад важких ізотопів урану, в наслідок цього, з системи втрачається 21,12 МВт теплової енергії, цей показник ніяким чином неможливо знизити, так як після розщеплення атому урану реакція ділення припиняється, тобто відбувається вигорання ядерного палива. В систему повертається 139,56 МВт теплової енергії за рахунок теплових насосів, а ця кількість енергії є повторно використаною, іде на нагрів теплоносія в підігрівачах високого та низького тиску. Також в системі втрачається 82,72 МВт теплової енергії на термічний недогрів робочого тіла другого контуру. Це відбувається завдяки відкладанню солей жорсткості на теплообмінних стінках теплообмінного обладнання контуру. Маса відкладень сягає 1082,4 кг, в середньому на внутрішніх стінках теплообмінників осідає 2,3 мм відкладень, які перешкоджають процесам теплообміну.

Більш того, на основі звітів таких компаній, як ВАТ «Инжиниринговая компания ЗИОМАР» та ВАТ «Машиностроительный завод ЗиО-Подольск» стало відомо, що в період паливної компанії строком 18 місяців в системі другого контуру та стінках теплоенергетичного обладнання відкладається від 0,6 до 1,6 тонн міднозалізоокисів. Ця маса відкладень погіршує процеси теплообміну в усіх теплових агрегатах, збільшує гідравлічний опір системи, в наслідок чого, збільшується кількість поточних ремонтів.

Додавання реагенту PuroTech113 в робоче тіло другого контуру дало можливість позбавити систему від відкладення в ній солей жорсткості, так як даний реагент «зв'язує» вільні іони кальцію та магнію. В свою чергу на стінках теплообмінного обладнання більш не відкладається накип, що дає змогу в повній мі-

рі передавати необхідну кількість тепла. Повторний розрахунок теплового балансу показав, що ККД блоку завдяки цьому збільшується на 3%.

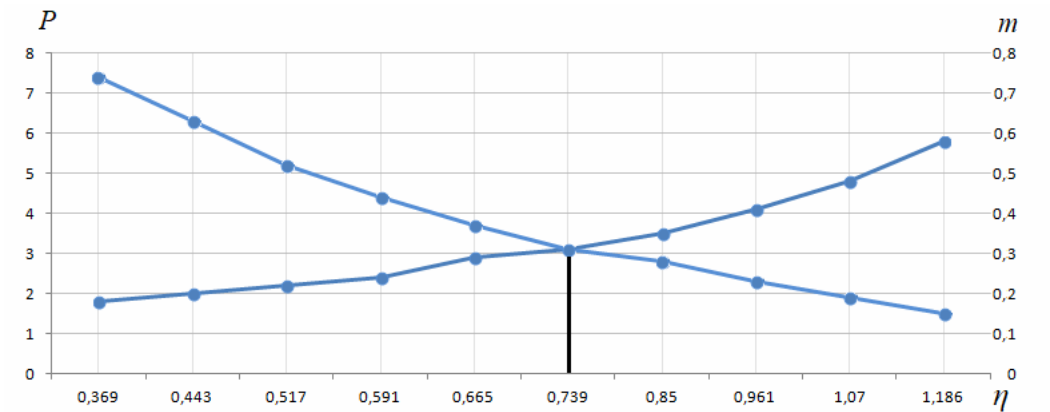
Як відомо, різноманітні теплообмінні апарати використовуються на сучасних електростанціях. Призначення теплообмінників – підвищити тепловий ККД електростанції. Теплообмінники значно покращують економічні та експлуатаційні характеристики електростанцій. Теплообмінники несуть важливу функцію на АЕС. Проміжні теплообмінники (ПТО) є додатковою ланкою при передачі теплоти від реактора до парогенератора або на технологічне виробництво. Наявність ПТО обумовлена необхідністю забезпечити додатковий, практично майже нездоланий бар'єр, який попереджає радіоактивне забруднення генеруючого парою або технологічним продуктом, а також виключити забруднення і наслідки потрапляння пари або технологічного продукту в перший контур. При цьому передача тепла від теплоносія першого контуру повинна здійснюватися з мінімальним зниженням температурного циклу. Крім того, ПТО повинні забезпечувати досить ефективну передачу залишкового тепла реактора при планових і аварійних зупинках АЕС.

Виходячи з цього була сформульована та вирішена задача оптимізації руху теплоносія в проміжному теплообміннику. Критерієм оптимальності був вибраний коефіцієнт ефективності теплообмінника η . Ефективність теплообмінника в загальному випадку є функцією режимних параметрів, схеми взаємного руху теплоносіїв і особливостей гідродинаміки і теплообміну реальних теплообмінників. Коефіцієнт ефективності теплообмінника може бути представлений наступною залежністю [3]:

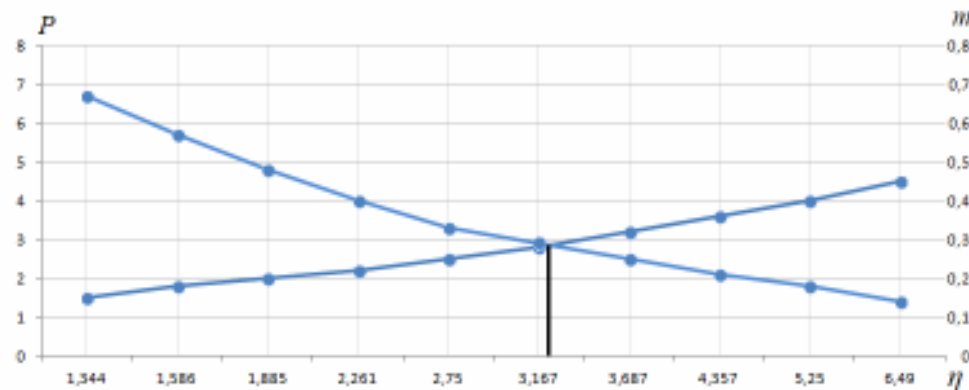
$$\eta = f(p_T, m), \quad (2)$$

p_T, m – оптимізуєми параметри, де $p_T = K \cdot F / C_p G_{HG}$ – параметр теплопередачі; $m = G_{ГЩ} / G_{HG}$ – відношення водяних еквівалентів, G – масові витрати теплоносія, кг/с.

Результати вирішення задачі оптимізації представлені на рис 1.



а)



б)

Рисунок 2 – Схема руху – а) прямоток, б) протиток

Висновки. Розглянуті шляхи оптимізації процесів теплообміну в теплової схемі другого контуру АЕС, що дозволяють підвищити енергетичних показники. Показано, що запропонований реагент видаляє солі жорсткості на стінках теплообмінного обладнання. В ході роботи вирішена задача щодо оптимізації руху теплоносіїв в проміжних теплообмінниках для підвищення енергоефективності енергетичного обладнання.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Левин В. Е. Ядерная физика и ядерные реакторы. 4-е изд. — М.: Атомиздат, 1979.
2. Просто о сложном. Ривненская АЭС в энергетике Украины. — Ровно, 2019. — 253 с.
3. Методические указания по теме «Тепловой и гидравлический расчет теплообмінного оборудования АЭС». РД 24.03.05. — 89. — Л. НПО ЦКТИ, 1991. — 209 с.

REFERENCES

1. Levin V. E. Yadernaya fizika i yadernyye reaktoryi. 4-e izd. — M.: Atomizdat, 1979.
2. Prosto o slozhnom. Rivnenskaya AES v energetike Ukrainyi. — Rovno, 2019. — 253 p.
3. Metodicheskie ukazaniya po teme «Teplovoiy i gidravlicheskiy raschet teploobmennogo oborudovaniya AES». RD 24.03.05. — 89. — L. NPO TsKTI, 1991. — 209 p.

Received 12.03.2021.

Accepted 15.03.2021.

Оптимизация процессов теплообмена

в контуре атомной электростанции с целью его повышения

Актуальность работы обусловлена истощением запасов традиционных видов топлива и ростом нагрузки на биосферу за счет выбросов при сжигании угля, нефти и газа. Для решения этих проблем является развитие ядерной энергетики. Поэтому целью данной работы является оптимизация процессов теплообмена во втором контуре атомной электростанции. В работе рассмотрены меры по оптимизации процессов теплообмена в тепловой схеме второго контура АЭС для повышения энергетических показателей. В частности, предложен реагент, который удаляет соли жесткости на стенках теплообменного оборудования. В ходе работы решена задача по оптимизации движения теплоносителей в промежуточных теплообменниках для повышения энергоэффективности энергетического оборудования.

Optimization of heat transfer processes in the circuit of a nuclear power plant in order to increase it

The urgency of the work is due to the depletion of traditional fuel reserves and increasing the load on the biosphere because of emissions from burning coal, oil and gas. The solution of these problems are the development of nuclear energy. The advantages of nuclear energy are analyzed, namely: high calorific value of nuclear fuel, better economic indicators, less environmental pollution. The purpose of this work is to optimize the heat transfer processes in the secondary circuit of a nuclear power plant.

It is proposed to take the second circuit of the third power unit of the Rivne nuclear power plant as the object of research. The need for knowledge of heat transfer processes and hydrodynamics is determined by the fact that nuclear reactors are energy-intensive thermal machines, in which these processes are manifested in a rather complex form. Therefore, measures to optimize heat transfer processes in the thermal circuit of the second circuit of the NPP in order to increase energy performance are considered. In order to remove from the system the hardness salts that settle on the walls of the equipment and impair the heat transfer processes, a reagent has been selected to bind the hardness salts. The addition of the PuroTech113 reagent to the working circuit of the secondary circuit made it possible to free the system from the deposition of hardness salts in it, as this reagent "binds" free calcium and magnesium ions. In turn, scale is no longer deposited on the walls of the heat exchange equipment, which allows to fully transferring the required amount of heat. Recalculation of the thermal balance showed that the efficiency of the unit is increased by 3%.

The efficiency coefficient of the heat exchanger was chosen as the criterion of optimality. The efficiency of the heat exchanger in the general case is a function of the mode parameters, the scheme of mutual movement of heat carriers and features of hydrodynamics and heat transfer of real heat exchangers. The problem of optimizing the movement of heat carriers in intermediate heat exchangers is solved in paper.

Швачич Світлана Василівна – доцент кафедри енергетики Українського державного хіміко-технологічного університету, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

Буличов Володимир Вікторович – доцент кафедри енергетики українського державного хіміко-технологічного університету, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник.

Тернова Катерина Віталіївна – науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, кандидат технічних наук.

Швачич Светлана Васильевна – доцент кафедры энергетики Украинского государственного химико-технологического университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

Бульчев Владимир Викторович – доцент кафедры энергетики Украинского государственного химико-технологического университета, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Терновая Екатерина Витальевна – научный сотрудник Института технической механики НАН Украины и ГКА Украины, кандидат технических наук.

Shvachich Svetlana Vasilyevna - Associate Professor of Energy Department of the Ukrainian State University of Chemical Technology, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor.

Bulychev Vladimir Viktorovich - Associate Professor of Energy Department of the Ukrainian State University of Chemical Technology, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher.

Ternova Kateryna Vitaliyivna - Research Fellow, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and the State Space Agency of Ukraine, candidate of technical sciences.

М.Д. Зінченко, О.Ю. Потап, М.О. Рибальченко., І.О. Маначин
**МОДЕРНІЗАЦІЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА 150
ДЛЯ ФОРМУВАННЯ У СТУДЕНТІВ НАВИЧОК
ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ**

Анотація. Дослідження роботи автоматизованих систем управління з застосуванням комп'ютерів в значній мірі дозволяє скоротити час, але не дає повного представлення роботи системи на реальному об'єкті. Тому застосування реальних об'єктів для дослідження систем управління в навчальному процесі є доцільним і корисним. Метою дослідження є модернізація лабораторного прокатного стану 150, призначеного для прокатки свинцю, олова та пластиліну, і оснащення його датчиками і виконавчими механізмами. В роботі виконано заміну ручного натискного пристрою прокатної кліті автоматизованим, для чого додатково встановлений черв'ячний редуктор, що дозволило збільшити загальне передатне число до 94,5. Переміщення натискних гвинтів здійснюється від двигуна змінного струму, який управляється за допомогою панелі оператора DOP-103BQ і частотного перетворювача MS-300 з вбудованим ПЛК. Як датчик переміщення застосували фотоімпульсний датчик ПДФ-3. Встановлене обладнання та розроблене програмне забезпечення для панелі оператора і ПЛК забезпечили високу точність встановлення натискних гвинтів в задане положення. Додаткове було розроблено програмне забезпечення для вимірювання енергосилових параметрів процесу прокатки: сили прокатки і електричних параметрів двигуна постійного струму привода прокатної кліті. Вимірювання енергосилових параметрів і розмірів прокату до і після прокатки дозволило визначити жорсткість кліті і прокату, що необхідно для розрахування коефіцієнтів передачі автоматизованої системи настрійки прокатної кліті.

Ключові слова: лабораторний прокатний стан 150, натискний пристрій, панель оператора, частотний перетворювач, програмований логічний контролер ПЛК, сила прокатки, енергосилові параметри.

Постановка проблеми і ціль дослідження. Останнім часом вивчення автоматизованих систем управління здійснюється моделюванням роботи систем на комп'ютерах, що не дозволяє в повній мірі зрозуміти роботу реальних систем управління і переваг застосування інформаційних технологій.

Основні системи управління прокатним станом це управління швидкістю обертання прокатних валків і зміненням міжвалкового зазору прокатної кліті.

Оснащення цими системами лабораторного прокатного стану 150 дозволить студентам більш ретельно вивчити роботу прокатного стану і систем управління.

Метою роботи є розробка і виготовлення автоматизованої системи управління лабораторним прокатним станом 150 і вимірювання енергосилових параметрів процесу прокатки із застосуванням інформаційних технологій.

Лабораторний стан 150 призначений для прокатки свинцю, олова, пластиліну і має наступні технічні характеристики: розміри заготовки: висота – 20 мм, ширина – 100 мм, максимальне обтиснення за прохід -2 мм, максимальний розхил валків – 25 мм, швидкість прокатки - 0,16 м/с, сила прокатки – 10000 кг, крутильний момент – 47 кг/м, число обертів валків за хвилину – 30 об/хв., діаметр валка – 100 мм, довжина бочки валка – 150 мм.

Привод прокатних валків здійснюється через понижуючий редуктор і шестеренну кліть від двигуна постійного струму, вал двигуна через ремінну передачу пов'язаний з тахогенератором для вимірювання швидкості обертання прокатних валків.

Управління швидкістю двигуна постійного струму і прокатних валків здійснюється комплектним тиристорним приводом типу ЕПУ-1 з регулятором швидкості. Комплектний тиристорний привод видає напругу якірного кола пропорційно сигналу управління, задає напругу збудження, контролює струм двигуна.

Завдання сигналу управління швидкістю здійснюється з пульта управління, відображення швидкості обертання валків виводиться на стрілочний прибор на пульті управління, але цього не достатньо для дослідження змінення швидкості обертання при прокатці.

Матеріали і результати досліджень. Було виконано реконструкцію натискного пристрою, тому що його конструкція передбачувала застосування ручного привода натискних гвинтів. Натискний пристрій мав наступні характеристики: передатне число одноступеневого редуктора - 3, крок натискного гвинта – 3 мм на 1 оберт гвинта. Таке низьке передатне число редуктора не забезпечувало необхідної точності переміщення верхнього валка і змінення розхилу валків.

При реконструкції був додатково встановлений черв'ячний редуктор типу 2Ч-40 з передатним числом 31,5 і загальне передатне число склало 94,5.

Для переміщення натискних гвинтів було застосовано двигун змінного струму типу 4А.А56.Р2.У3 з числом обертів за хвилину – 760 і потужністю –

200 Вт. Управління двигуном здійснювали від частотного перетворювача типу MS-300 (виробник - Delta Electronics), котрий в своєму складі містить програмований логічний контролер, і панелі оператора типу DOP-103BQ.

Для вимірювання переміщення натискних гвинтів був встановлений фотоімпульсний датчик ПДФ-3 з формуванням 600 імпульсів на 1 оберт, котрий був з'єднаний з натискним гвинтом через підвищувальну шестеренну передачу з передатним числом – 2,2. Таким чином точність вимірювання переміщення натискних гвинтів склала 1 імп. – 0,00227 мм.

Управління переміщенням натискних гвинтів здійснювалось програмами в ПЛК і панелі оператора, які формували сигнал управління на переміщення натискних гвинтів в мм, потім перераховували його в кількість імпульсів фотоімпульсного датчика переміщення натискних гвинтів, формували сигнал управління частотним перетворювачем і включенням двигуна, потім підраховували кількість імпульсів при переміщенні натискних гвинтів і порівнювали їх з заданою кількістю. При їх рівності формувався сигнал на зупинку двигуна. Налаштування частотного перетворювача дозволили виконати зупинку двигуна практично без вибігу, що забезпечило високу точність встановлення натискних гвинтів в задане положення.



Рисунок 1 - Лабораторний прокатний стан 150

В процесі прокатки необхідно вимірювати енергосилові параметри прокатки і формувати інформацію оператору у вигляді, що є зручним для аналізу

процесу. До енергосилових параметрів відносяться сила прокатки, струм, напруга та кількість обертів за хвилину, напруга збудження двигуна головного привода валків стана.

Вимірювання сили прокатки виконується за допомогою месдоз. Лабораторний прокатний стан є нестандартним пристроєм, тому було неможливо підібрати стандартні вимірювальні прилади і тому були розроблені і виготовлені нестандартні месدوزи для вимірювання сили прокатки. Месدوزи були встановлені під натискні гвинти, вихідний сигнал з месدوزи поступає на вхід підсилювача.

Струм якірного кола вимірюється за допомогою шунта, котрий формує напругу 75 мВ на 15 А струму. Вихідний сигнал напруги з шунта подається на датчик струму типу S402A, який виконує гальванічне розв'язування кіл і підсилення сигналу до рівня 10 В.

Напруга якірного кола, напруга тахогенератора, який вимірює частоту обертання валків, і напруга збудження через дільники підключені до датчиків напруги типу ДН2БУ4, які виконують гальванічне розв'язування кіл і формування вихідних сигналів в діапазоні до 10 В.

Сигнали з датчиків надходять на плату клемників ADAM-3964, а далі через кабель - на входи плати PCI-1711. Характеристики вимірювальних каналів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики вимірювальних каналів

Параметр	Сила прокатки, месدوزи, Н/В	Струм, А/В	Частота обертання валків, об/хв/В	Напруга якірного кола, В/В	Напруга збудження, В/В
Коефіцієнт передачі	Ліва – 5149 Права -5456	1,846	2,43	9,58	11,64

Плата вимірювання аналогових сигналів PCI-1711 була встановлена персональний комп'ютер. Плата має можливість вимірювання 16 сигналів напруги з загальною точкою в діапазоні ± 10 В.

Для вимірювання і відображення сигналів було розроблено програмне забезпечення ¹, яке дозволяє налаштовувати плату, тобто обрати тип плати, ті канали, котрі застосовуються для вимірювання сигналів напруги, обрати діапазони вимірювання, колір сигналу на графіку, частоту опитування сигналів, кількість точок для виведення на графік, параметри осей координат графіка (рис.2). Після налаштування плати програма переходить в режим вимірювання.

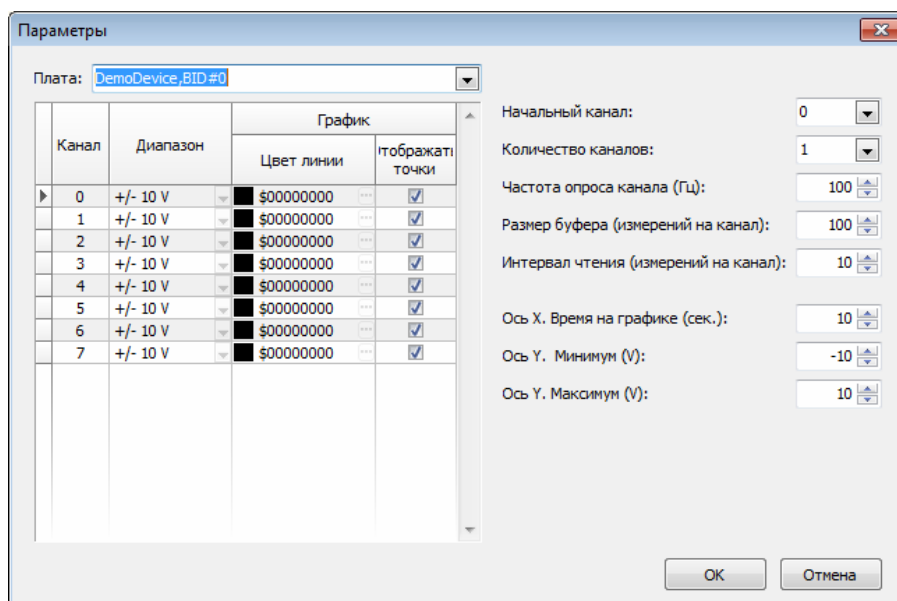


Рисунок 2 - Екранна форма вікна налаштування параметрів процесу

В процесі вимірювання одночасно виконується виведення сигналів на екран монітора. Перед прокаткою процес вимірювання запускається за допомогою клавіатури або миші і відбувається відображення зміни параметрів на екрані в реальному часі. По закінченні процесу прокатки вимірювання зупиняється, а графіки зміни параметрів у часі залишаються на екрані монітора, що дозволяє оперативно проаналізувати процес (рис.3).

Результати вимірювання можливо зберегти в файлі в форматі Excel і потім файл може бути переглянутий. В файлі зберігаються: час вимірювання параметрів і значення параметрів, що вимірювались (рис.4).

Були проведені експериментальні дослідження, котрі дозволили визначити основні залежності при прокатці. В першу чергу необхідно було визначити

¹ Програмне забезпечення розроблено Нечепоренко В.В. В дослідженнях приймав участь студент Войтенко Д.А.

жорсткість кліті і полоси, а потім основні залежності між параметрами прокатки.

При експериментальних дослідженнях катали свинцеву полосу шириною 20 мм, вимірювали розміри полоси на вході в кліть і після прокатки, силу прокатки.

Для визначення жорсткості кліті прокатали дві полоси різної товщини з постійним між валковим зазором. Розміри полос и готового прокату, сили прокатки наведені в таблиці 2. Графіки ліній пластичної деформації полоси і пружної деформації кліті, котрі являють собою залежності сили прокатки від товщини прокату, наведені на рис.5.

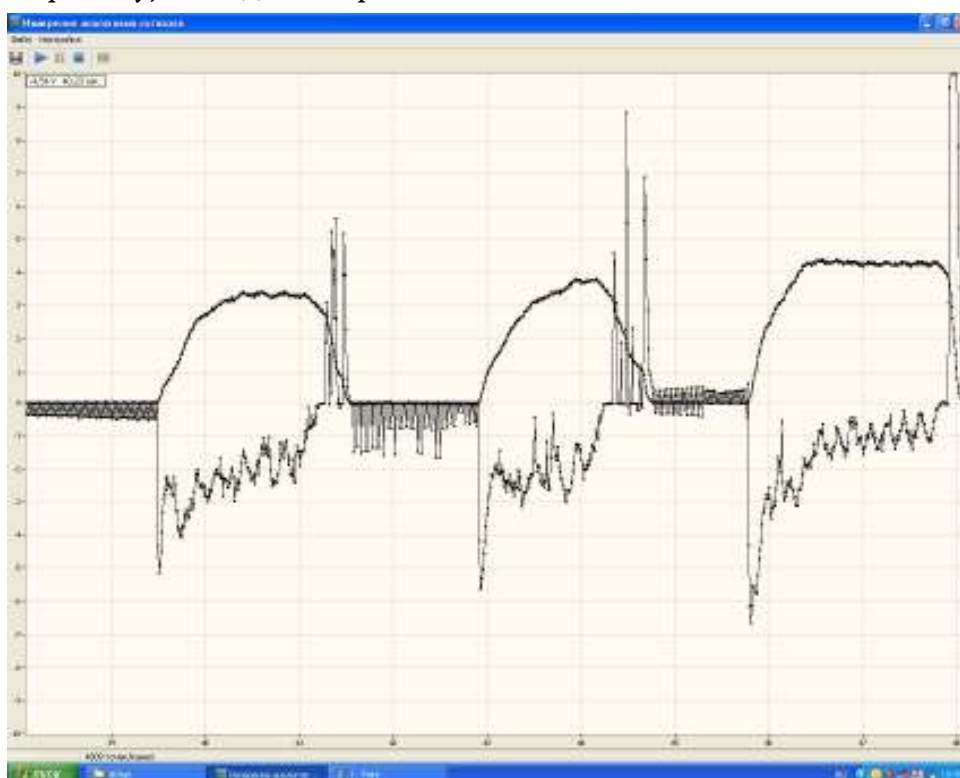


Рисунок 3 - Осцилограми частоти обертання та струму двигуна

A	B	C	D	E	F	G	H
1	0,00000000	-1,35253906	4,25292969	-9,15527344	6,53808594	2,15332031	1,03027344
2	0,01000000	-1,36718750	4,22363281	-9,30175781	5,41503906	2,10937500	1,01074219
3	0,02000000	-1,25976563	4,30664063	-9,28222656	6,26464844	2,15820313	1,04492188
4	0,03000000	-1,39160156	4,22363281	-9,17480469	6,48437500	2,10449219	1,02539063
5	0,04000000	-1,53808594	4,16503906	-9,31152344	6,14257813	2,15332031	1,05957031
6	0,05000000	-1,66992188	4,20410156	-9,28710938	6,50390625	2,09960938	1,03515625
7	0,06000000	-1,73339844	4,18945313	-9,19921875	6,50878906	2,14843750	1,05468750
8	0,07000000	-1,44042969	4,22851563	-9,31640625	5,58105469	2,09472656	1,04980469
9	0,08000000	-1,35742188	4,27734375	-9,29199219	6,25000000	2,15332031	1,07910156

Рисунок 4 - Результати вимірювань в Excel

Дані лабораторного експерименту, що отримані при зміні товщини підкату

Параметр	h ₀ , мм	h ₁ , мм	P _л , Н	P _{пр} , Н	P, Н	Пружина кліті, мм	Жорсткість кліті, Н/мм	Міжвалковий зазор, мм	h ₀ -h ₁ , мм
1 смуга	5,6	2,46	1933	2815	4748	0,215		2,245	3,14
2 смуга	4	2.38	1285	1697	2982	0,135		2,245	1,62
Різниця	1,6	0.08			1766		22072		

Жорсткість кліті можна визначити як

$$M_{кл} = \frac{\Delta P}{\Delta h_1} = \frac{1765}{0,08} = 22072 \frac{Н}{мм}, \quad (1)$$

де ΔP - різниця сили прокатки, Н (т.Р1 і т.Р2 рис.5);

Δh_1 - різниця товщини готового прокату, мм (т.h11 і h12, рис.5).

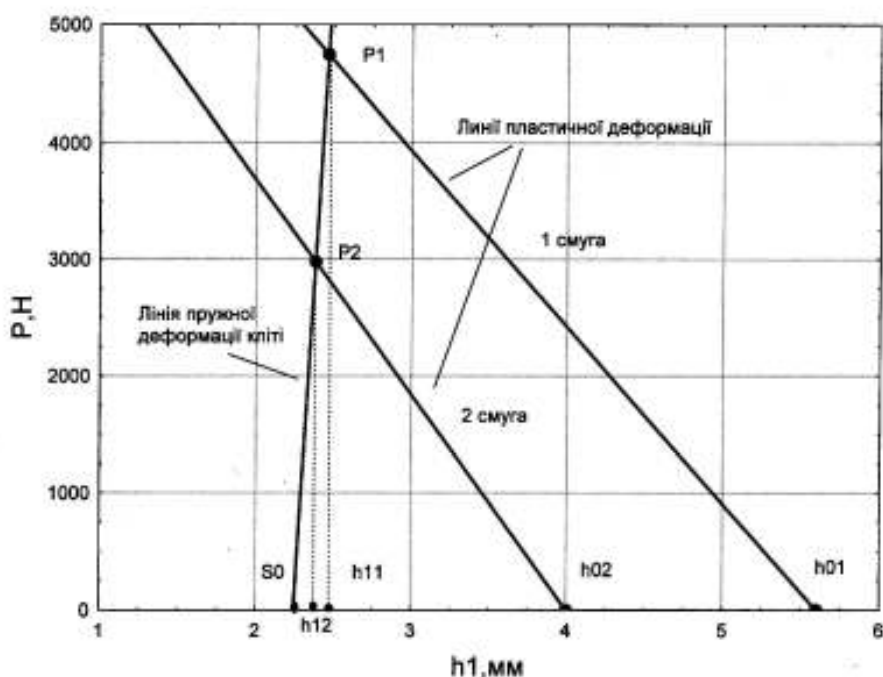


Рисунок 5 - Експериментальні лінії пластичної деформації прокату і пружної деформації кліті при зміні товщини підкату

Знаючи жорсткість кліті можна визначити міжвалковий зазор ненавантажених валків. Вихідна товщина визначається виразом

$$h_1 = S_0 + \frac{P}{M_{кл}} \quad (2)$$

де P - сила прокатки, Н;

S_0 - міжвалковий зазор ненавантажених валків, мм;

Звідси між валковий зазор визначається як

$$S_0 = h_1 - \frac{P}{M_{кл}} \quad (3)$$

Для першої смуги сила прокатки дорівнює 4748 Н, товщина готового прокату – 2,46 мм, пружина кліті – 0,215 мм, для другої смуги сила прокатки дорівнює 2982 Н, товщина готового прокату – 2,38 мм, пружина кліті – 0,135 мм. Тоді міжвалковий зазор для першої і другої смуги дорівнюватиме

$$S_0 = 2,46 - 0,215 = 2,245 ;$$

$$S_0 = 2,38 - 0,135 = 2,245$$

Тобто для першої та другої смуги величина міжвалкового зазору має одне й те ж значення, що підтверджує правильність виконаних розрахунків.

Для визначення жорсткості прокату прокатали дві полоси з постійною товщиною і зміненням міжвалкового зазору. Розміри полос и готового прокату, сили прокатки наведені в таблиці 3. Графік залежності сили прокатки від товщини прокату наведений на рис.6.

Таблиця 3

Дані лабораторного експерименту, що отримані при зміні міжвалкового зазору

Пара-метр	$S_0, м$ м	$h_0, м$ м	$h_1, м$ м	$P_л, Н$	$P_{пр}, Н$	$P, Н$	$h_0 - h_1, м$ м	$h_1 - S_0, м$ м	Жорсткість прокату Нмм
1 смуга	1,8	2,5	1,89	2109	1256	3365	0,61	0,09	
2 смуга	0,8	2,5	0,99	2560	2904	5464	1,51	,19	
Різниця	1		0,9			2099			2332

Жорсткість прокату можна визначати як

$$M_n = \frac{\Delta P}{\Delta h_1} = \frac{2099}{0,9} = 2332 \frac{Н}{мм}, \quad (4)$$

де ΔP - різниця сили прокатки, Н(т.Р1 та т.Р2 рис.6) Δh_1 - різниця товщини готового прокату, мм (т. h_{11} і h_{12} , рис.6).

Лінія пластичної деформації є нелінійною і її можна розбити на два відрізки. Жорсткість прокату визначали для другого відрізка.

В таблиці 4 наведені рівняння регресії, отримані за даними табл. 2 та 3, які кількісно визначають залежність між технологічними параметрами і можуть

використовуватись для обчислення керуючого впливу (змінення міжвалкового зазору) при регулюванні товщини прокату.

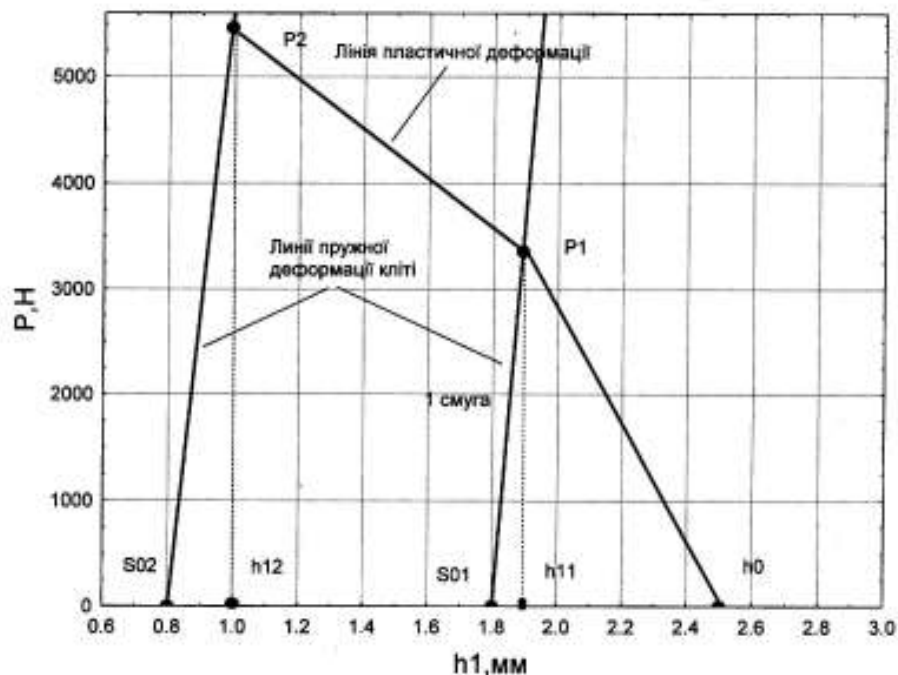


Рисунок 6 - Експериментальні лінії пластичної деформації прокату і пружної деформації кліті при зміні міжвалкового зазору

Таблиця 4

Рівняння регресії

№	Рівняння регресії	Примітка
1	$h1 = 2.18 + 0.05 h0$	
2	$h1 = 0.27 + 0.9 S0$	
3	$h1 = 3.3325 - 0.0004 P$	$S0 = \text{varia}, h0 = \text{const}$
4	$P = 7774 - 2333 h1$ $M_n = 2333 \text{ Н/мм}$	$S0 = \text{varia}, h0 = \text{const}$
5	$h1 = 2.245 + 0.000045 P$	$h0 = \text{varia}, S0 = \text{const}$
6	$P = 49556 + 22075 h1$ $M_k = 22075 \text{ Н/мм}$	$h0 = \text{varia}, S0 = \text{const}$
7	$P = 7144 + 2100 S0$	
8	$P = -1433 + 1103 h0$	
9	$S0 = -0.3 + 1.11 h1$	

Зв'язок між зміненням між валкового зазору і зміненням товщини прокату визначається наступним виразом

$$\Delta S_0 = \frac{M_{кл} + M_n}{M_{кл}} \Delta h_1 = \frac{22072 + 2332}{22072} \Delta h_1 = 1,105 \Delta h \quad (5)$$

Розраховане значення коефіцієнта передачі між зміненням між валкового зазору і зміненням товщини прокату співпадає із значенням коефіцієнта передачі в рівнянні 9 таблиці 4, що підтверджує правильність виконаних розрахунків.

Висновки. Модернізація обладнання прокатного стану і застосування для управління двигуном натискного пристрою частотного перетворювача дозволили забезпечити необхідну точність встановлення натискних гвинтів в задане положення. Точність встановлення $\pm 0,01$ мм.

Вбудований в частотний перетворювач програмований логічний контролер і панель оператора забезпечили можливість створення зручного програмного забезпечення і графічного інтерфейсу оператора для настройки міжвалкового зазору прокатного стану.

Розробка програмного забезпечення для вимірювання енергосилових параметрів прокатки і застосування інтегрованої плати вводу сигналів в комп'ютер дозволили контролювати процес прокатки на екрані монітору і зберігати дані в комп'ютері.

Аналіз результатів експериментальних досліджень процесу прокатки показав, що отримані дані відповідають фізиці процесу прокатки і можуть бути застосовані при фізичному моделюванні роботи автоматизованої системи стабілізації товщини прокату.

Розроблений комплекс може бути застосований при вивченні інформаційних технологій при автоматизації виробничих процесів. Він дозволяє вивчити застосування інтегрованих плат збору даних, обробки та зберігання даних в комп'ютері, роботу частотних перетворювачів, програмованих логічних контролерів і панелей оператора.

ЛІТЕРАТУРИ / ЛИТЕРАТУРА

1. Действующая модель прокатного стану. Руководство по эксплуатации. 5Л.00.00.00.РЭ.-Днепропетровск: Облполиграфиздат, 1988 – 7 с.
2. Чекмарев А.П., Ольдзиевский С.А. Методы исследования процессов прокатки. М.:Металлургия, 1969 – 294 с.
3. Челюсткин А.Б. Автоматизация процессов прокатного производства. М.:Металлургия, 1971 – 294 с.

REFERENCES

1. The current model of the rolling mill. Operation manual. 5Л.00.00.00.РЭ.- Dnepropetrovsk: Oblpoligrafizdat, 1988 - 7 p.

2. Chekmarev A.P., Oldzievsky S.A. Methods of research of rolling processes. М .: Metallurgiya, 1969 - 294 p.
3. Chelyustkin A.B. Automation of rolling production processes. М .: Metallurgiya, 1971 - 294 p.

Received 16.03.2021.

Accepted 18.03.2021.

Модернизация лабораторного прокатного стана 150

для формирования у студентов навыков исследования объекта автоматизации

Выполнена модернизация лабораторного прокатного стана 150 для выполнения студентами исследований состояния как объекта автоматизации. Дополнительно на нажимное устройство были установлены редуктор с двигателем переменного тока, фотоимпульсный датчик положения нажимных винтов, месдозы. Для управления двигателем применили панель оператора НМІ DOP-103BQ, частотной преобразователь MS-300с встроенным ПЛК. Разработанное программное обеспечение для панели оператора и ПЛК обеспечило перемещения нажимных винтов в заданное положение с требуемой точностью. Для исследования процесса прокатки разработано программное обеспечение, которое осуществляет измерение силы прокатки, электрических параметров двигателя прокатной клетки и отображение on-line измеряемых параметров на экране монитора. Измеряемые параметры сберегаются и могут быть конвертированы в Excel-файлы.

Modernization of laboratory rolling mill 150

for the formation of students' studies of automation object research

Studying the operation of automated control systems using computers significantly reduces the time, but does not give a complete picture of the system on a real object. Therefore, the use of real objects for the study of control systems in the educational process is appropriate and useful. The purpose of the study is to modernize the laboratory rolling mill 150, designed for rolling lead, tin and plasticine, and equip it with sensors and actuators. The manual pressure device of the rolling stand was replaced by an automated one, for which an worm gearbox was additionally installed, which allowed to increase the total gear ratio to 94.5. The thrust screws are moved from the AC motor, which is controlled by the DOP-103BQ operator panel and the MS-300 frequency converter with built-in PLC. As a displacement sensor used photopulse sensor PDF-3. The installed equipment and the developed software for the operator panel and the PLC provided high accuracy of installation of pressure screws in the set position. Additionally, software was developed to measure the power parameters of the rolling process: the rolling force and the electrical parameters of the DC motor of the drive of the rolling stand. The software allows you to configure the board, ie select the type of board, the channels used to measure voltage signals, select measurement ranges, signal color on the graph, signal polling frequency, number of points to display on the graph, parameters of graph coordinate axes. In the process of measurement, the output of signals to the monitor screen is performed simultaneously. Before rolling, the measurement process is started using the keyboard or mouse and the change of parameters is displayed on the screen in real time. At the end of the rolling process, the measurement stops, and the graphs of parameter changes over time remain on the monitor screen, which allows you

to quickly analyze the process. The measurement results can be saved in an Excel file and then the file can be viewed. The file stores: the time of measurement of parameters and the values of parameters those were measured. Measurement of power parameters and sizes of rolled products before and after rolling allowed to determine the stiffness of the stand and rolled metal, which is necessary to calculate the transmission coefficients of the automated tuning system of the rolling stand.

Зінченко Михайло Дмитрович - доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Потап Олег Юхимович - професор кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Рибальченко Марія Олександрівна - завідувачка кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Маначин Іван Олександрович - доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Зинченко Михаил Дмитриевич - доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Потап Олег Ефимович - профессор кафедры автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Рыбальченко Мария Александровна - заведующая кафедры автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Маначин Иван Александрович - доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Zinchenko Mykhailo Dmytrovych - Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Potap Oleh Yukhymovich - Professor of the Department of Automation of Production Processes, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Rybalchenko Maria Oleksandrivna - Head of the Department of Automation of Production Processes, National Metallurgical Academy of Ukraine.

Manachyn Ivan Oleksandrovyh - Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, National Metallurgical Academy of Ukraine.

І.А. Соловійова, Ю.М. Николаєнко

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ І РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРАХУНКУ МАРШРУТІВ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ
БЕЗОПРАВОЧНИМ ВОЛОЧІННЯМ З УРАХУВАННЯМ ТОЧНОСТІ**

Анотація. Наведено приклади дослідження прогнозування різностінності і визначення товщини стінки заготовки для отримання труби певного розміру, що сприяє підвищенню точності труб з вуглецевих марок сталей при проектуванні маршрутів виробництва. Виконаний кореляційно-регресійний аналіз, визначені фактори, що впливають на зміну різностінності і побудовані регресійні моделі. Результати аналізу доповнили програмне забезпечення визначення розмірів заготовки при проектуванні маршрутів волочіння вуглецевих холоднотформованих труб безоправочним волочінням.

Ключові слова: труба, маршрут волочіння, товщина стінки, кореляційно-регресійний аналіз, точність, різностінність,

Вступ. Для проектування маршрутів безоправочного волочіння труб певного сортаменту необхідно правильно вибрати вихідні розміри заготовки, прорахувати допустимі деформації по діаметру і стінці.

Багато наукових робіт Бернштейна М.М, Смирнова-Аляєва Г.А. і Гуна Г.Я. та інших спрямовані на визначення товщини стінки після волочіння, тягового зусилля, вивчення: волочіння в блок волок; волочіння через волоку, що обертається; моделювання процесу волочіння, а також на вирішення питань, що дозволяють збільшити ступінь деформації при волочінні, зв'язати зміни товщини стінки з енергосиловими параметрами процесів.

В сучасних вимогах до точності труб виникає інтерес до проблеми визначення розмірів заготовки для отримання готової труби потрібного розміру, зміни різностінності труб після волочіння для прогнозування точності готових труб.

Метою даної роботи є дослідження впливу технологічних параметрів безоправочного волочіння труб та визначення факторів, що впливають на визначення розмірів заготовки при проектуванні маршрутів, зміну різностінності труб за допомогою кореляційно-регресійного аналізу.

Результати роботи. Безоправочне волочіння труб використовують після короткооправочного волочіння або прокатки на станах ХПТ або ХПТР, тому труби мають певну різностінність.

При конструюванні маршрутів волочіння необхідно заздалегідь передбачити величину і напрямок зміни товщини стінки.

Було проведено ряд експериментів (57 випадків) для уточнення даних по визначенню зміни товщини стінки залежно від параметрів процесу волочіння. Інтервали варіювання параметрів представлені в таблиці 1. Після волочіння і обрізки головки товщина стінки вимірювалася в 4-х точках і визначалася середня. Прийнято $\alpha = 13^\circ$, коефіцієнт тертя $f = 0,09$.

Таблиця 1

Інтервали варіювання вихідних даних для аналізу

Параметр	Діапазон варіювання параметрів для вуглецевих сталей (сталь 10, 20, 20А, 20Г)
t_0	0,80 ... 3,00
$\Delta D/D_0$	0,05 ... 0,4
t_{got}/D	0,025 ... 0,15
ε	0 ... 75

Проведено аналіз впливу та його характеру для кожного параметра на зміну товщини стінки. Враховуючи проведений аналіз і характер виявлених залежностей перевірили побудову множинної лінійної та нелінійної регресії для визначення товщини стінки заготовки від деформаційних параметрів t_{got} , t_{got}/D , t_0/D_0 , $\Delta D/D_0$, ε . Після повного регресійного аналізу з виявленням адекватного рівняння по критерію Фішера ($F < F_{розр}$) і значимими коефіцієнтами рівняння (P -значення Стьюдента) обрали оптимальне рівняння (коефіцієнт множинної регресії дорівнює 0,995), яке має вигляд:

$$t_0 = 0,01705 + 0,89844 \cdot t_{got} - 0,3243 \frac{\Delta D}{D_0} + 0,56072 \left(\frac{\Delta D}{D_0} \right)^2 + 1,44312 \frac{t_{got}}{D}. \quad (1)$$

В результаті порівняння розрахунків по моделі (1) отримали точніший результат, ніж по іншим відомим залежностям (рисунок 1). Треба підкреслити, що модель (1) має обмежений діапазон адекватності – сталь 10, 20, 20А, 20Г та вказані вище межі параметрів.

З метою оцінки точності труб після безоправочного волочіння були спроектовані та досліджені технологічні маршрути виробництва труб з вуглецевих марок сталей. За розробленими маршрутами та технологією виробництва протягалися партії труб [1], від кожної партії відбиралися зразки і проводилися виміри товщини стінки в рівновіддалених точках поперечного перерізу труби.

Регрессионная статистика								
Множест	0,99545							
R-квадрат	0,99093							
Нормиро	0,99023							
Стандарт	0,07318							
Наблюде	57							
		Фроэр=	2,54976	<F				
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	ачимость F			
Регрессия	4	30,4084	7,60209	1419,67	2,1E-52			
Остаток	52	0,27845	0,00535					
Итого	56	30,6868						
Коэффициентная статистика - Значения ниже 95%: верхние 95%, нижние 95%, средние 95,0%								
Y-пересеч	0,01705	0,05078	0,33574	0,73842	-0,0849	0,11895	-0,0849	0,11895
tgot	0,89844	0,02294	39,1695	2,9E-40	0,85241	0,94447	0,85241	0,94447
DD/DO	-0,3243	0,53427	-0,6071	0,54644	-1,3964	0,74775	-1,3964	0,74775
DD/DO^2	0,56072	1,22972	0,45597	0,65031	-1,9069	3,02833	-1,9069	3,02833
tgot/D	1,44312	0,52482	2,74975	0,00818	0,38999	2,49624	0,38999	2,49624

Рисунок 1 – Множинний регресійний аналіз для визначення залежності товщини стінки заготовки від параметрів деформації

Для кожного проходу волочіння розраховані: абсолютна $\Delta t = t_{max} - t_{min}$ і відносна різностінність заготовки $\delta_0 = \frac{\Delta t_0}{t_{0cp}}$ і готової труби $\delta = \frac{\Delta t}{t_{cp}}$; коефіцієнт обтиснення по діаметру D_0/D ; ступінь тонкостінності t_0/D_0 ; ступінь деформації ε ; коефіцієнт зміни різностінності $k = \frac{\delta}{\delta_0}$.

За результатами вимірювань виконаний кореляційно-регресійний аналіз, визначені фактори, що впливають на зміну різностінності і побудовані регресійні моделі [1, 3]. Інтервали варіювання вихідних даних наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Інтервали варіювання вихідних даних для аналізу

Параметр	Діапазон варіювання параметру для вуглецевих сталей
$\delta_0, \%$	1,2 ... 16,5
D_0/D	1,05 ... 1,6
t_0/D_0	0,02 ... 0,21
D_0	10, 16, 25, 36
t_0	0,97 ... 3,0

Як впливає з визначення:

- при $k < 1$ різностінність зменшується;

«Системні технології» 3 (134) 2021 «System technologies»

- при $k > 1$ різностінність готової труби більша різностінності заготовки.

Значимість коефіцієнтів отриманих рівнянь оцінювалася за критерієм Стюдента, а адекватність моделі за критерієм Фішера. Отримані моделі є адекватними зі значимими коефіцієнтами [1-3].

Регресійна статистика прогнозування різностінності для сталі 10 для різних моделей прогнозування різностінності предствлена на рисунку 2.

Регрессионная статистика					
Множест	0,996867415				
R-квадрат	0,993744643				
Нормиро	0,789991428				
Стандарт	0,655699047				
Наблюде	9				
			Fkrit=	5,192167773	
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	4	341,5087	85,37718	198,5787076	7,50654E-05
Остаток	5	2,1497062	0,429941		
Итого	9	343,65841			
Кoeffициенты					
	Кoeffициенты	дартная оитатисти	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 5
Y-пересеч	0	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
$\Delta D/D_0$	31,76484445	7,4444487	4,266917	0,007962142	12,62827972 50,90140
$\Delta D/D_0^2$	-66,55866535	17,805956	-3,738	0,013459297	-112,330332 -20,7869
tgot/D	8,695534779	5,8628802	1,483151	0,198143872	-6,37547858 23,76654
δ_0	0,340672675	0,0914905	3,723584	0,013661343	0,105488774 0,575856

$$\delta = 31,7648 \frac{\Delta D}{D_0} - 66,5587 \left(\frac{\Delta D}{D_0} \right)^2 + 8,6955 \frac{t_{got}}{D} + 0,3407 \delta_0$$

Регрессионная статистика					
Множест	0,986834341				
R-квадрат	0,973842017				
Нормиров	0,758147228				
Стандарт	0,199669087				
Наблюде	9				
			Fkrit=	5,192168	
Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	4	7,4212307	1,855308	46,53656	0,001308977
Остаток	5	0,1993387	0,039868		
Итого	9	7,6205694			
Кoeffициенты					
	Кoeffициенты	дартная оитатисти	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 5
Y-пересеч	0	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
DD/D0	12,45630058	2,2669337	5,494779	0,002726424	6,628961901
DD/D0^2	-27,31606583	5,4221505	-5,03787	0,003974107	-41,25414746
tgot/D	6,566367064	1,7853251	3,677967	0,014323908	1,977042896
δ_0	-0,082165514	0,0278601	-2,94922	0,031914186	-0,153782142

$$k = 12,4563 \frac{\Delta D}{D_0} - 27,3161 \left(\frac{\Delta D}{D_0} \right)^2 + 6,5664 \frac{t_{got}}{D} - 0,0822 \delta_0$$

$$k = 0,3584 + \frac{2,3235}{\delta_0}$$

Рисунок 2 – Регресійна статистика прогнозування різностінності

Порівняння розрахунку k по отриманій моделі з експериментальними даними приведено на рисунку 3.

Спостереж	Передбачене k	Залишки	k експериментальне
1	1,4447	0,1499	1,5946
2	0,9031	-0,0684	0,8347
3	1,0810	-0,0773	1,0038
4	0,7916	0,0169	0,8086
5	0,7978	0,0542	0,8520
6	0,4133	0,3063	0,7196
7	0,7874	-0,0508	0,7367
8	0,8976	-0,2570	0,6406
9	0,7001	0,0231	0,7231

Рисунок 3 - Порівняння розрахункових значень k та експериментальних даних

$$\text{для моделі } k = 12,4563 \frac{\Delta D}{D_0} - 27,3161 \left(\frac{\Delta D}{D_0} \right)^2 + 6,5664 \frac{t_{got}}{D} - 0,0822 \delta_0$$

При малій різностінності заготовки (менше 3%) різностінність готових труб зростає, при різностінності заготовки 3...4% різностінність готових труб змінюється мало і при $\delta_0 > 4\%$ різностінність готових труб зменшується. Інтенсивність виправлення ($k < 1$) залежить від коефіцієнта обтиснення по діаметру D_0/D : чим більше значення D_0/D , тим інтенсивніше виправлення різностінності. Тобто з метою виправлення різностінності ($\delta_0 > 4\%$) при безоправочному волочінні необхідно збільшувати коефіцієнт витяжки.

При малих значеннях δ_0 коефіцієнт k досягає величини 3,5, тобто різностінність збільшується в 3,5 рази, а при великих значеннях δ_0 інтенсивніше її виправлення.

Результати аналізу доповнили програмне забезпечення визначення розмірів заготовки при проектуванні маршрутів волочіння вуглецевих холоднодеформованих труб безоправочним волочінням. Фрагмент програми проектування маршрутів волочіння представлений на рисунку 4.

Висновок. Результати досліджень впроваджені в розрахунки маршрутів та технологічних карт виробництва з метою прогнозування різностінності готових труб при волочінні та доповнили програмне забезпечення визначення розмірів заготовки при проектуванні маршрутів волочіння вуглецевих холоднодеформованих труб безоправочним волочінням.

**Визначення розмірів заготовки при
безоправочном волочінні труб з вуглецевої
сталі**

Марка сталі		Група сортаменту труб	
10		1	
Размір готової труби		Мастило	Коефіцієнт тертя
D	S	Редкое мыло	0,09
20	1,00	Кут нахилу стінки волоки до осі волочіння	
			13 град.
Допустиме обтиснення		Прогнозування різностінності	
ΔD		δ_0	δ прогноз
7		7,15%	6,24%
		δ експерим	6,67%
Ф-ла Смирнова-Аляєва		Регресійна модель	
Размір заготовки			
D_0	S_0	S_0	Експериментальні дані
27	1,01	0,91	0,91

Рисунок 4 – Фрагмент програми проектування маршрутів волочіння

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьева И.А. Разработка многовариантной технологии, исследование и внедрение рациональных режимов производства холоднодеформированных труб: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 / Соловьева Инна Анатольевна. – Днепропетровск, 1987. – 200 с.
2. Соловйова І.А. Проектування комбінованих маршрутів виробництва холоднодеформованих труб / І.А. Соловйова, В.Ф. Балакін, Ю.М. Николаєнко, К.С. Білан // Системні технології. – 2017. – № 4. – С. 56-62.
3. Соловйова І.А. Прогнозування точності труб при безоправочному волочінні / І.А. Соловйова, Ю.М. Николаєнко // Системні технології.–2020. –№5. – С. 30-36.

REFERENCES

1. Solovyova I.A. Development of multivariate technology, research and implementation of rational production modes of cold-deformed pipes: dis. ... cand. tech. Sciences: 05.16.05 / Soloveva Inna Anatolevna. - Dnepropetrovsk, 1987.- 200 p.
2. Solovyova I.A. Designing of combined routes of production of cold-deformed pipes / I.A. Solovyova, V.F. Balakin, Yu.M. Nykolayenko, K.S. Bilan // System technologies. - 2017. - № 4. - P. 56-62.
3. Solovyova I.A. Predicting the accuracy of pipes at sinking / I.A. Solovyova, Yu.M. Nykolayenko // System technologies. – 2020. – №5. – P. 30-36.

Received 15.03.2021.
Accepted 18.03.2021.

Совершенствование методики и разработкой программного обеспечения расчета маршрута производства труб безправочным волочения с учетом точности

Приведены примеры исследования прогнозирования ризностинности и определения толщины стенки заготовки для получения трубы определенного размера, способствует повышению точности труб из углеродистых марок сталей при проектировании маршрутов производства. Выполненный корреляционно-регрессионный анализ, определены факторы, влияющие на изменение ризностинности и построены регрессионные модели. Результаты анализа дополнили программное обеспечение определения размеров заготовки при проектировании маршрутов волочения углеродных холоднодеформированных труб безправочным волочением.

Improvement of methodology and development of software calculation of routes production of pipes by sink drawing taking into account accuracy

For designing routes of sink drawing pipes a certain assortment it is necessary to choose correctly the initial sizes of preparation, to calculate admissible deformations on diameter and a wall. Sink drawing to pipes after short-drawing drawing or rolling on cold rolling mills, ie pipes having a certain difference.

When designing routes to drawing it is necessary to predict in advance the size and direction of change wall thickness. The analysis of influence and its character for each parameter on change of wall thickness is carried out. Taking into account the analysis and the nature of the identified dependences, tested the construction of multiple linear and nonlinear regression to determine the wall thickness of the workpiece by t_{got} , t_{got}/D , t_0/D_0 , $\Delta D/D_0$, ε .

To order to assess the accuracy of the pipes after sink drawing, technological routes of pipes production from carbon steel grades were developed and investigated. According to the developed routes by the production technology, batches of tubes were drawn, samples were taken from each batch and wall thickness measurements were made at equally distant points of pipe cross-section.

According to the results of measurements, correlation-regression analysis was performed, factors influencing the variation of difference were determined and regression models were built.

With a small diversity of the workpiece (less than 3%) the diversity of the finished pipes increases, with a diversity of the workpiece 3 ... 4% the diversity of the finished pipes changes little and $\delta_0 > 4\%$ the diversity of the finished pipes decreases.

The intensity of the correction ($k < 1$) depends on the compression ratio in diameter $\frac{D_0}{D}$: the larger the value $\frac{D_0}{D}$, the more intense the correction of the difference. That is, to correct the difference ($\delta_0 > 4\%$) in the sink drawing, it is necessary to increase the coefficient of extraction.

The results of research are introduced into the calculations of routes and technological maps of production in order to predict the diversity of finished pipes during drawing and supplemented the software for determining the size of the workpiece when designing routes for drawing carbon cold-formed pipes by sink drawing.

Соловйова Інна Анатоліївна - к.т.н., доцент кафедри якості, стандартизація сертифікація Національної металургійної академії України.

Николаєнко Юлія Миколаївна - старший викладач кафедри якості, стандартизація сертифікація Національної металургійної академії України.

Соловьева Инна Анатольевна - к.т.н., доцент кафедры качество, стандартизация сертификация Национальной металлургической академии Украины.

Николаенко Юлия Николаевна - старший преподаватель кафедры качество, стандартизация сертификация Национальной металлургической академии Украины.

Solovyova Inna - Ph.D., candidate of technical science, Assistant Professor, Department of Quality, Standardization and Certification of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

Nykolayenko Yulia - Senior Teacher, Department of Quality, Standardization and Certification of the National Metallurgical Academy of Ukraine.

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ЕЛЕКТРОННИХ БАЗАХ ДАНИХ

Анотація. У статті проведено аналіз розглянутих питань, присвячених проблемі дотримання прав авторів при систематизації інформації в електронних ресурсах. Встановлено, що ряд положень щодо використання науково-технічної інформації в електронних ресурсах організацій потребує більш детального розгляду відносно дотримання законодавства. Поставлено завдання розробити алгоритм систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних організацій. Проаналізовано використання науково-технічної інформації організаціями при розміщенні її в електронних базах даних. Виявлені порушення, які допускаються організаціями. Запропоновано алгоритм систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних. Розроблений алгоритм дозволяє організаціям розміщувати об'єкти авторського права в своїх електронних базах даних без порушення прав авторів.

Ключові слова: систематизація, бази даних, науково-технічна інформація, електронні ресурси, твір, копіювання, законодавство, автор, права, договір.

Постановка проблеми. У сучасному світі на сайтах організацій присутні бази даних за допомогою яких користувачі можуть отримати вільний доступ до вітчизняної і світової науково-технічної інформації. Одночасно, організації зобов'язані дотримуватися Закону України «Про авторське право і суміжні права», який регулює й охороняє відносини, що стосуються використання творів науки, культури й мистецтва. Однак, швидкий розвиток технологій робить проблематичним дотримання організаціями правових норм в області авторського права. З одного боку, вони надають користувачам необхідну інформацію. З іншого, користувачі зацікавлені в одержанні інформації найбільш мобільним способом, який передбачає швидкий, але слабо контрольований процес копіювання творів. Автори ж зацікавлені у дотриманні їх особистих і майнових прав. Таким чином, дотримуючись законів про охорону авторських прав, організація потрапляє в ситуацію, коли вона не може вільно надати користування електронними документами своїм користувачам без порушення цих же законів.

Тому важливим стає питання збереження рівноваги між дотриманням прав авторів і задоволенням потреб суспільства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням, пов'язаним проблемі дотримання прав авторів при систематизації інформації в електронних ресурсах присвячені дослідження О. Ф. Бойкової, С. Г. Богацької, В. А. Мінаєвої, С. А. Моїсеєвої, О. Б. Антопольського, Н. З. Стародубової, Я. Л. Шрайберг та ін. [1-5].

Питання доступності науково-технічної інформації у зв'язку з використанням нових інформаційних технологій, створення електронних баз даних, копіювання науково-технічної інформації, а також питання захисту авторських прав співробітників бібліотек - укладачів різноманітних бібліографічних посібників та методичних рекомендацій, розглядаються в роботах О.Ф. Бойкової [1].

Питання відкритого доступу до інформаційних ресурсів, а також питання дотримання авторських прав при роботі з електронними документами, базами даних розглядав Я. Л. Шрайберг [5].

У той же час ряд положень щодо використання науково-технічної інформації в електронних ресурсах організацій потребує більш детального розгляду відносно дотримання законодавства.

Метою дослідження є розробка алгоритму систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних організацій.

Виклад основного матеріалу дослідження. При систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних організацій можна виділити чотири основних напрями діяльності з використанням електронних ресурсів, в яких питання дотримання авторського права є найбільш спірними:

- збір, використання і збереження електронних документів;
- використання інформації, отриманої з Internet і інших комп'ютерних мереж;
- оцифрування документів самою організацією для створення резервних копій або ж для використання документів службами електронної доставки документів;
- копіювання документів з баз даних, оптичних дисків та інших електронних носіїв [3].

Сьогодні найбільш популярними електронними ресурсами є електронні каталоги; бібліографічні, реферативні й фактографічні бази даних; електронні книги; електронні бібліотеки. У цілому електронні ресурси, що включаються до фондів організації, можна представити схемою, яка наведена на рис. 1.



Рисунок 1 - Електронні ресурси організації

Одним з найбільш значущих компонентів систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних організацій є електронний каталог, за допомогою якого здійснюється каталогізація поточних надходжень і інформаційне обслуговування. Електронний каталог є засобом поліпшення доступності депозитарних або архівних матеріалів.

Електронні ресурси придбані з інших джерел, мало чим відрізняються за структурою від тих що створені організацією. Деяка науково-технічна інформація отримується від авторів та організацій-партнерів в якості подарунка. Також деякі електронні носії купляються у видавництвах і у агрегаторів (EBSCO), які є великими корпораціями по збору і наданню інформації з конкретного напрямку в мережі Інтернет.

В своїй роботі організації активно використовують ресурси Інтернету, де вони знаходять інформацію як для себе, так і для користувачів їх баз даних. Інформація копіюється і, при потребі, роздруковується. Організації створюють свій сайт із невеликим набором відомостей про свою діяльність і з реальною можливістю пошукового доступу до своїх ресурсів. Конкуренція змушує переходити до надання користувачам електронних версій повних текстів документів, у першу чергу – періодики. Це є статті авторів з журналів, які мають широкий попит серед читачів.

В умовах цифрових технологій з'явилась можливість електронної доставки документу (ЕДД) і легкого копіювання, яке забезпечує абсолютну ідентич-

ність з оригіналом. Як тільки об'єкт перетворений у цифрову форму, стає дуже просто відтворювати його багато разів без втрати якості, і поширювати з використанням телекомунікаційних засобів. Поступово, впроваджуючи нові інформаційні технології, організації розвивають сканування документів і пересилку їх по електронній пошті.

На жаль, при простому скануванні необхідних видань, та розміщенні електронних копій документів в своїй мережі для надання доступу до них читачам, організації, зокрема бібліотеки, порушують норми закону тричі: 1) розміщуючи без згоди суб'єктів авторського права твір в своїй мережі, адже відтворення будь-яких матеріалів, що охороняються авторським правом, без згоди суб'єктів авторського права є порушенням авторських прав; 2) надаючи до них доступ читачів; 3) передаючи документи в електронній формі по мережах без здійснення виплат авторам.

Таким чином, слід зазначити, що запровадження ІТ-технологій має чудовий вплив на формування електронних ресурсів організацій, проте, керівникам і фахівцям в останні роки доводиться зустрічатися з рядом проблем у сфері авторського права, які пов'язані з забезпеченням нормативно-правового обґрунтування організації та функціонування різноманітних інформаційних ресурсів і послуг.

Сьогодні авторські права в Україні регулюються Цивільним кодексом України, Законом України «Про авторське право і суміжні права», Бернською конвенцією про охорону літературних і художніх творів, до якої Україна приєдналася в 1995 році, Всесвітньою конвенцією про авторське право 1952 року, участь у якій Україна підтвердила в 1993 році, Договором ВОІВ про авторське право. Відносини, пов'язані з електронним документообігом та використанням електронних документів, регулюються Конституцією України, законами України «Про інформацію», «Про захист інформації в автоматизованих системах», «Про обов'язковий примірник документів», «Про електронні документи та електронний документообіг», «Про електронний цифровий підпис».

З іншого боку, діяльність організацій з надання та розповсюдження інформації регулюють численні проекти міжнародних громадських організацій, такі як: Програма універсальної доступності публікацій (ІФЛА), Програма «Пам'ять миру», Збереження і доступ до даних (ЮНЕСКО), Декларація керівних принципів з використання мовлення через супутники для вільного розповсюдження інформації, розвитку освіти та розширення культурного обміну та ін.

У законодавстві про авторське право можна виділити чотири основних аспекти: віднесення до об'єктів авторського права підготовлених інформаційних та інших документів; визнання авторами співробітників, що створюють інформаційні та інші документи; надання організаціям, зокрема бібліотекам, переваг у вільному використанні тиражованих документів та їх репродукування; проблеми авторського права, виникають у процесі створення і функціонування електронних бібліотек.

Ст. 446 Цивільного Кодексу України (ЦКУ) та ст. 28 Закону України «Про авторське право і суміжні права» (далі Закон) визначають, що авторське право діє протягом всього життя автора і 70 років після його смерті. Ст. 440-441 ЦКУ та ст. 15, 31-32 Закону визначені майнові права авторів на твір [6-7]. Відповідно до норм цих статей, організації повинні отримувати дозвіл автора або особи, яка має авторські права, на копіювання твору, або отримати ліцензію на використання твору з певною метою. Без порушення авторських прав організації мають можливість створювати електронні копії документів, які не є об'єктами авторського права. У ст. 434 ЦКУ та ст. 10 Закону наведений перелік об'єктів, які не охороняються авторським правом.

Цивільний Кодекс України в ст. 444 та Закон України «Про авторське право і суміжні права» в ст. 21 вказують на випадки вільного використання твору без згоди автора (чи іншої особи, яка має авторське право), але з обов'язковим зазначенням його імені і джерела запозичення.

Вільне відтворення організаціями, зокрема бібліотеками та архівами, примірників твору репрографічним способом обговорено в ст. 22. Бібліотеками допускається без згоди автора або іншої особи, яка має авторське право, репрографічне відтворення одного примірника твору якщо діяльність їх не спрямована прямо або опосередковано на одержання прибутку, але за певних умов.

Аналіз ст. 22, 23 Закону показує, що слід обмежувати кількість копій, зроблених по запитам фізичної особи, становити кошторис на надання послуг із ксерокопіювання, і таким чином обґрунтовувати їх вартість. Надання копій творів іншим бібліотекам, що втратили свої екземпляри (якщо строк охорони твору ще не минув), повинне здійснюватися тільки у виняткових випадках (коли немає можливості законним шляхом придбати екземпляр твору) і в межах державних бібліотечних фондів. Цей висновок можна зробити виходячи з обмеженості випадків використання творів без згоди автора й виплати винагороди та інтересів держави як власника бібліотечних ресурсів.

Слід також зазначити, що в законодавстві відсутні норми, які надавали б бібліотекам право зберігати електронні копії друкованих видань.

Детальний аналіз використання науково-технічної інформації організаціями, розгляд і вивчення чинного законодавства та виявлення деяких недоліків в ньому, дали змогу розробити алгоритм систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних. В якості організації, яка систематизує науково-технічну інформацію розглянуто бібліотеку (рис. 2).



Рисунок 2 - Алгоритм систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних

Перша частина алгоритму вказує на традиційні способи використання науково-технічної інформації як об'єктів авторського права і способи використання при систематизації в електронних базах даних. На алгоритмі показана робота в трьох напрямках:

1. Формування і збереження об'єктів авторського права, тобто формування бібліотечного фонду. Цей процес повинен відбуватися згідно законам України: «Про обов'язковий примірник документу» ст. 6, 8; «Про бібліотечну справу» ст. 16, 18; «Про авторське право та суміжні права» ст. 22, 31, 32.

2. Надання інформації традиційним шляхом та за допомогою систематизації в електронних базах даних. Традиційний метод – метод, коли бібліотекар видає читачеві необхідний документ для роботи в читальному залі або на абонементі. Систематизовані бази даних дають змогу зробити електронну копію документу, але при цьому треба дотримуватися Закону України «Про авторське право та суміжні права» ст. 22, 23, 33.

3. При створенні електронних ресурсів бібліотеки (електронних баз даних, електронних каталогів, інформації на накопичувачах) широко використовують твори авторів. Створюючи свої ресурси працівники бібліотеки повинні пам'ятати про авторські права і діяти стосовно чинного законодавства. При створенні електронних ресурсів розроблюється Положення бібліотеки, в якому регламентується основні засади формування і використання електронних ресурсів.

Всі три напрями використання об'єктів авторського права повинні супроводжуватися авторськими договорами. Права і обов'язки авторів і бібліотечних фахівців дадуть змогу урегулюванню конфліктів між двома сторонами. В договорі може бути прописано як використовувати об'єкти авторського права при їх систематизації і збереженні в електронних базах даних, а також як надавати інформацію користувачам, не порушуючи при цьому прав авторів.

Остання частина алгоритму вказує на те, які заходи будуть застосовані, якщо бібліотеки не будуть дотримуватися положень авторського договору та чинного законодавства.

Насамперед, це розірвання умов авторського договору і припинення подальшої співпраці між двома сторонами.

За захистом авторського права необхідно спочатку звернутись до порушника з претензією, а потім, якщо порушник не відповів на претензію, або відповів, що своїми діями не порушує авторське право, можна звернутись до суду.

Адміністративна відповідальність за порушення авторських прав перед-

бачена ст. 51-2 Кодексу про адміністративні правопорушення.

Окрім цивільної і адміністративної, в деяких випадках, законом передбачена і кримінальна відповідальність, яка встановлюється згідно ст. 176 Кримінального кодексу України.

Результати. Розроблений алгоритм систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних дозволяє організаціям розміщувати об'єкти авторського права в розроблених електронних базах даних без порушення прав авторів.

ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Бойкова О.Ф. Интеллектуальная собственность и информационные ресурсы библиотек / О.Ф. Бойкова // Университетская книга. - 2008. - №1. - С. 30-35.
2. Богацкая С.Г. Авторское право в библиотечном деле / С. Г. Богацкая // Библиография. - 2005. - № 2. - С. 34-41.
3. Моисеева С. Вопросы авторского права при использовании электронных документов в библиотеках: опыт работы и пути решения проблемы / С. Моисеева // Библиотечный форум України. - 2004. - № 1. - С. 25-31
4. Минаев В.А. Авторское право и библиотеки в условиях развития новых технологий / В. А. Минаев // Библиотековедение. - 2006. - № 3. - С. 32-36.
5. Шрайберг Я.Л. Библиотеки в условиях правовой и технологической эволюции процессов общественного развития. Ежегодный доклад Конференции "Крым". Год 2008 / Я. Л. Шрайберг // Науч. и техн. б-ки. - 2009. - № 1. - С.7-46.
6. Цивільний кодекс України за станом на 17 лютого 2021 року / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text>.
7. Закон України «Про авторське право і суміжні права»: за станом на 17 лютого 2021 року / [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3792-12#Text>

REFERENCES

1. Boykova O.F. Intellectual property and information resources of libraries / O.F. Boykova // University Book. - 2008. - №1. - P. 30-35.
2. Bogatskaya S.G. Copyright in the library business / S.G. Bogatskaya // Bibliography. - 2005. - № 2. - P. 34-41.
3. Moiseeva S. Questions of copyright in the use of electronic documents in libraries: experience and solutions to the problem / S. Moiseeva // Library Forum of Ukraine. - 2004. - № 1. - P. 25-31
4. Minaev V.A. Copyright and libraries in the development of new technologies / V.A. Minaev // Library Science. - 2006. - № 3. - P. 32-36.

5. Schreiber J.L. Libraries in the conditions of legal and technological evolution of social development processes. Annual report of the Crimea Conference. Year 2008 / J. L. Schreiber // Nauch. and tech. b-ki. - 2009. - № 1. - P.7-46.
6. Civil Code of Ukraine as of February 17, 2021 / [Electronic resource]. - Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text>.
7. Law of Ukraine "On copyright and related rights": as of February 17, 2021 / [Electronic resource]. - Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3792-12#Text>

Received 17.03.2021.

Accepted 18.03.2021.

Систематизация научно-технической информации в электронных базах данных

В статье проведен анализ рассмотренных вопросов, посвященных проблеме соблюдения прав авторов при систематизации информации в электронных ресурсах. Установлено, что ряд положений по использованию научно-технической информации в электронных ресурсах организаций требует более детального рассмотрения относительно соблюдения законодательства. Поставлена задача разработать алгоритм систематизации научно-технической информации в электронных базах данных организаций. Проанализировано использование научно-технической информации организациями при размещении ее в электронных базах данных. Выявлены нарушения, которые допускаются организациями. Предложен алгоритм систематизации научно-технической информации в электронных базах данных. Разработанный алгоритм позволяет организациям размещать объекты авторского права в своих электронных базах данных без нарушения прав авторов.

Systematization of scientific and technical information in electronic databases

It is important to maintain a balance between respecting the rights of authors and meeting the needs of society.

The author analyzed studies related to the problem of observing the rights of authors when organizing information in electronic resources.

It was found that some points related to the use of scientific and technical information in electronic resources of organizations require more detailed consideration regarding compliance with the law.

The aim of the study is to develop an algorithm for systematizing scientific and technical information in electronic databases of organizations.

It was found that when systematizing scientific and technical information in electronic databases of organizations, four main areas of activity using electronic resources can be distinguished, in which issues of copyright compliance are the most controversial:

- collection, use and storage of electronic documents;*
- use of information received from the Internet and other computer networks;*
- digitization of documents by the organization itself to create backups or for use of documents by electronic document delivery services;*

- copying of documents from databases, optical disks and other electronic media.

Unfortunately, by simply scanning the necessary publications and placing electronic copies of documents on their network to provide readers with access to them, organizations, in particular libraries, violate the law three times: 1) placing a work on its network without the consent of the copyright holders, because the reproduction of any copyrighted material without the consent of the copyright holders is a violation of copyright; 2) providing readers with access to them; 3) transferring documents in electronic form via networks without making payments to authors.

A detailed analysis of the use of scientific and technical information by organizations, consideration and study of current legislation made it possible to develop an algorithm for systematizing scientific and technical information in electronic databases. The library is considered as an organization that systematizes scientific and technical information.

The first part of the algorithm points to the traditional ways of using scientific and technical information as objects of copyright and ways of using it for systematization in electronic databases. The algorithm shows work in three directions:

1. Formation and preservation of objects of copyright, that is, the formation of the library fund.

2. Providing information in the traditional way and through systematization in electronic databases.

3. When creating electronic resources, libraries widely use the works of authors.

When librarians create databases, they should be mindful of copyrights and act in accordance with applicable laws. When creating electronic resources, the Regulation of the Library is developed, which regulates the basic principles of the formation and use of electronic resources.

All three directions of using objects of copyright must be accompanied by copyright agreements.

The last part of the algorithm indicates what measures will be taken if the libraries do not comply with the provisions of the copyright agreement and current legislation.

The developed algorithm for systematizing scientific and technical information in electronic databases allows organizations to place objects of copyright in the developed electronic databases without violating the rights of authors.

Ігнат'єва Вікторія Борисівна – к.т.н., доцент, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

Игнат'єва Виктория Борисовна – к.т.н., доцент, Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя.

Ihnatieva Viktoriia - Associate Professor, Ternopil Ivan Puluj National Technical University.

NEW APPROACH FOR THE STEP-UP CONVERTER EFFICIENCY INCREASING

Abstract. This paper is devoted to the problem of efficient power conversion technologies creation. New approach for step-up converter gate driver powering is proposed. Experimental and numerical researches for new method were conducted. Results give us both good confirmation of the new schematic advantages and usage limitations. Different power loss streams are considered.

Keywords: energy efficiency, power loss, DC/DC converter, electronic simulation.

Statement of the problem. Ensuring energy efficiency is one of the highest priority tasks in the design of both industrial and computer technology. In turn, modern devices often requires several different supply voltages for its operation. For example, desktop computer mainboard requires +12V, +5V, +3.3V power rails, not counting to numerous internal power converters and power rails for signal interfaces. Some laboratory and industrial equipment require high-power controlled source [8,9].

Direct conversion from AC power line to every required DC rail in many cases is a costly and resource consuming solution. So, to provide different DC sources power converters are used. One of the most frequently used converters is a so called DC/DC converter.

There are many topologies, schematics and integrated components for this class of converters [1–3]. Some of the solutions are based on discrete components, other requires modern and complex integrated components, which uses outstanding methods to provide high energy efficiency, low noise and other desirable features [2,4,7].

In spite of the existence of the modern integrated components for the DC/DC conversion task, usage of the simple schematics and components may be considered as applicable solution. First of all, special requirements of the laboratory equipment may make modern solutions useless. On the other hand, modern components may be unavailable or too costly.

So, the task of creation, simulations and research in the area of DC/DC converters synthesis is actual both scientific and technological point of view.

In this paper the task of step-up converter energy efficiency improving is under consideration. Especial attention is paid for experimental justification for the predicted results, as well as for cheap and available components usage.

Analysis of recent research and publications. Due to exceptional actuality, there are huge amount of the researches, book and articles concerning DC/DC converters. Some of them is mainly focused on the theory questions [1,5,6], other - gives us ready to use solutions [2-4]. Nevertheless, none of them gives us a methods for the energy efficiency improving with simple schematics and available components.

Methods of the buck converter control, and corresponding models, which was proposed in papers [8.9], is not applicable to the step-up converter. Moreover, the energy efficiency questions was not under consideration there.

Purpose of the study. This article sets out the following main objectives.

Provide a simple method for the step-up converter energy efficiency improvement, without usage of the bleeding-edge components.

Explore the characteristics the proposed method and schematic properties.

Establish the bounds of the applicability for the proposed solution.

Statement of the main research material. There are many reasons for energy leaking in impulse DC/DC converters. It is worth to mention losses in magnetic cores, capacitors and other passive elements. But there is common element and common losses reason in these converters – switching element (or elements). In modern converters these elements are represented by MOSFET or IGBT. In general, these transistors provide low resistance in the "open" state (R_{ds}), approximately 10-2 Ohm. But to achieve such prominent results, some conditions must be met.

First of all, sufficient gate voltage V_g must be provided. Moreover, higher frequencies requires essential current to charge gate at small time. To met these conditions, special gate drivers exists and used widely in powerful converters.

Step-up (or "burst") converters have some essential penalty in comparison with step-down ("buck") converters. Lower input voltage leads to lower gate voltage in the "on" state. This may lead to source-drain resistance rising, as well as lower value of the front slope. As consequence, the overall energy loss level is increasing.

Modern integrated converters can mitigate this drawback by the internal charge pump usage. But, as it was mentioned before, such approaches is not always applicable.

In this paper another approach is proposed. In the initial state, input voltage (V_{in}) is used for the gate driver powering. After the start-up, when output voltage

(V_o) become greater, than the input one, it become the source for the driver. Generally, driver power consumption is essentially lesser, when output power. So, Schottky diodes may be used as a switch between input and output schematic branches for driver powering.

In the figure 1 the test schematic for the proposed method is represented.

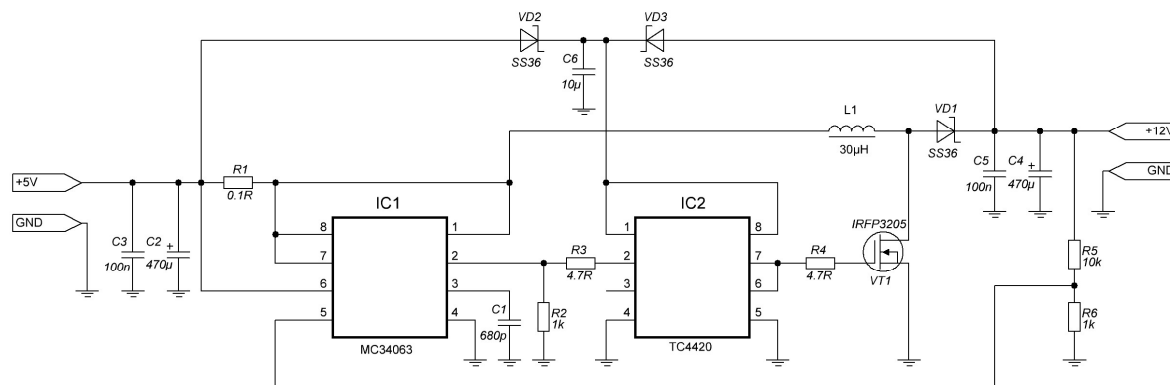


Figure 1 – Test schematic for the proposed approach with dual gate driver powering

Well-known and somewhat ancient integrated schematic IC1 MC34063A is used as switching signal source. It also realizes feedback for output voltage stabilization and over current protection. Widely used IC2 TC4420 provides gate charge and discharge current for the main switching element – VT1 IRFP3205. This MOSFET is somewhat more powerful, that required for this purpose, but this choice can emphasize advantages and drawbacks of the new approach.

As it was proposed before, a pair of the Schottky diodes (VD2 and VD3) is used to power gate driver. For the test purpose, there is a jumper (not shown in the schematic) to disable VD3. Later, data from the schematics with both diodes will be labeled as “2 diodes”, and “1 diode” – with disable VD3.

Capacitor C6 provides stabilization of the gate driver voltage (V_p), taking in the account impulsive nature of the load.

First of all, a series on experiments was held to prove the proposed method applicability. A set of resistors was used as load (R_L) with and without VD3. For every resistor input current (I_{in}) and output voltage (V_o) was measured by digital multimeters. Input voltage was stabilized by the external programming power source, whereas output current was determined by resistor. Resistors was tested for temperature stability. Measurement time was large enough to provide readings stabilization, but small enough to not overheat equipment.

In the figure 2 the quality of output voltage stabilization is represented.

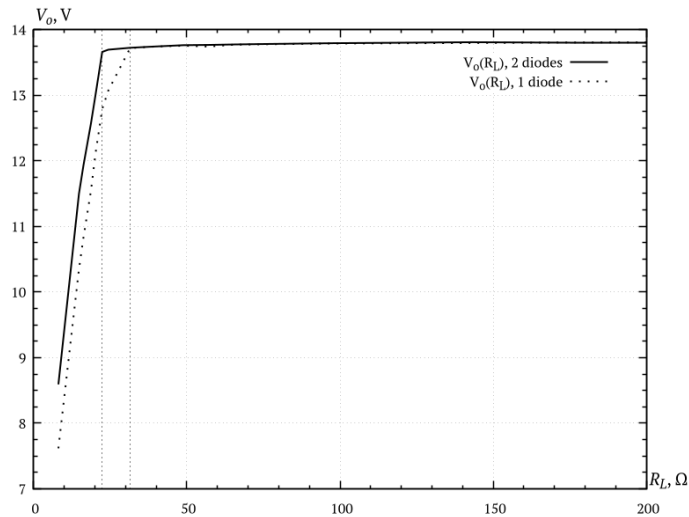


Figure 2 - Output voltage stabilization quality in dependence of load

In the most of the user R_L range stabilization voltage was the same, as in low load condition it defined by the voltage feedback subcircuit. But in the case of lesser R_L values, and higher load, schematic without VD3 fails to stabilize output voltage some earlier. At first sight, this difference seems negligible, but it corresponds up to 25% output power.

Figure 3 represents main result of this experiment – dependence of the converter efficiency from the load.

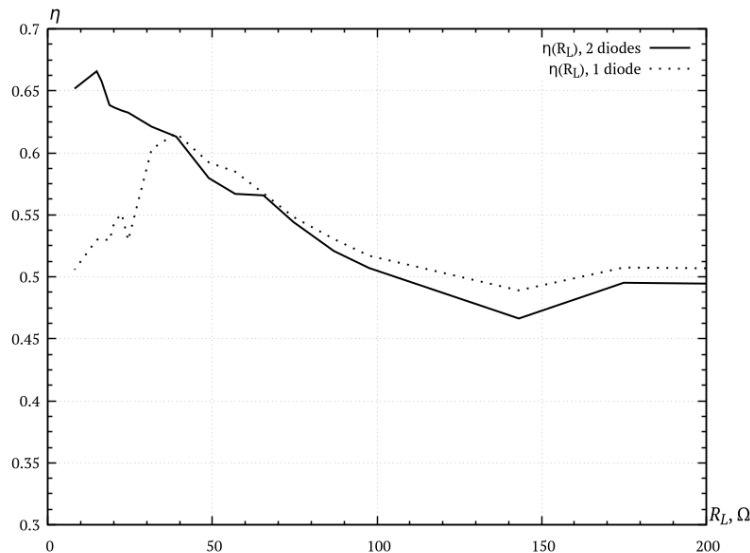


Figure 3 - dependence of the converter efficiency from the load

In this figure we can observe some surprising result. In the essential part of the R_L range the efficiency with VD3 is lesser. This is opposite to the expected results. But in the area of higher loads, new approach show better results - as expected. Namely this area is essential to common usage of the converter, but additional researches was held to find justification for the phenomena.

One more phenomena was detected during these experiments. In the condition of high load, the output voltage stabilization time without VD3 becomes extremely high – up to 20 s. On the other hand, schematic with proposed approach stabilizes voltage less then in 1 s. This fact emphasizes the new method advantages under high load.

In the figure 4 the dependencies $V_g(t)$ and $V_L(t)$ in the case of essential load ($R_L=24.4 \text{ Ohm}$) are presented. It is obvious, that gate voltage level in the schematic with VD3 is near to output voltage. This leads to lesser energy loss, and consequently, lesser heating of the switch transistor.

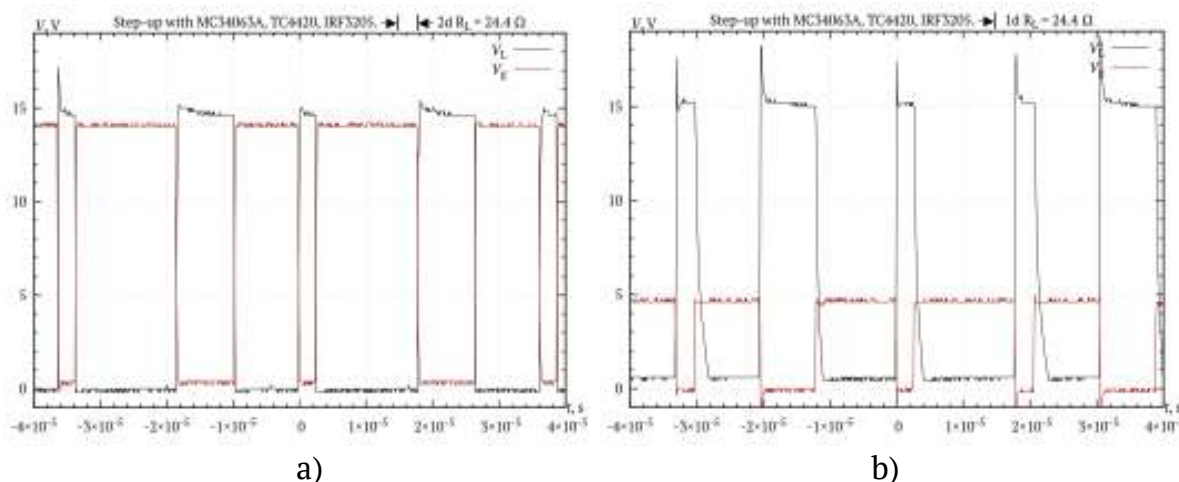


Figure 4 – Dependencies $V_g(t)$ and $V_L(t)$ with (a) and without (b) VD3

In the figure 5 start-up condition dependencies of output and driver power voltage ($V_p(t)$) are presented. New schematic provides both gate driver power switching from V_{in} to V_o , and significantly faster output voltage stabilization. Moreover, it is impossible to visualize correctly both processes in the same scale.

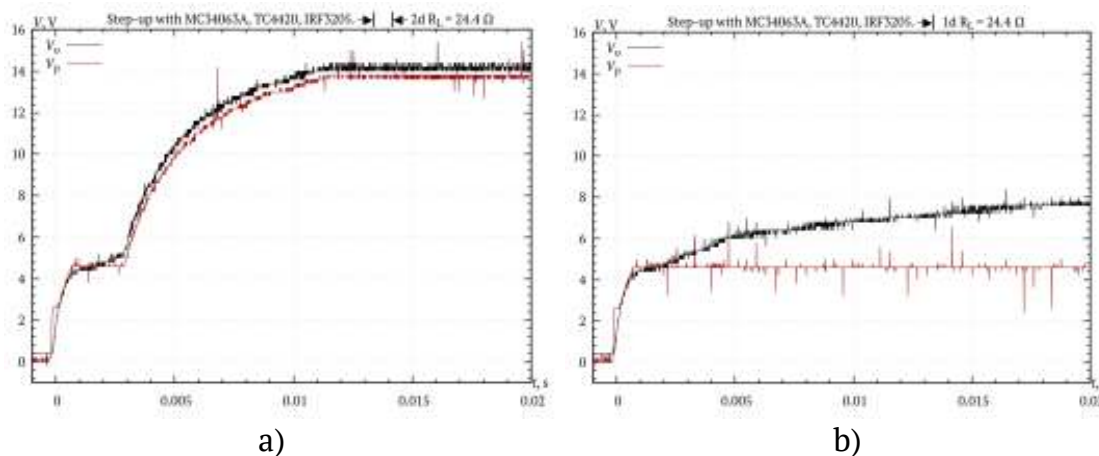


Figure 5 – start-up condition dependencies of output and driver power voltage ($V_p(t)$) with (a) and without (b) VD3

To determine the reason of the surprising result, 2 factors was investigated.

First - the source of power loss via switching element was investigated. For this purpose the R_{ds} value was measured in static condition. Results are represented in the fig. 6. This results show essential difference in R_{ds} value under conditions $V_{dd}=V_p = 4.6 \text{ V}$ (without VD3) and $V_{dd}=V_p=13.8 \text{ V}$ (with VD3). Unfortunately, this experiment ignores losses due to lesser from slope value. This influence requires additions experiments.

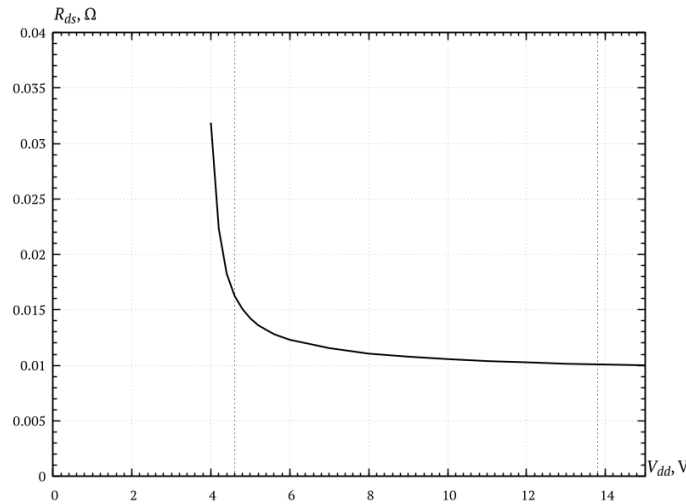


Figure 6 – Experimental $R_{ds}(V_{dd})$ dependence

Better $V_g(t)$ control means high costs for this control. This phenomena may explain surprising results.

The next group of experiments was held to measure losses to control in dependence from V_p and switching frequency f (fig. 7). Measurements of question current (I_q) was held without load and with constant duty factor. These limitations allows up only to estimate power loss due to control.

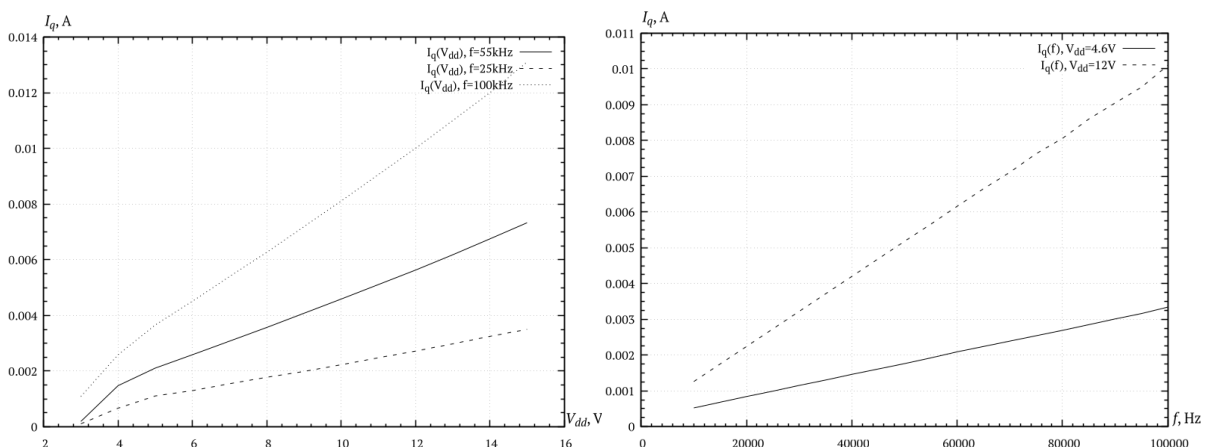


Figure 7 - Dependencies $I_q(V_{dd})$ (a) and $I_q(f)$

Measurements shows, that Iq in the working range is nearly linear both on Vp and f. So, it is confirmed, that better control requires more power, and in the case of low total power consumption influence of this part will be at least noticeable.

Findings. The results of the experiments and simulations allows us to give such conclusions.

1. Proposed approach really provides better power efficiency in the case of high load.

2. Using this approach on lower loads may be useless due to control power rising.

3. Precise working range can not be determined only by calculations, as too many effects influenced to result.

REFERENCES

1. Keng C. Wu. Switch-Mode Power Converters / Elsevier Academic Press – 2006. – 409 p.
2. Markus Zehendner, Matthias Ulmann. Power Topologies Handbook // Texas Instruments. – 2021 – 199 p.
3. The power electronics handbook. Edited by timothy l. Skvarenina / Purdue University West Lafayette, Indiana – 2002 – 625 p.
4. Steve Roberts DC/DC book of knowledge / Steve Roberts // RECOM Group Gmunden 2014. – 234 p.
5. Marian K. Kazimierczuk Pulse-Width Modulated DC-DC Power Converters, 2nd Edition / Marian K. Kazimierczuk // Wright State University, Dayton, Ohio, USA 2008 – 960 p.
6. Robert W. Erickson Fundamentals of Power Electronics / Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic / University of Colorado Boulder, USA 1997 – 881 p.
7. Blaabjerg, F.; Chen, Z.; Kj.r, S.B. Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems. IEEE Trans. Pow. Electron. 2004, 19, 1184–1194.
8. A.Yu. Zimoglyad. Development of a system for thermal evaporation / Zimoglyad A.Yu. , Guda A.I. // Regional interuniversity compendium of scientific works – 2019. – №6 (119). – P. 3–11.
9. A.Yu. Zimoglyad. Buck converter simulation and measurement / Zimoglyad A.Yu. , Guda A.I. // System technologies. Regional interuniversity compendium of scientific works – 2019. – №2 (121). – P. 21–32.

Received 19.03.2021.
Accepted 23.03.2021.

Новий підхід до підвищення ефективності step-up перетворювача

Ця стаття присвячена проблемі створення ефективних технологій перетворення енергії. Основними цілями статті є: запропонувати простий метод для підвищення енергоефективності перетворювача, що не перевищує ефективність, без використання передових компонентів, дослідити характеристики запропонованого методу та схематичні властивості, а також встановити межі застосовності для запропонованого рішення.

У цій роботі пропонується інший підхід. У початковому стані вхідна напруга використовується для живлення драйвера затвора. Після запуску, коли вихідна напруга стає більше, ніж вхідна, вона стає джерелом для драйвера. Діоди Шоттки можуть використовуватися як перемикач між вхідними та вихідними схематичними гілками для живлення драйвера.

Створено експериментальний підрозділ для перевірки нового підходу. В основі - мікросхема MC34063A, TC4420, MOSFET IRFP3205 та інші компоненти. Для визначення нових властивостей підходу була проведена серія експериментів. Порівняння з класичним методом посилення виявляє різницю між підходом.

Експерименти показують, що у випадку великого навантаження класична схема не вдається стабілізувати вихідну напругу дещо раніше, ніж запропонований спосіб. У тих же умовах енергоефективність може бути вищою до 15%. З іншого боку, через збільшення втрат потужності в ланцюзі управління цей метод має трохи меншу ефективність у випадку низького навантаження.

Чисельна оцінка властивостей нового методу разом із експериментальними результатами забезпечує основу для правильного вибору підходу. Деякі розбіжності між теорією та експериментами вимагають подальших досліджень.

Запропонований підхід дійсно забезпечує кращу енергоефективність у разі великих навантажень, але використання цього підходу на менших навантаженнях може виявитися марним через збільшення потужності управління. Точний робочий діапазон неможливо визначити лише розрахунками, необхідні експерименти.

New approach for the step-up converter efficiency increasing

This paper is devoted to the problem of efficient power conversion technologies creation. The main article objectives are: provide a simple method for the step-up converter energy efficiency improvement, without usage of the bleeding-edge components, explore the characteristics the proposed method and schematic properties, and to establish the bounds of the applicability for the proposed solution.

In this paper an another approach is proposed. In the initial state, input voltage is used for the gate driver powering. After the start-up, when output voltage become greater, than the input one, it become the source for the driver. Schottky diodes may be used as a switch between input and output schematic branches for driver powering.

Experimental unit to test new approach was created. It is base on IC MC34063A, TC4420, MOSFET IRFP3205 and other components. A series of experiments was held to determine new

approach properties. Comparison with classic step-up method reveals difference between approach.

Experiments shows, that in the case of high load, classic schematic fails to stabilize output voltage some earlier, than proposed method. In the same conditions power efficiency may be higher up to 15 %. On the other hand, due to increasing power loss in control circuit this method has slightly lesser efficiency in the case low load.

Numerical estimation of new method properties, along with experimental results provides background for correct approach selection. Some discrepancies between theory and experiments requires further investigation.

Proposed approach really provides better power efficiency in the case of high load, but using this approach on lower loads may be useless due to control power rising. Precise working range can not be determined only by calculations, experiments are required.

Гуда Антон Ігорович – д.т.н, проф., доц. каф ІТС НМетАУ.

Зимогляд Андрій Юрійович – к.т.н., асс. каф. ІТС НМетАУ.

Гуда Антон Игоревич – д.т.н, проф., доц. каф ИТС НМетАУ.

Зимогляд Андрей Юрьевич – к.т.н., асс. каф. ИТС НМетАУ.

Guda Anton – doctor of technical sciences, professor, docent Department of information technology and systems.

Zimoglyad Andrey – candidate of technical science, assistant Department of information technology and systems.

О.В. Гавриленко, В.А. Дворник

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СФЕР ДІЯЛЬНОСТІ КАНДИДАТІВ ПРИ ПІДБОРІ КАДРІВ ДЛЯ ІТ-КОМПАНІЙ

Анотація. У даній статті розглянуто проблему підбору кадрів для ІТ-компаній. Розглянуто практичне застосування методів кластеризації на прикладі задачі визначення сфер діяльності кандидатів та підбору резюме на певну вакансію при підборі кадрів для ІТ-компаній. Приведено постановку задачі. Визначено, до яких моделей зводяться досліджувані проблемні ситуації, та, які методи можуть бути застосовані до розв'язання поставленої задачі. Наведено огляд відомих рішень, також висвітлено переваги та недоліки обраного методу. Приведено приклад визначення кількості оптимальних кластерів для заданого набору резюме.

Ключові слова: кластеризація, оптимізація, сфера діяльності, кандидат, рекрутер, підбір кадрів.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день підбір підходящих кандидатів для найму з широкого кола кандидатів є основоположним питанням. Традиційними методами є проведення індивідуальних перевірок і різних технічних кваліфікаційних тестів, співбесід, а також групових обговорень. Виявлення здібностей кандидата за допомогою співбесід є традиційною практикою в процесі найму [1]. Проте ця традиційна практика займає дуже багато часу, а також може привести до несправедливого вибору кандидатів.

Сучасні менеджери з управління персоналом та кадровики повинні обробляти надзвичайно великі обсяги даних: дослідження портфоліо, скринінг соціальних медіа, ідентифікація наборів навичок, а також – дослідження резюме. Тому обрати правильного кандидата може бути важкою місією.

Отже, призначенням дослідження є спрощення процесу відбору кадрів для HR-менеджерів на прикладі ІТ-компаній з використанням резюме, в яких враховуються інформація про професійні та особисті якості претендента.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автоматизовану класифікацію резюме за допомогою техніки кластеризації розглядали також професори Сагар Море, Бхамаре Приянка, Малі Пуджа та Качаве Каляні [2]. Вчені наголошують на тому, що на сьогоднішній день важким завданням для

менеджерів з підбору персоналу є завдання знайти найкращого кандидата який би відповідав усім побажанням та виправдовував усі очікування. Пропонується метод, що дозволяє відповідним визначити особливості та навички у кожному з надісланих резюме.

Цей підхід застосовує ідею кластеризації. На простому рівні кластеризація використовує один або кілька атрибутів в якості основи для ідентифікації кластера. Кластеризація корисна для ідентифікації різної інформації, так як вона корелює з іншими прикладами, так що можна побачити, де подібності та діапазони збігаються.

Пропоноване вченими рішення використовує методи інтелектуального аналізу даних. Метод кластеризації інтелектуального аналізу даних використовується для класифікації та розрахунку. Оскільки кластеризація корисна для ідентифікації різної інформації, так як вона корелює з іншими прикладами, так що можна бачити, де подібності та діапазони збігаються. Для кластеризації у системі застосовується алгоритм k-means. Цей алгоритм кластеризує резюме кандидатів у k кластерів [2].

Мета досліджень. Метою статті є дослідження методів кластеризації та перетворення задачі кластеризації на задачу оптимізації для підвищення ефективності та якості рекомендацій менеджерам з підбору персоналу.

Викладення основного матеріалу досліджень. Підбір персоналу – це процес, при якому HR-менеджер зазвичай визначає та залучає потенційних людей ззовні та зсередини організації, щоб оцінити їх та прийняти на певну посаду. У задачі визначення сфер діяльності працівників при підборі кадрів для IT-компаній в якості вхідної інформації розглядатимуться резюме у текстовому вигляді, в яких буде міститись уся інформація про професійну кар'єру працівника, а також мотиваційні листи, есе та тести з професійної орієнтації з вільними відкритими відповідями.

На виході отримаємо набір професійних сфер діяльності працівників з підібраними до них найкращими резюме, тобто, отримаємо групування вхідних даних до певних сфер діяльності та на певну вакансію.

Для групування та об'єднання вхідних даних пропонується залучити методи кластеризації текстових даних.

Таким чином, нехай X – множина об'єктів, тобто резюме, а Y – множина кластерів, тобто професійних сфер. Задана функція відстані між об'єктами $\rho(x, x')$. Маємо кінцеву навчальну вибірку об'єктів:

$$X^m = \{x_1, \dots, x_m\} \subset X \quad (1)$$

Необхідно розбити вибірку на підмножини (кластери), тобто кожному об'єкту $x_i \in X^m$ поставити у відповідність $y_i \in Y$ таким чином щоб об'єкти всередині кожного кластера були близькі щодо метрики ρ , а об'єкти з різних кластерів істотно розрізнялися [3].

Розглянемо методи кластеризації. Кластеризація – це поділ множини вхідних векторів на групи (кластери) за ступенем «схожості» один на одного. Для того, щоб можна було порівнювати два об'єкти, потрібно мати критерій, на підставі котрого і буде відбуватися порівняння. Зазвичай, як правило, таким критерієм є відстань між об'єктами [3].

Найпопулярнішим алгоритмом кластеризації є алгоритм k-means. Проте, на жаль, алгоритм k-means не справляється із задачею, коли об'єкт не належить жодному кластеру або належить до різних кластерів у однаковій мірі.

З цією проблемою k-means чудово справляється алгоритм c-середніх (c-means). Замість точної відповіді на запитання до якого кластеру відноситься об'єкт, алгоритм визначає ймовірність належності об'єкту до того чи іншого кластеру. Таким чином, твердження вигляду «об'єкт В належить до кластеру 1 з імовірністю 90%, до кластеру 2 – 15%» вірне і набагато зручніше.

Алгоритм c-середніх (c-means) – це модифікація методу k-means. Далі наведено кроки роботи алгоритму [4]:

1. Вибір початкового нечіткого розбиття n об'єктів на k кластерів шляхом вибору матриці належності U розміром $n \times k$.

2. Визначення значення критерію нечіткої похибки алгоритму із застосуванням наступної матриці:

$$E^2(X, U) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K U_{ik} \|x_i^{(k)} - \mu_k\|^2, \quad (2)$$

де μ_k – це «центр мас», тобто, центроїд нечіткого кластера k .

3. Перестановка (перегрупування) об'єктів із метою зменшення нечіткої помилки.

4. Перехід до п. 2 до тих пір, поки зміни матриці U не стануть незначними.

Застосування алгоритму c-means може бути недоцільним, якщо число кластерів заздалегідь невідоме або є необхідність віднесення кожного об'єкту до певного кластеру однозначно.

Далі наведено переваги та недоліки методу c-means [5]:

Переваги:

- можливість визначення ступеня приналежності елемента до кластеру;
- нечіткість при віднесення об'єкта до кластеру дозволяє включати об'єкти, які знаходяться на границі, в кластери.

Недоліки:

- число кластерів повинно бути відоме заздалегідь;
- метод зазвичай шукає кластери сферичної форми;
- комплікативність роботи з об'єктами;
- обчислювальна складність.

Так як одним із недоліків методу є необхідність знати кількість кластерів наперед, необхідно вказати точно визначене число. В даному випадку пропонується представити задачу кластеризації як оптимізацію.

На відміну від завдання класифікації або регресії, в разі кластеризації складніше вибрати критерій, за допомогою якого було б просто уявити завдання кластеризації як задачу оптимізації.

У алгоритмах k-means та c-means поширений наступний критерій – сума квадратів відстаней від точок до центроїдів кластерів, до яких вони відносяться, повинна бути мінімальною.

$$J(C) = \sum_{i=1}^K \sum_{i \in C_k} \|x_i^{(k)} - \mu_k\|^2 \rightarrow \min_C \quad (3)$$

де C – множина кластерів потужності K , μ_k – центроїд кластера C_k .

Зрозуміло, що у цьому є певний сенс: необхідно, щоб точки розташовувалися купчасто біля центрів своїх кластерів. Взагалі, мінімум такого функціоналу буде досягтися тоді, коли кластерів стільки ж, скільки і точок (тобто кожна точка - це кластер одного елемента).

Для вирішення цього питання (вибору числа кластерів) необхідно скористатися такою евристиккою: обирають саме те число кластерів, починаючи з якого описаний функціонал падає «вже не так швидко». Або більш формально [6]:

$$D(k) = \frac{|J(C_k) - J(C_{k+1})|}{|J(C_{k-1}) - J(C_k)|} \rightarrow \min_k$$

На рис. 1 показано експерименти для $k = 25, 50$ та 80 кластерів. По осі OY – залежність суми квадратів відстаней від точок до центроїдів кластерів, по осі OX – кількість кластерів.

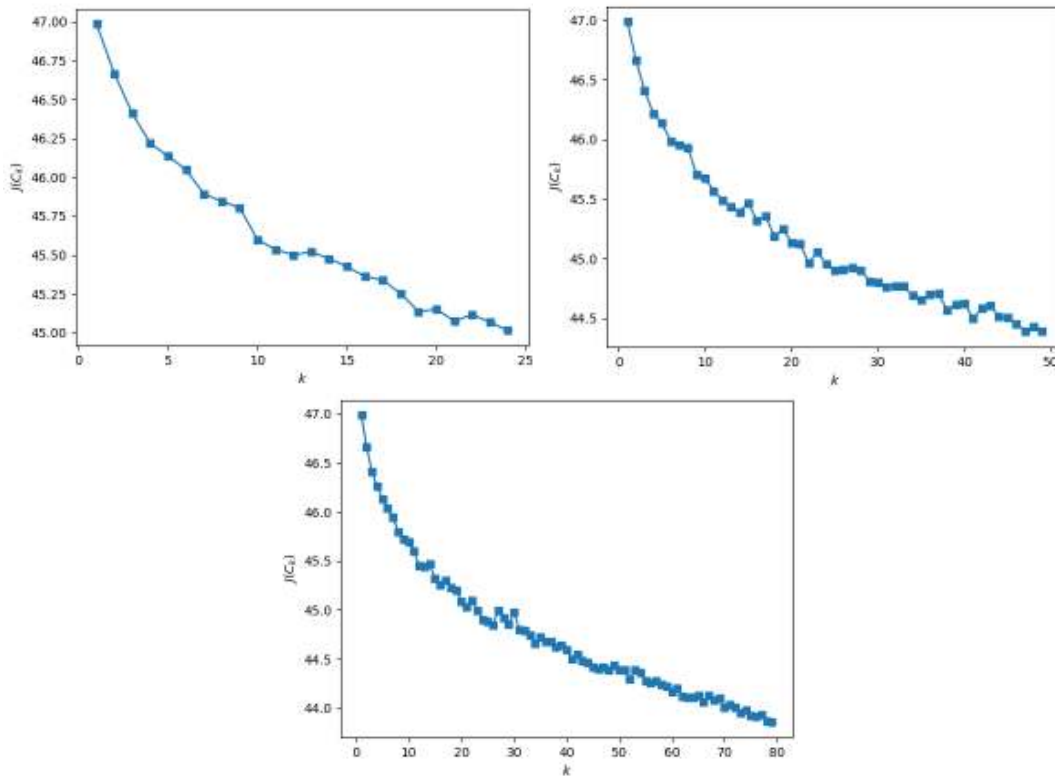


Рисунок 1 – Залежність суми квадратів відстаней від точок до центроїдів кластерів до кількості кластерів ($k = 25, 50$ та 80)

При невеликій кількості кластерів оптимальне значення можна визначити дивлячись на графік. Але при великих k , оптимальне значення кластерів визначити достатньо важко.

Для визначення оптимальної кількості кластерів можна застосувати метод «ліктя» або метод «коліна».

У кластерному аналізі метод ліктя використовується для визначення кількості кластерів в наборі даних. Даний метод розглядає характер змін $J(C_k)$ із збільшенням числа груп k (кластерів). Об'єднавши усі n спостережень в одній групі, на певному етапі дійсно можна придивитись, що $J(C_k)$ падає вже не так сильно - на графіку це відбувається в точці, яка і називається «ліктем».

Для визначення ліктя необхідно провести пряму лінію від кінцевих точок дослідження, і після цього обчислити відстань від кожної точки до цієї лінії. Точкою з найбільшою відстанню повинна бути точка, яка містить лікоть.

Провівши дослідження для 50-ти кластерів було визначено оптимальне значення – 15 кластерів, тобто 15 сфер діяльності кандидатів, до яких можуть

бути віднесені вхідні дані, тобто резюме. На рис. 2 показано визначений лікоть для експерименту з 50-ти кластерів.

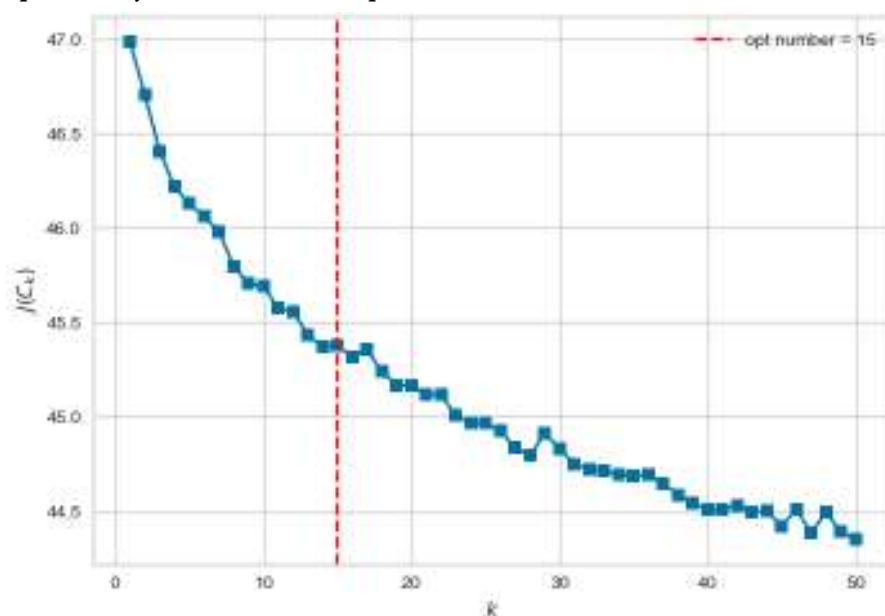


Рисунок 2 – Визначення оптимальної кількості кластерів за допомогою методу «ліктя»

Висновки. Аналіз результатів показав, що використання методу c -means має важливу перевагу: можливість визначення ступеня приналежності елемента до кластеру. А визначення кількості кластерів для розбиття в даному випадку пропонується знайти, представивши задачу кластеризації як задачу оптимізації і застосувати ліктьовий метод, вказавши ту кількість кластерів, де залежність суми квадратів відстаней від точок до центроїдів кластерів падає «вже не так швидко».

ЛИТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Rout, Jayashree & Bagade, Sudhir & Yede, Pooja & Patil, Nirmiti. (2019). Personality Evaluation and CV Analysis using Machine Learning Algorithm. International Journal of Computer Sciences and Engineering. 7. 1852-1857. 10.26438/ijcse/v7i5.18521857.
2. Prof. Sagar More, Bhamare Priyanka, Mali Puja, Kachave Kalyani. (2019). Automated CV Classification using Clustering Technique. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume 6, Issue 6, Page No 302-305.
3. Klasterniyiy analiz [Elektronniy resurs] — Rezhim dostupa k state: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Кластеризация>

4. Dunn J.C. A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters // Journal of Cybernetics. — 1973. — 17 сентября (т. 3, № 3). — С. 32–57. — ISSN 0022-0280. — doi:10.1080/01969727308546046.
5. Chasovskih A. Obzor algoritmov klasterizatsii dannyih [Elektronniy resurs] — Rezhim dostupa k state: <https://habr.com/ru/post/101338/>
6. KorolYov S., Kashnitskiy Yu. Otkryityiy kurs mashinnogo obucheniya. Obuchenie bez uchitelya: PCA i klasterizatsiya [Elektronniy resurs] — Rezhim dostupa k state: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/325654/>

REFERENCES

1. Rout, Jayashree & Bagade, Sudhir & Yede, Pooja & Patil, Nirmity. (2019). Personality Evaluation and CV Analysis using Machine Learning Algorithm. International Journal of Computer Sciences and Engineering. 7. 1852-1857. 10.26438/ijcse/v7i5.18521857.
2. Prof. Sagar More, Bhamare Priyanka, Mali Puja, Kachave Kalyani. (2019). Automated CV Classification using Clustering Technique. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). Volume 6, Issue 6, Page No 302-305.
3. Кластерный анализ [Электронный ресурс] — Режим доступа до статті: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Кластеризация>
4. Dunn J.C. A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters // Journal of Cybernetics. — 1973. — 17 сентября (т. 3, № 3). — С. 32–57. — ISSN 0022-0280. — doi:10.1080/01969727308546046.
5. Часовских А. Обзор алгоритмов кластеризации данных [Электронный ресурс] — Режим доступа к статье: <https://habr.com/ru/post/101338/>
6. Королёв С., Кашницкий Ю. Открытый курс машинного обучения. Обучение без учителя: PCA и кластеризация [Электронный ресурс] — Режим доступа к статье: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/325654/>

Received 19.03.2021.

Accepted 25.03.2021.

Применение методов кластеризации для определения сфер деятельности кандидатов при подборе кадров для ИТ-компаний

В данной статье рассмотрена проблема подбора кадров для ИТ-компаний. Рассмотрено практическое применение методов кластеризации на примере задачи определения сфер деятельности кандидатов и подбора резюме на определенную вакансию при подборе кадров для ИТ-компаний. Приведены постановку задачи. Определено, к которым моделей сводятся исследуемые проблемные ситуации, а также, какие методы могут быть применены к решению поставленной задачи. Приведен обзор известных решений, также освещены преимущества и недостатки выбранного метода. Приведены пример определения количества оптимальных кластеров для заданного набора резюме.

Application of clustering methods to determine the areas of activity of candidates in recruitment for IT-companies

Nowadays the selection of candidates for recruitment from a wide range of candidates is a fundamental issue. Today's HR managers have to handle extremely large amounts of data: portfolio research, social media screening, skill set identification, and, of course, resume research.

Professors Sagar More, Bhamara Priyanka, Mali Pujja and Kachave Kalyani were considering the automated classification of resumes using clustering techniques. The solution proposed by scientists uses methods of data mining. The method of data mining clustering is used for classification and calculation.

The aim of the article is to study the methods of clustering and the transformation of the clustering problem into an optimization problem to improve the efficiency and quality of recommendations to recruitment managers.

In the task of determining the areas of activity of employees in recruitment for IT-companies an input information will be summarized in text form, which will contain all the information about the professional career of the employee, as well as cover letters, essays and career guidance tests with free open answers.

At the output we get a set of professional areas of activity of employees with the best resumes selected for them, that is, we get a grouping of input data to certain areas of activity.

It is suggested to use text clustering methods to group and combine input data. For clustering can be used c-means algorithm – a modification of the k-means method.

There is one disadvantage of the method: the need to know the number of clusters in advance. In this case, it is proposed to present the problem of clustering as optimization. The «elbow» method or the «knee» method can be used to determine the optimal number of clusters.

Analysis of the results showed that the use of the c-means method has an important advantage: the ability to determine the degree of belonging of the element to the cluster. And, also with usage of «elbow» method optimal number of clusters can be chosen.

Гавриленко Олена Валеріївна – доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

Дворник Вікторія Анатоліївна – студентка кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського».

Гавриленко Елена Валерьевна - доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского».

Дворник Виктория Анатольевна - студентка кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского».

Gavrylenko Olena – Associate Professor of the Department of Computer-Aided Management and Data Processing Systems of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

Dvornyk Viktoriia – student of the Department of Computer-Aided Management and Data Processing Systems of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute».

**УЛЬТРАЗВУКОВИЙ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВИРОБІВ
З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ
РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

Анотація. Розглянуто спосіб традиційного ультразвукового контролю виробів ракетно-космічної техніки виготовлених з полімерних композитних матеріалів. Пропонується використовувати замість спеціалізованого обладнання дефектоскоп вітчизняного виробництва з високочастотним роздільно-суміщеним перетворювачем. Даний спосіб скоротить фінансові витрати для закупівлі імпортного спеціалізованого устаткування, та комплектуючих матеріалів. Показана можливість використання даного способу на прикладі порівнянь результатів контролю з використанням імпортного дефектоскопа фірми Olympus EPOCH® 650 з прямим перетворювачем частотою 0,5 МГц і дефектоскопа вітчизняного виробництва УД2-41 з роздільно-суміщеним перетворювачем 5МГц, на контрольному зразку виготовленого з полімерного композитного матеріалу з дефектом в вигляді розшарування. Представлений спосіб дозволяє виявляти ламінарні тріщини в структурах зі склопластику, резервуарах, трубах, корпусах, лопатках турбін і т. ін. при односторонньому доступі поверхні об'єкту контролю

Ключові слова: полімерні композитні матеріали (ПКМ), ультразвуковий контроль, ракетно-космічна техніка (РКТ), неруйнівний контроль (НК).

Вступ. Сучасна ракетно-космічна техніка немислима без композиційних матеріалів (КМ). При розробці засобів дослідження космічного простору потрібні нові матеріали, що витримують навантаження космічних польотів (високі температури і тиск, вібраційні навантаження, глибокий вакуум, радіаційної вплив і т. д.), маючи при цьому низьку масу. Застосування КМ дозволяє знизити вагу виробу на 10...50% і скоротити витрати палива, підвищивши при цьому надійність. Основними напрямками застосування КМ є: силові конструкційні елементи; теплозахисні та теплоізоляційні покриття; ерозійної стійкості елементи конструкцій.

Застосування КМ конструкційного призначення, розробка та відпрацювання нових технологій, дозволяють створювати конкурентоспроможні, ефективні по масі і міцності властивостями виробу, такі як: розміростабільні конструкції космічного призначення з тривалим

терміном експлуатації, каркаси сонячних батарей полегшеної маси до 1 кг/м², теплові екрани космічних апаратів, комплекти конструктивних елементів корпусу об'єктів, конструкції-ферми для космічних апаратів, без фітингові ферми та інші вироби [1]. В силу того, що з освоєнням нових матеріалів, з'являється необхідність технічної діагностики конструкцій космічного призначення. Процес діагностики виробів із композитів додатково ускладнюється тим фактом, що КМ мають широкий спектр можливих дефектів. Існують дефекти, властиві тільки певним композитам, наприклад, неправильний тип волокон, дезорієнтація волокон у просторі, руйнування стільникового заповнювача та інші. А є дефекти, що властиві всім КМ – це сторонні включення, розшарування, пористість, низька міцність зв'язку між наповнювачем і в'язучою речовиною. На рис.1. наведені різновиди композитних матеріалів відповідно до геометрії армуючих елементів (порошки або гранули, волокна, пластини).

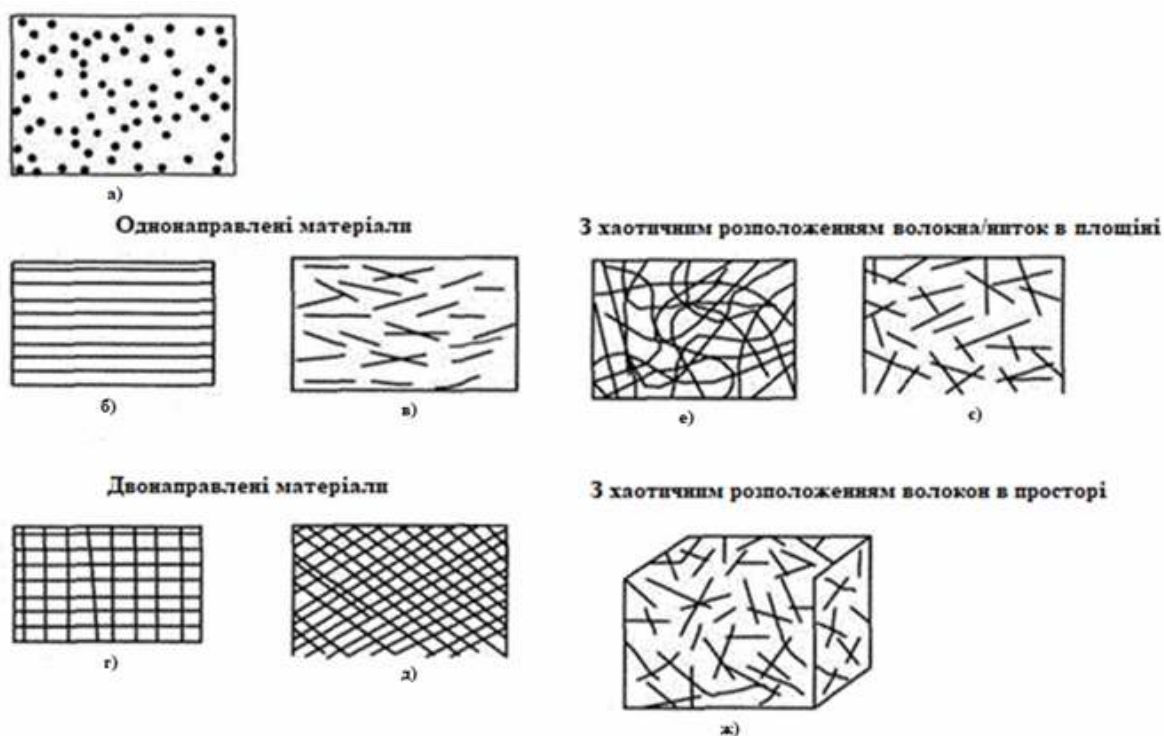


Рисунок 1 - Види виконання композитних матеріалів: а) матеріали, наповнені порошкоподібними частками, б) матеріали, на основі нитки, в) матеріали, на основі волокна, г) тканини, перехресно укладені нитки і армовані ними матеріали, д) плетені матеріали, перехресно укладені нитки і армовані ними матеріали, е) неткані матеріали на основі ниток, є) папери, армовані волокнами плівки, ж) матеріали, армовані волокнами

Відповідно до цієї класифікації КМ діляться на групи з матричною, шаруватою, каркасною і комбінованою структурою. Матричну структуру мають дисперсно-зміцнені і армовані КМ. До матеріалів з шаруватою структурою відносяться композиції, отримані з набору шарів, що чергуються з матеріалів різної природи і складу. До композиційних матеріалів із каркасною структурою відносяться матеріали, отримані методом просочування. Комбіновану структуру мають матеріали, що містять комбінації перших трьох груп [2, 3].

Класифікація ПКМ за призначенням досить умовна, оскільки часто композити є багатофункціональними матеріалами [3]. Проте, серед безлічі ПКМ виділяють матеріали загального конструкційного призначення (несучі конструкції космічних суден, літаків, автомобілів та ін.), жароміцні матеріали (лопатки турбін, камери згоряння), термостійкі матеріали (вироби, що працюють в умовах частих теплових змін), фрикційні матеріали (гальмівні колодки), антифрикційні матеріали (підшипники ковзання), міцні матеріали (броня літаків, танків), теплозахисні матеріали, матеріали зі спеціальними властивостями (магнітними, електричними) і ін. [4,5]. При виробництві композитів найбільш поширеними є дефекти типу порушення цілісності, до яких відносяться: розшарування, непроклеї, тріщини, повітряні або газові раковини, сторонні вclusions, зламані пучки.

На даний час не існує єдиного універсального методу НК КМ, який би дозволяв виявляти всі можливі типи дефектів. При розробці методик і систем діагностики необхідно базуватися на кількох взаємодоповнюючих фізичних методах, які дають можливість визначити найбільшу кількість небезпечних для КМ і виробу дефектів [2].

Аналіз останніх дослідів та публікацій. Згідно із ГОСТ 18353-79 [6] існує 9 видів НК: магнітний, електричний, вихрострумний, радіохвильовий, тепловий, оптичний, радіаційний, акустичний (ультразвуковий) і проникаючими речовинами. Згідно із ДСТУ 2865-94 [7], окрім вказаних вище видів НК розрізняють органолептичний, візуальний, електрогазодинамічний і газорозрядну візуалізацію та фотографування у полях високої напруги. Кожний з них поділяється на методи, кількість яких може бути досить значною (наприклад, в акустичному контролі ГОСТ 23829-85 виділяє 16 основних методів, в більш пізніх джерелах згадані вже до 25 методів) [8]. Проте, як уже відмічалось раніше, для контролю якості конструкцій із КМ можуть застосовуватися лише деякі з цих методів. Коротко розглянемо основні МНК, які можуть застосовуватися для контролю якості виробів з КМ. Візуальні МНК застосовуються не

тільки для армованих пластиків. Використання КМ в шаруватих конструкціях також вимагає застосовування таких МНК. Візуальний огляд безпосередньо після затвердіння ще не охололих стільникових конструкцій дозволяє виявити бульбашки, непроклеї або розшаровані ділянки. Електричними методами НК можна визначати вміст компонентів в гетерогенних системах, вологість, ступінь полімеризації і старіння, поперечні розміри лінійно-протяжних діелектричних виробів, локалізацію провідникових і непровідних включень у структурі шаруватого пакета. Методами теплового контролю можна виявити такі дефекти, як пропуски армуючих ниток в каркасах, порівняно великі сторонні включення. Однак ці методи не дозволяють виявляти дрібні структурні дефекти, так як геометрична роздільна здатність сучасної апаратури складає приблизно 0,5 мм. Найбільш досконалим з усіх радіаційних методів є метод обчислювальної томографії. На базі томографів створюються промислові установки для контролю та документального відображення внутрішньої структури великогабаритних корпусів ракетних двигунів твердого палива з КМ. Радіотехнічні методи (радіохвильовий і радіоспектроскопічний) широко застосовуються для контролю якості виробів з ПКМ. На практиці найбільшого поширення набули надвисокочастотні методи, що застосовують діапазони довжин хвиль від 1 до 100 мм, що відповідає інтервалу частот від 0,3 до 300 ГГц. Переважна область застосування методів і техніки надчастот – це контроль напівфабрикатів, виробів і конструкцій з КМ, в яких поширюються радіохвилі. Акустичні методи (АМ) дозволяють контролювати суцільність КМ, якість зварних і клеєних з'єднань. Серед МНК ПКМ та багат шарових клейових конструкцій АМ за обсягом застосування займають перше місце [8]. Точність вимірювань становить від 3 до 8% від еквівалентної або умовної чутливості, що задається еталонними зразками. АМ дуже чутливі до форми контрольованих об'єктів (до сферичних, конічних) невеликих розмірів. Найбільше застосування при контролі якості виробів з КМ знайшли методи УЗ дефектоскопії, які дозволяють виявити розриви армуючих волокон, бульбашки повітря і скупчення смоли при контролі виробів різної форми. АМ поділяють на дві великі групи: активні, що використовують випромінювання і прийом акустичних хвиль, і пасивні, засновані тільки на прийомі хвиль. У кожній з цих груп можна виділити методи, що досліджують виникнення в об'єкті контролю біжучих і стоячих хвиль.

В даний час в практиці НК ПКМ для виявлення дефектів знайшли застосування практично всі методи і способи, що традиційно застосовуються в умовах

виробництва, випробуванні та експлуатації деталей і агрегатів. Це оптичні, електричні, акустичні, радіаційні, магнітні, теплові, голографічні, мікрорадіохвильові і інші методи контролю [9, 13].

Наприклад для контролю виробів з ПКМ, компанія Olympus [11] пропонує використовувати будь-який дефектоскоп власного виробництва серії EPOCH®, EPOCH® 650 або EPOCH 6LT, разом зі спеціальними перетворювачами. Тип використовуваного перетворювача залежить від геометрії і товщини деталі. Спеціальний перетворювач з лінією затримки M2008 (частотою 0,5 МГц, діам. 25,4 мм) призначений для контролю виробів з товстого склопластику і композиційних матеріалів (товщиною більше 12,5 мм).

На рис. 2 представлений приклад виявлення великих ламінарних тріщин в стінках паливного бака з товстого склопластику (товщиною 25 мм) за допомогою дефектоскопа EPOCH® 650 і перетворювача на 500 КГц. Перетворювач встановлюють на поверхню об'єкту. У бездефектному зразку, ультразвук доходить до нижньої поверхні і генерує луна-сигнал з глибини 25 мм. Зліва на рис. 2 представлено пік, справа – А-скан. При наявності тріщини, ультразвук відбивається від дефекту і створює пік в межах зони екрану, зазначеної червоним стробом, яка являє середину об'єкту контролю. Сильний луна-сигнал в даній зоні вказує на наявність великої несущільності в об'єкті [11].

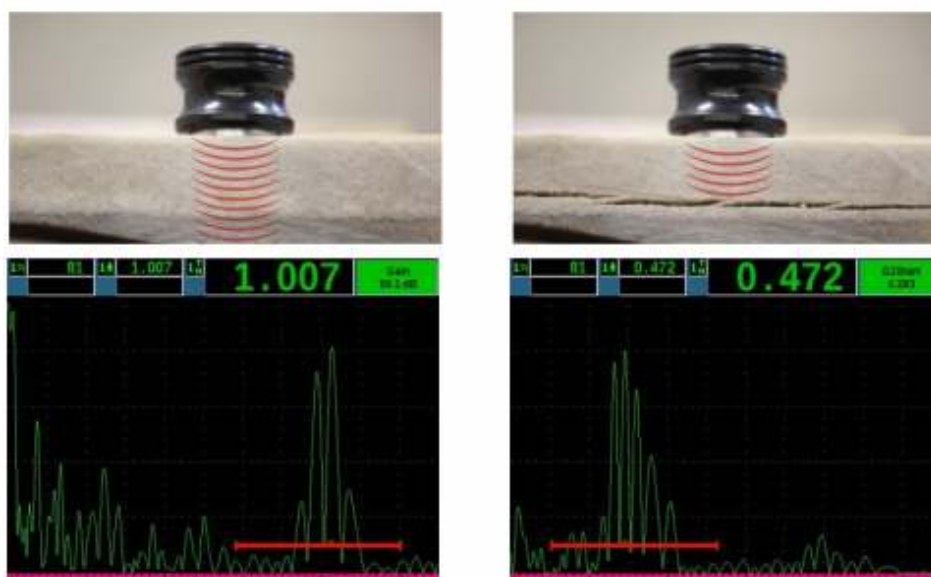


Рисунок 2 - Луна-сигнали дефектоскопа серії EPOCH®

Ціль і матеріали досліджень. Методи неруйнівного контролю ПКМ, що застосовуються можна розділити на кілька груп:

- методи дефектоскопії та товщинометрії, що дозволяють виявити внутрішні макродефектів, такі як: розшарування, тріщини, раковини, сторонні вclusions, викришування по крайках отворів і гнізд, а також відрив поверхневих шарів при механічній обробці деталей з композиційних матеріалів. До цих методів належать ехо-імпульсний, тіньовий, імпедансний, велосиметричний, змушених коливань, вільних коливань, ревербераційний та ін.

- методи дефектоскопії, що дозволяють виявити поверхневі макродефекти деталей з ПКМ: підминання, подряпини, а також внутрішні дефекти, що виходять на поверхню деталі. Поверхневі дефекти деталей з ПКМ виявляються візуально-оптичним методом, а в деяких випадках люмінесцентним методом дефектоскопії.

Нерівності поверхні і глибина поверхневих ушкоджень можуть бути оцінені за допомогою профілометра і профілографу:

- методи, що дозволяють візуалізувати внутрішню структуру матеріалу в досліджуваній зоні і виявити складки, звили, відхилення кута армування, викривлення волокон в площині шарів і інші порушення макроструктури. Виявлення внутрішніх мікродефектів структури ПКМ можливо методом акустичної мікроскопії;

- методи діагностики, що дозволяють визначати фізико-механічні характеристики ПКМ і прогнозувати ресурс роботи деталі або конструкції [6].

Таким чином, представлені основні методи неруйнівного контролю, що дозволяють отримати інформацію про наявність чи відсутність в відповідальних деталях і вузлах, експлуатованих об'єктів, дефектів, таких як тріщини, задираки, локальні вм'ятини, обірвані нитки, складки і смуги, а також дефекти внутрішньої структури.

Щодо виявлення дефектів внутрішньої структури, найбільш результативним є саме ультразвукова дефектоскопія, яка набула широкого поширення у виробництві металоконструкцій. Однак, застосування композитних матеріалів надають виклик традиційним способам ультразвукової дефектоскопії.

Ультразвукова дефектоскопія заснована на техніці порівняння луна-сигналів які проходять крізь контрольований об'єкт з луна-сигналами у тестовому зразку [7]. Оскільки звукові хвилі відбиваються від пустот і тріщин, будь-які зміни в структурі луна-сигналу вказують на зміни у внутрішній структурі матеріалу. При контролі паливного баку ПКМ РКТ, звертається увага на наявність луна-сигналів в зазначеному «стробі» або вікні, що представляє внутрішню частину досліджуваного об'єкту. Неоднорідна структура ПКМ часто

генерує шум, обумовлений розсіюванням звукових хвиль, навіть в твердих матеріалах. Однак, тріщини, площа яких наближається до діаметра променю ультразвуку, відображають сильні локалізовані сигнали і швидко детектуються [8].

На рис.3 наведено приклад виявлення великих ламінарних тріщин в тестовому зразку виготовленого зі стінки паливного бака з тонкого вуглепластику (товщиною 3,6 мм) за допомогою портативного ручного дефектоскопа УД2-41 і прямого роздільно-суміщеного перетворювача на 5 МГц. Перетворювач встановлений на поверхні об'єкту. У бездефектній зоні, ультразвук доходить до нижньої поверхні і генерує луна-сигнал з глибини 3,6 мм. (Рис.3 а). При наявності тріщини, ультразвук відбивається від дефекту і створює пік в межах зони екрану, зазначеної червоним стробом, яка представляє середину об'єкта контролю (Рис.3 б). Сильний луна-сигнал ($H=2,1\text{м}$) в даній зоні вказує на наявність великої несучільності в деталі. Контроль займає всього кілька секунд в кожній точці виміру.

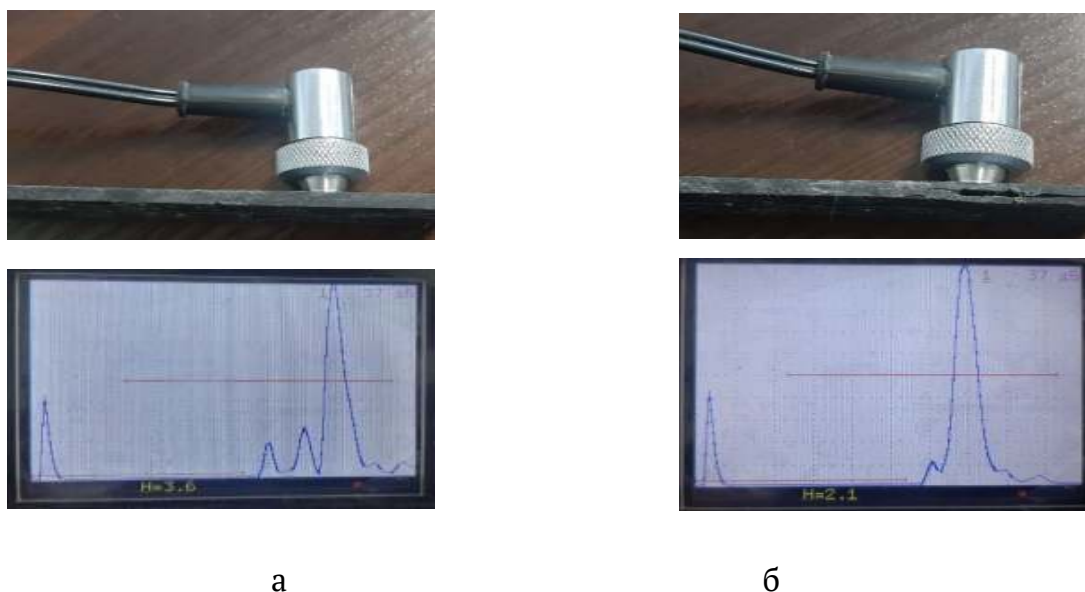


Рисунок 3 - Приклад дефектної (а) та бездефектної частини (б)

Але виявлення дефектів типу пор або мікротріщин в паливних баках ПКМ [9] в процесі контролю неможливо без удосконалення методів і засобів ультразвукового НК через фактори які впливають на проведення контролю:

Шорсткість поверхні контролю. Зі збільшенням шорсткості поверхні, підвищується рівень шумів при переміщенні перетворювача по поверхні об'єкта контролю. Для отримання більшого відношення сигнал / шум, при

контролі виробів з підвищеною шорсткістю необхідно знижувати швидкість сканування, і відповідно продуктивність [9].

Кривизна поверхні. Збільшення кривизни поверхні контрольованих об'єктів знижує чутливість ультразвукового методу. Це обумовлено тим, що з ростом кривизни поверхні зростає жорсткість а з нею і модуль акустичної властивості виробу в дефектних і доброякісних зонах, збільшуються власні частоти відокремлених дефектами зон виробів [9].

Малі габарити і маса контрольованих об'єктів. Розглянутий метод застосований в основному до виробів, довжина і ширина яких вимірюються не менше ніж десятками міліметрів. Зі зменшенням габаритів і маси контрольованих об'єктів змінюються умови збудження ультразвукових коливань [9].

Розкриття дефекту. Високочастотні УЗ перетворювачі дозволяють виявити дефекти типу порушення цілісності (розшарування, непроклеї та ін.), що мають заповнений газом зазор. Дефекти без такого зазору зазвичай не виявляються, так як механічний зв'язок відокремленої дефектом зони з іншою частиною конструкції не зменшується і, отже, проходження УЗ хвиль і швидкість поширення істотно не змінюються [9].

Неконтрольовані зони: Дефект розташований на глибині, що перевищує граничну глибину залягання для даного методу і матеріалу [9].

У місцях, де неможливий доступ перетворювача до поверхні виробу внаслідок складної форми (переходи, кути, таври та ін.).

Для деталей РКТ з металевих матеріалів база даних дефектів, виявлених за допомогою неруйнівного контролю, представлена повністю, і її можна застосувати для прогнозування їх технічного стану. То становище з деталями РКТ з ПКМ значно складніше.

ПКМ зазвичай має тенденцію до розтріскування паралельно поверхні, під впливом тиску або внаслідок виробничих дефектів. Ці приховані внутрішні дефекти суттєво впливають на міцність конструкції і зазвичай виявляються в ході УЗК [9].

В даний час існує ряд імпортованих автоматизованих установок для проведення ультразвукового контролю конструкцій з полімерних композиційних матеріалів, таких як обладнання фірми «Теснатом» (Іспанія), що використовує тінювий та луна-метод з введенням ультразвукової хвилі через шар контактної рідини [5].

Федеральна державна автономна установа «Науково-навчальний центр зварювання та контролю» при «Московському державному технічному

університету ім. Н. Е. Баумана» веде розробку високопродуктивного роботизованого пристрою (сканер-дефектоскопа) для автоматизованого контролю, як при виробництві, так і при експлуатації деталей і агрегатів з ПКМ. Сканер-дефектоскоп здатний проводити ультразвуковий контроль деталей і агрегатів з монолітних панелей ПКМ товщиною до 24 мм, з чутливістю близько 8 мм діаметра еквівалентного дискового відбивача; деталей і агрегатів зі стільникових панелей товщиною до 80 мм з чутливістю 14 мм, а також конструкцій замкнутого контуру з товщиною стінки від 2 мм і можливістю ідентифікації дефектів діаметром близько 8 мм [5].

Результати досліджень. Незважаючи на високі показники достовірності і якості контролю, ручні дефектоскопи та автоматизовані прилади мають ряд обмежень:

- проблемне застосування стаціонарних установок при проведенні експлуатаційного контролю;
- недостатня інформативність результатів контролю з точки зору оцінки потенційної небезпеки виявлених дефектів (при проведенні експлуатаційного контролю);
- застосовується, як правило, спосіб введення пружних коливань з використанням контактних рідин.

Проблеми автоматизації ультразвукового методу НК, що володіє достоїнствами перед іншими методами при НК ПКМ, деталей РКТ недостатньо вивчені, що ускладнює застосування автоматизованого УЗК ПКМ в експлуатаційних умовах [2].

Через свою ламінарну структуру, склопластик має тенденцію до розтріскування паралельно поверхні, під впливом стресових впливів або внаслідок виробничих дефектів. Ці приховані внутрішні дефекти суттєво впливають на міцність конструкції.

Висновки. На відміну від застосування існуючого способу контролю представленого компанією Olympus, використання вітчизняних дефектоскопів значно здешевить затрати на обладнання, обслуговування та придбання комплектуючих матеріалів і перетворювачів. Використання прямого роздільно-суміщеного перетворювача на 5 МГц, дозволить відмовитись від спеціальних перетворювачей, які розроблені під конкретний тип дефектоскопу.

Таким чином, представлений спосіб із застосуванням будь-якого дефектоскопу вітчизняного виробника, разом з роздільно-суміщеним перетворювачем на 5 МГц, дозволяє проводити традиційний ручний ультразвуковий контроль

тонкостінних виробів з ПКМ, задля виявлення ламінарних тріщин в структурах зі склопластику, резервуарах, трубах, корпусах, лопатках турбін і т. ін. при односторонньому доступі поверхні об'єкту контролю. При автоматизації даного способу, значно пришвидшиться час контролю.

Рекомендації. На відміну від застосування існуючого способу контролю представленого компанією Olympus, представлений спосіб із застосуванням будь-якого дефектоскопу вітчизняного виробника, разом з роздільно-суміщеним перетворювачем на 5 МГц, дозволяє проводити традиційний ручний ультразвуковий контроль тонкостінних виробів з ПКМ, задля виявлення ламінарних тріщин в структурах зі склопластику, резервуарах, трубах, корпусах, лопатках турбін і т. ін. при односторонньому доступі поверхні об'єкту контролю, та значно здешевить проведення контролю.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Потапов О.М. Композиты: перспективы использования в космической и ракетной технике // О.М. Потапов / Косм. наука і технології. 2015, 21;(5). С. 69-74.
2. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов: ГОСТ 18353-79. – [Чинний від 1980-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 12 с.
3. Мартыненко Е.В. Неразрушающий контроль авиационной техники. – Москва – 2018 - с.5-27.
4. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 14, №4(2), - 2012 - с.744.
5. Карташова Е.Д. Технологические дефекты полимерных слоистых композиционных материалов. - Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2017.
6. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення: ДСТУ 2865-94. – [Чинний від 1996—01—01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 52 с. – (Національний стандарт України).
7. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения: ГОСТ 23829-85 – [Чинний від 1987-01- 01]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 16 с.
8. Ермолов И.Н., Ланге Ю.В. Неразрушающий контроль. Справочник в 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль. – М.: Машиностроение, 2004. С. 29-140.
9. Актуальные проблемы авиации и космонавтики – 2015. Том 2 с.78-79.
10. Алешин Н. П., Григорьев М. В., Щипаков Н. А. Инженерный вестник Современное оборудование и технологии неразрушающего контроля ПКМ - 2015 - с.536

11. Электронный ресурс. Режим доступа:
<https://www.olympus-ims.com/ru/laminar-cracking-in-fiberglass-1/>
12. Jess M. Waller and Regor L. Saulsbury NASA-JSC White Sands Test Facility «Development of Standards for Nondestructive Evaluation of COPVs Used in Aerospace Applications» S.2 - 2012
13. Троицкий В.А., Карманов М.Н., Троицкая Н.В. «Неразрушающий контроль качества композиционных материалов» - 2014.
14. Новости мира композитов и композитных структур. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://fea.ru/news/5900>
15. Препреги. Электронный ресурс. Режим доступа:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Препреги>
16. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы: Издательство Томского политехнического университета. –2013, с.10-11
17. Андреев И.Д., Лобанова И.С. Секция «Перспективные материалы и технологии»: Методы неразрушающего контроля изделий из полимерно композиционных материалов. – Томск, 2016

REFERENCES

1. Potapov O.M. Kompozity: perspektivy ispol'zovaniya v kosmicheskoy i raketnoj tekhnike // O.M. Potapov / Kosm. nauka i tekhnologii. 2015, 21;(5). S. 69-74
2. Kontrol' nerazrushayushchij. Klassifikaciya vidov i metodov: GOST 18353-79. – [CHinnij vid 1980-07-01]. – М.: Izd-vo standartov, 1994. – 12 s.
3. Martynenko E.V. Nerazrushayushchij kontrol' aviacionnoj tekhniki. – Moskva – 2018 - s.5-27
4. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, t. 14, №4(2), - 2012 - s.744
5. Kartashova E. D. Tekhnologicheskie defekty polimernyh sloistyh kompozicionnyh materialov. - Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki. – 2017.
6. Kontrol' nerujnivnij. Termini ta viznachennya: DSTU 2865-94. – [CHinnij vid 1996—01—01]. – К.: Derzhstandart Ukraïni, 1995. – 52 s. – (Nacional'nij standart Ukraïni).
7. Kontrol' nerazrushayushchij akusticheskij. Termini i opredeleniya: GOST 23829-85 – [CHinnij vid 1987-01- 01]. – М.: Izd-vo standartov, 1986. – 16 s.
8. Ermolov I.N., Lange YU.V. Nerazrushayushchij kontrol'. Spravochnik v 7 t. / Pod obshch. red. V.V. Klyueva. T. 3: Ul'trazvukovoj kontrol'. – М.: Mashinostroenie, 2004. S. 29-140.

9. Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki – 2015. Tom 2 s.78-79.
10. Aleshin N.P., Grigor'ev M.V., SHCHipakov N.A. Inzhenernyj vestnik Sovremennoe oborudovanie i tekhnologii nerazrushayushchego kontrolya PKM - 2015 - s.536.
11. laminar-cracking-in-fiberglass-1. Elektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://www.olympus-ims.com/ru/laminar-cracking-in-fiberglass-1/>
12. Jess M. Waller and Regor L. Saulsberry NASA-JSC White Sands Test Facility «Development of Standards for Nondestructive Evaluation of COPVs Used in Aerospace Applications» S.2 – 2012.
13. Troickij V.A., Karmanov M. N., Troickaya N.V. «Nerazrushayushchij kontrol' kachestva kompozicionnyh materialov» - 2014
14. Novosti mira kompozitov i kompozitnih struktur. Elektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://fea.ru/news/5900>
15. Prepregi. Elektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Prepregi>
16. L.I. Bondaletova, V.G. Bondaletov. Polimernye kompozicionnye materialy - Izdatel'stvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – 2013 – s.10-11.
17. I. D. Andreev, I. S. Lobanova Sekciya «Perspektivnye materialy i tekhnologii» - Metody nerazrushayushchego kontrolya izdelij iz polimerno kompozicionnyh materialov – Tomsk – 2016.

Received 18.03.2021.

Accepted 25.03.2021.

Ультразвуковий неруйнівний контроль якості виробів з полімерних композитних матеріалів ракетно-космічної техніки

Розвиток сучасної ракетно-космічної техніки (РКТ) характеризується постійним вдосконаленням: збільшенням швидкості, дальності і висоти польоту. Підвищення цих характеристик, шляхом модернізації, призвело до помітного ускладнення конструкції РКТ та її устаткування. До найбільш перспективних матеріалів для виготовлення конструкцій РКТ частіше використовують полімерні композиційні матеріали (ПКМ), які все частіше застосовують в сучасному машинобудуванні РКТ, особливо в тих випадках, коли жоден інший матеріал не відповідає новим вимогам. Контроль якості виробів РКТ залежить від визначення стану матеріалів, в цих об'єктах, як при виробництві, так і в умовах експлуатації, який необхідно проводити як в процесі виробництва (при відхиленні виробничих процесів можуть утворюватися різні види неоднорідності структури: пористість, сторонні включення, розшарування і тріщини), так і в процесі експлуатації. У полімерних композитних матеріалах РКТ, а саме для виявлення дефектів типу розшарування та тріщин використовують ультразвуковий неруйнівний контроль. Проведено аналіз щодо використання традиційного ультразвукового неруйнівного контролю за

допомогою портативного ультразвукового дефектоскопу з використанням високочастотних перетворювачів. Визначено, що для виявлення поздовжніх тріщин або розшарувань достатньо використовувати портативні ультразвукові дефектоскопи, але для більш надійного виявлення та реєстрації дефектів, повноти контролю слід використовувати автоматизовані системи ультразвукового контролю, що мають більшу чутливість та швидкість сканування, крім того дозволяють визначати розмір, площу та орієнтацію дефектних зон з можливістю побудови якісного зображення дефектної зони для подальшої оцінки працездатності всієї конструкції з ПКМ.

Ultrasonic non-destructive quality control of products made of polymeric composite materials rocket and space equipment

The development of modern rocket and space technology (RST) is characterized by constant improvement: increasing speed, range and altitude. Improving these characteristics, through modernization, has led to a significant complication of the design of RST and its equipment. Among the most promising materials for the manufacture of RST structures are more often used polymer composite materials (PCM), which are increasingly used in modern RST engineering, especially in cases where no other material meets the new requirements. Quality control of RST products depends on determining the condition of materials in these facilities, both in production and in operating conditions, which must be carried out both in the production process (with the deviation of production processes may form different types of structure heterogeneity: porosity, foreign inclusions, stratification and cracks) and during operation. In polymer composite materials RST, namely to detect defects such as delamination and cracks using ultrasonic non-destructive testing. An analysis of the use of traditional ultrasonic non-destructive testing using a portable ultrasonic flaw detector using high-frequency transducers. It has been determined that it is sufficient to use portable ultrasonic flaw detectors to detect longitudinal cracks or stratifications, but for more reliable detection and detection of defects, completeness of control should use automated ultrasonic control systems that have greater sensitivity and scanning speed. defective zones with the possibility of constructing a qualitative image of the defective zone for further assessment of the performance of the entire structure with PCM.

Клименко Світлана Володимирівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Україна.

Кисельов Павло Геннадійович – аспірант кафедри радіоелектронної автоматики фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара, Україна.

Кулик Олексій Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри технології виробництва фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, Україна.

Клименко Светлана Владимировна – к.т.н., доцент, доцент кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара, Украина.

Киселев Павел Геннадиевич - аспирант кафедры радиоэлектронной автоматики физико-технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара, Украина.

Кулик Алексей Владимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологии производства физико-технического факультета Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара, Украина.

Klymenko Svitlana – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor department of radioelectronics automated, faculty of physics and technology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.

Kiselyov Pavlo – graduate student of Department of radioelectronics automated, Faculty of Physics and Technology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.

Kulyk Oleksii – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor department of production technology, faculty of physics and technology, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine.

ЗМІСТ

CONTENTS

Гречаний А. Н., Васильченко Т. А., Власов А.Ф., Гузь Э. А., Цимахович Д.В.		Hrechanyi O., Vasilchenko T., Vlasov A., Huz A., Tsimakhovych D.	
Влияние параметров технологического процесса на коэффициент динамичности оборудования	3	Influence of technological process parameters on equipment dynamic factor	3
Бабаченко О.И., Кононенко Г.А., Клемешов Е.С., Подольський Р.В.		Babachenko O.I., Kononenko G.A., Klemeshov E.S., Podolskyi R.V.	
Разработка рекомендаций по скоростей охлаждения железнодорожных колес с применением моделирования в программном комплексе QForm VX 8.2 для формирования однородной феррито-перлитной структуры	13	Development of recommendations on cooling rates of railway wheels with the use of modeling in the software package QForm VX 8.2 for the formation of a homogeneous ferritic-perlite structure	13
Єршова Н.М., Вельмагіна Н.О.		Ershova N., Velmagina N.	
Модельовання і оптимізація параметрів процесу взаємодії трьох підприємств в єдиній виробничій системі	23	Simulation and optimization of interaction process parameters three enterprises in a single production system	23
Косолап А.И.		Kosolap A.I.	
Оценка численной эффективности методов глобальной оптимизации	31	Estimation of the numerical efficiency of global optimization methods	31
Хомченко А. Н., Литвиненко О.І., Дудченко О.М., Астіоненко І.О.		Khomchenko A.N., Litvinenko O.I., Dudchenko O.M., Astionenko I.O.	
Стереометрія стиснутих коноїдів та фізична адекватність базисів елемента Q8	40	Stereometry of compressed conoids and physical adequacy of Q8 element bases	40

Ясев О.Г.		Yasev A.G.	
Підвищення якості підготовки фахівців в області математичного моделювання	49	Improvement quality of preparation specialists in area of mathematical modeling	49
Мороз Д.М.		Moroz D.M.	
Дослідження впливу мережевого інтерфейсу на ефективність багатопроцесорної системи	56	Research of the influence of a network interface on the efficiency of modular multiprocessor systems	56
Тарасов В.П., Молодец Б.В., Буланая Т.М., Байбуз О.Г.		Tarasov V.P., Molodets B.V., Bulanaya T.M., Baybuz O.H.	
Анализ существующих технологий мониторинга воздуха	67	Analysis of existing air monitoring technologies	67
Швачич С.В., Буличев В.В., Терновая Е.В.		Shvachich S.V., Bulichev V.V., Ternovaya E.V.	
Оптимизация процессов теплообмена в контуре атомной электростанции с целью его повышения	79	Optimization of heat transfer processes in the circuit of a nuclear power plant with a view to increasing it	79
Зинченко М.Д., Потап О.Ю., Рыбальченко М.А., Маначин И.А.		Zinchenko M.D., Potap O.Y., Rybalchenko M.O., Manachin I.O.	
Модернизация лабораторного прокатного стана 150 для формирования у студентов навыков исследования объекта автоматизации	87	Modernization of the laboratory rolling mill 150 for the formation of students' skills in the study of the object of automation	87
Соловьева И.А., Николаенко Ю.Н.		Solovyova I., Nykolayenko Yu.	
Совершенствование методики и разработка программного обеспечения расчета маршрутов производства труб безоправочным волочением с учетом точности	99	Improvement of methodology and development of software calculation of routes production of pipes by sink drawing taking into account accuracy	99

Игнатъева В.Б.		Ihnatieva V.	
Систематизация научно-технической информации в электронных базах данных	107	Systematization of scientific and technical information in electronic databases	107
Гуда А.І., Зімогляд А.Ю.		Guda A.I., Zimoglyad A.Yu.	
Новий підхід до підвищення ефективності step-up перетворювача	117	New approach for the step-up converter efficiency increasing	117
Гавриленко А.В., Дворник В.А.		Gavrylenko O.V., Dvornyk V.A.	
Применение методов кластеризации для определения сфер деятельности кандидатов при подборе кадров для ИТ-компаний	126	Application of clustering methods to determine the areas of activity of candidates in recruitment for IT-companies	126
Клименко С.В.		Klimenko S.V.	
Киселев П.Г., Кулик А.В.		Kiselyov P.G., Kulyk O.V.	
Ультразвуковой неразрушающий контроль качества изделий из полимерных композитных материалов ракетно-космической техники	135	Ultrasonic non-destructive quality control of products made of polymer composite materials of rocket and space technology	135

РЕФЕРАТИ

УДК 621.771.22

Гречаний А. Н., Васильченко Т. А., Власов А.Ф., Гузь Э. А., Цимахович Д.В. **Влияние параметров технологического процесса на коэффициент динамичности оборудования** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.3 - 11.

Установлено влияние изменения технологических режимов прокатки на динамическую нагрузку моталок прокатных станов. Исследовано изменение коэффициента динамичности для разных толщин наматываемой полосы. Даны рекомендации по оптимальной толщине намотки полосы с точки зрения динамической нагрузки на узлы барабанной моталки.

Библ. 12, ил. 2, табл. 0.

УДК 621.771.294.003.12 (043): 629.4.001.86

Бабаченко О.И., Кононенко Г.А., Клемешов Е.С., Подольський Р.В. **Разработка рекомендаций по скоростям охлаждения железнодорожных колес с применением моделирования в программном комплексе qform vx 8.2 для формирования однородной феррито-перлитной структуры** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.13 - 22.

Было применено моделирование в программном комплексе QForm VX 8.2, в результате была разработана модель, для адаптации которой использовали результаты эксперимента. Подтвердили высокую сходимость результатов расчета и эксперимента. Разработанная модель может быть использована для построения термокинетических диаграмм при непрерывном охлаждении и для разработки рекомендаций по режимов термической обработки.

Библ. 4, илл.5.

УДК 65.012.32:517.977.1

Єршова Н.М., Вельмагіна Н.О. **Моделювання і оптимізація параметрів процесу взаємодії трьох підприємств в єдиній виробничій системі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.23 - 30.

В статті наведено методика проектування процесу взаємодії трьох підприємств в єдиній виробничій системі. Матричним методом динамічного програмування встановлені розрахункові формули для параметрів проектування: частки потоку валової продукції, яка направляється підприємствами на розвиток власного виробництва. В якості критерію оптимальності прийнятий квадратичний функціонал, фізичний сенс якого - витрати грошових коштів на підтримку стабільного функціонування процесу. При цьому кінцева продукція виробничої системи, що направляється на зовнішнє споживання повинна бути максимальна. Створено програмний продукт і отримано оптимальне рішення. Виконано моделювання в системі моделювання MBTP 3.7 процесу взаємодії трьох підприємств для трьох варіантів. Варіант з оптимальними параметрами проектування забезпечує збільшення виробничої потужності підприємств і відповідає області раціональних значень часток проміжної продукції підприємств, що встановлена шляхом моделювання.

Бібл. 8.

УДК 519.893

Косолап А.И. **Оценка численной эффективности методов глобальной оптимизации** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.31 - 39.

В данной статье мы анализируем тестовые задачи глобальной оптимизации на численную эффективность методов их решения. Автор предлагает модификации этих тестовых задач, которые упростят проверку численной эффективности методов. Проведено сравнение существующих методов глобальной оптимизации с методом точной квадратичной регуляризации, предложенным автором. Этот метод показал наилучшие результаты при решении большинства тестовых задач. В частности, лучшие решения были получены для тестовых задач с неизвестными решениями. Этот метод позволяет решать мультимодальные задачи большой размерности и для его реализации требуется только программа локального поиска.

Библ. 5, табл. 2.

УДК 519.65

Хомченко А. Н., Литвиненко О.І., Дудченко О.М., Астіоненко І.О. **Стереометрія стиснутих коноїдів та фізична адекватність базисів елемента Q8** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.40 - 48.

Розглядаються нові моделі базисів серендипових скінченних елементів Q8. За останні роки бібліотека серендипових скінченних елементів суттєво поповнилася нестандартними (альтернативними) моделями. Були встановлені причини неадекватності спектра і запропоновані "рецепти" усунення цього недоліку стандартних серендипових моделей. Нові підходи до моделювання базисів за допомогою ієрархічних форм змушують відмовитись від коноїдів – лінійчатих поверхонь, які асоціюються із проміжними вузлами стандартних елементів. Нові дослідження показують, що відмовлятися від коноїдів не обов'язково. Показано, як шляхом стиснення поверхні коноїда можна отримати математично обґрунтований і фізично адекватний спектр вузлових навантажень.

Бібл. 14, іл. 4.

UDC 669.02.001.57 (007)

Ясев О.Г. **Підвищення якості підготовки фахівців в області математичного моделювання** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.49 - 55.

Запропоновано методологію навчання, яка забезпечує досягнення більш глибокого та повного уявлення щодо сутті математичного моделювання технічних об'єктів. Позитивні результати отримані завдяки використанню метода, який було створено.

Бібл. 4.

УДК 004.032.24

Мороз Д.М. **Дослідження впливу мережевого інтерфейсу на ефективність багатопроцесорної системи** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.56 - 66.

Стаття присвячена розвитку підходу до визначення методології оцінки ефективності модульних багатопроцесорних обчислювальних систем. При цьому основна увага приділяється особливостям впливу на значення даного параметра мережевого інтерфейсу. Проведено аналіз формування архітектури мережевого інтерфейсу багатопроцесорної системи та основних режимів її роботи. Для оцінки процесів, що відбуваються в системі при передачі інформаційних потоків, проводилося порівняння пропускної здатності мережевої системи та пропускної здатності комутаторів, що дозволило визначити передумови для оптимального вибору компонентів мережевого інтерфейсу багатопроцесорної обчислювальної системи. Проведені дослідження також дозволили вивести аналітичні співвідношення для визначення оптимальної кількості вузлів системи з різними режимами функціонування. Показано, що обмін мережевими даними між вузлами багатопроцесорної обчислювальної системи уповільнює загальний процес обчислень.

Бібл. 9, іл. 2.

УДК 004.021

Тарасов В.П., Молодец Б.В., Буланая Т.М., Байбуз О.Г. **Анализ существующих технологий мониторинга воздуха** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.67 - 78.

Рассматриваются виды мониторинга состояния воздуха. Проведено описание существующих стандартов оценки качества воздуха - индекса качества воздуха. На примере европейского индекса качества воздуха и индексом качества по стандарту ЕРА описали ранжированием влияния состояния воздуха на здоровье человека и факторами, влияющими на ее значение.

Библ. 13, табл. 4.

УДК 666.1.002.5

Швачич С.В., Буличев В.В., Терновая Е.В. **Оптимизация процессов теплообмена в контуре атомной электростанции с целью его повышения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.79 - 86.

Актуальность работы обусловлена истощением запасов традиционных видов топлива и ростом нагрузки на биосферу за счет выбросов при сжигании угля, нефти и газа. Для решения этих проблем является развитие ядерной энергетики. Поэтому целью данной работы является оптимизация процессов теплообмена во втором контуре атомной электростанции. В работе рассмотрены меры по оптимизации процессов теплообмена в тепловой схеме второго контура АЭС для повышения энергетических показателей. В частности, предложен реагент, который удаляет соли жесткости на стенках теплообменного оборудования. В ходе работы решена за-

дача по оптимизации движения теплоносителей в промежуточных теплообменниках для повышения энергоэффективности энергетического оборудования.

Библ. 3., илл. 1.

УДК 681.532.1

Зинченко М.Д., Потап О.Ю., Рыбальченко М.А., Маначин И.А. **Модернизация лабораторного прокатного стана 150 для формирования у студентов навыков исследования объекта автоматизации** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.87 - 98.

Выполнена модернизация лабораторного прокатного стана 150 для выполнения студентами исследований состояния как объекта автоматизации. Дополнительно на нажимное устройство были установлены редуктор с двигателем переменного тока, фотоимпульсный датчик положения нажимных винтов, месдозы. Для управления двигателем применили панель оператора HMI DOP-103BQ, частотной преобразователь MS-300с встроенным ПЛК. Разработанное программное обеспечение для панели оператора и ПЛК обеспечило перемещения нажимных винтов в заданное положение с требуемой точностью. Для исследования процесса прокатки разработано программное обеспечение, которое осуществляет измерение силы прокатки, электрических параметров двигателя прокатной клетки и отображение on-line измеряемых параметров на экране монитора. Измеряемые параметры сохраняются и могут быть конвертированы в Excel-файлы.

Библ.3, ил. 6, табл. 4.

УДК 621.774.35

Соловьева И.А., Николаенко Ю.Н. **Совершенствование методики и разработка программного обеспечения расчета маршрутов производства труб безоправочным волочением с учетом точности** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.99 - 106.

Приведены примеры исследования прогнозирования разностенности и определения толщины стенки заготовки для получения трубы определенного размера, что способствует повышению точности труб из углеродистых марок сталей при проектировании маршрутов производства. Выполнен корреляционно-регрессионный анализ, определены факторы, влияющие на изменение разностенности и построены регрессионные модели. Результаты анализа дополнили программное обеспечение определения размеров заготовки при проектировании маршрутов волочения углеродных холоднодеформированных труб безоправочным волочением.

Библ. 3, рис. 4

УДК 004.65; 001.92

Игнатъева В.Б. **Систематизация научно-технической информации в электронных базах данных** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.107 - 116.

Проведен анализ рассмотренных вопросов, посвященных проблеме соблюдения прав авторов при систематизации информации в электронных ресурсах. Проанализировано ис-

пользование научно-технической информации организациями при размещении ее в электронных базах данных. Выявлены нарушения, которые допускаются организациями. Предложен алгоритм систематизации научно-технической информации в электронных базах данных. Разработанный алгоритм позволяет организациям размещать объекты авторского права в своих электронных базах данных без нарушения прав авторов.

Библ. 7, илл. 2.

UDC 681.518

Гуда А.І., Зімогляд А.Ю. **Новий підхід до підвищення ефективності step-up перетворювача** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.117 - 125.

Ця стаття присвячена проблемі створення ефективних технологій перетворення енергії. Запропоновано новий підхід до живлення драйвера затворного перетворювача. Проведено експериментальні та чисельні дослідження нового методу. Результати дають нам хороше підтвердження нових схемних переваг та обмежень використання. Розглядаються різні потоки втрат потужності.

Библ: 9, илл: 7

УДК 004.912

Гавриленко А.В., Дворник В.А. **Применение методов кластеризации для определения сфер деятельности кандидатов при подборе кадров для ИТ-компаний** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.126 - 134.

В данной статье рассмотрена проблема подбора кадров для ИТ-компаний. Рассмотрено практическое применение методов кластеризации на примере задачи определения сфер деятельности кандидатов и подбора резюме на определенную вакансию при подборе кадров для ИТ-компаний. Приведены постановку задачи. Определено, к которым моделей сводятся исследуемые проблемные ситуации, а также, какие методы могут быть применены к решению поставленной задачи. Приведен обзор известных решений, также освещены преимущества и недостатки выбранного метода. Приведены пример определения количества оптимальных кластеров для заданного набора резюме.

Лит. 6, илл. 2.

УДК 678.5.05: 004.925.8

Клименко С.В. Киселев П.Г., Кулик А.В. **Ультразвуковой неразрушающий контроль качества изделий из полимерных композитных материалов ракетно-космической техники** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 3 (134). - Днепр, 2021. - С.135 - 148.

Рассмотрен способ традиционного ультразвукового контроля изделий ракетно-космической техники, изготовленных из полимерных композитных материалов. Предлагается использовать вместо специализированного оборудования дефектоскоп отечественного производства с высокочастотным раздельно-совмещенным преобразователем. Представленный способ позволяет выявлять ламинарные трещины в структурах из стеклопластика, резервуарах, трубах, корпусах, лопатках турбин при одностороннем доступе поверхности объекта контроля.

Библ. 17, рис. 3.

UDK 621.771.22

Hrechanyi O., Vasilchenko T., Vlasov A., Huz A., Tsimakhovych D. **Influence of technological process parameters on equipment dynamic factor** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.3 – 11.

The influence of changing the technological modes of rolling on the dynamic load of the coilers of rolling mills has been established. Investigated the change in the coefficient of dynamism for different thicknesses of the wound strip. Recommendations are given on the optimal thickness of strip winding from the point of view of the dynamic load on the drum coiler units.

Ref. 12, fig. 2, tab. 0.

UDC 621.771.294.003.12 (043): 629.4.001.86

Babachenko O.I., Kononenko G.A., Klemeshov E.S., Podolskyi R.V. **Development of recommendations on cooling rates of railway wheels with the use of modeling in the software package qform vx 8.2 for the formation of a homogeneous ferritic-perlite structure** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.13 – 22.

Simulation was applied in the software package QForm VX 8.2, as a result, a model was developed, for the adaptation of which the results of the experiment were used. Confirmed the high convergence of the results of the calculation and the experiment. The developed model can be used to construct thermokinetic diagrams under continuous cooling and to develop recommendations for heat treatment modes.

Ref. 4, Ill.5.

UDC 65.012.32:517.977.1

Ershova N., Velmagina N. **Simulation and optimization of interaction process parameters three enterprises in a single production system** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.23 – 30.

The article presents a method of designing the process of interaction of three enterprises in a single production system. The matrix method of dynamic programming establishes calculation formulas for design parameters: the share of the flow of gross output, which is sent by enterprises for the development of their own production. The quadratic functional is accepted as a criterion of optimality, the physical meaning of which is the expenditure of funds to support the stable functioning of the process. In this case, the final product of the production system, sent to external consumption should be maximum. The software product is created and the optimum decision is received. Modeling in the modeling system of MVTP 3.7 of the process of interaction of three enterprises for three variants is performed. The option with optimal design parameters provides an increase in the production capacity of enterprises and corresponds to the area of rational values of the shares of intermediate products of enterprises, which is established by modeling.

Ref. 8.

UDC 519.893

Kosolap A.I. **Estimation of the numerical efficiency of global optimization methods** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.31 – 39.

In this paper, we analyze global optimization test problems for the numerical efficiency of methods for their solution. The author proposes modifications of these test problems that will simplify the verification of the numerical efficiency of the methods. The existing global optimization methods were compared with the exact quadratic regularization method proposed by the author. This method has shown the best results in solving most of the test problems. In particular, the best solutions were obtained for test problems with unknown solutions. This method allows solving the multimodal problems of large dimensions and requires only a local search program for its implementation.

Ref. 5, tabl. 2.

UDC 519.65

Khomchenko A.N., Litvinenko, O.I., Dudchenko O.M., Astionenko I.O. **Stereometry of compressed conoids and physical adequacy of Q8 element bases** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.40 – 48.

The paper considers new models of bases of serendipity finite elements (FE) Q8. In recent years, the library of serendipity finite elements has been significantly replenished with non-standard (alternative) models. The reasons for the inadequacy of the spectrum were identified and "recipes" were proposed to eliminate this shortcoming of standard serendipity models. New approaches to modeling bases with the help of hierarchical forms force to abandon conoids - linear surfaces that are associated with intermediate nodes of standard elements. Therefore, research is being conducted today, and it is not necessary to give up conoids. The paper shows how by compressing the surface of the conoid it is possible to obtain a mathematically sound and physically adequate spectrum of nodal loads.

Bibl.14, illustr. 4.

UDC 669.02.001.57 (007)

Yasev A.G. **Improvement quality of preparation specialists in area of mathematical modeling** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.49 – 55.

Methodology of study, that provides a receipt of the deeper and complete understanding of essence of mathematical modeling of technical objects is offered. Positive results are achieved by using method which is proposed.

Bibl. 4.

UDC 004.032.24

Moroz D.M. **Research of the influence of a network interface on the efficiency of modular multiprocessor systems** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.56 – 66.

The paper is devoted to the approach development related to methodology definition for evaluation of the modular multiprocessor computing systems efficiency. At the same time, the main attention is focused on the impact peculiarities on this network interface value. The

formation analysis of the multiprocessor system network interface architecture and the basic modes of its operation have been analyzed. To evaluate the processes occurring in the system during the information flows transmission, the network system bandwidth and the switch throughput were compared; which allowed determining the preconditions for optimal components selection of the multiprocessor computing system network interface. The performed researches also allowed deducing analytical relations for determining the optimal number of system nodes with different functioning modes. The selected processors coherency coefficient, network interface and value of the computing area are deduced. The derived analytical relationships also showed that the optimal number of blades in a multiprocessor computing system, that provide its highest speed, decreases with increasing computing power of the processors included. It is shown that the network data interchange among the multiprocessor computing system nodes the more likely to impede the overall computation process; the less time will be spent directly on solving a specific problem.

Bibl. 9, il. 2.

UDC 004.021

Tarasov V.P., Molodets B.V., Bulanaya T.M., Baybuz O.H. **Analysis of existing air monitoring technologies** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.67 – 78.

The types of air condition monitoring are considered. Existing standards for assessing air quality was described - the air quality index. Ranking of the impact of air condition on human health and the factors affecting its value were described using European Air Quality Index and the quality index according to the EPA standard.

Bible 13, tab 4.

UDC 666.1.002.5

Shvachich S.V., Bulichev V.V., Ternovaya E.V. **Optimization of heat transfer processes in the circuit of a nuclear power plant with a view to increasing it** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.79 – 86.

The relevance of the work is due to the depletion of reserves of traditional fuels and an increase in the load on the biosphere due to emissions from the combustion of coal, oil and gas. To solve these problems is the development of nuclear power. Therefore, the purpose of this work is to optimize the heat transfer processes in the second loop of a nuclear power plant. The paper considers measures to optimize heat exchange processes in the thermal circuit of the second circuit of a nuclear power plant to increase energy performance. In particular, a reagent is proposed that removes hardness salts on the walls of heat exchange equipment. In the course of the work, the problem was solved to optimize the movement of heat carriers in intermediate heat exchangers to increase the energy efficiency of power equipment.

Bibl. 3., il. 1.

UDC 681.532.1

Zinchenko M.D., Potap O.Y., Rybalchenko M.O., Manachin I.O. **Modernization of the laboratory rolling mill 150 for the formation of students' skills in the study of the object of automation** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.87 – 98.

Modernization of the laboratory rolling mill 150 was performed for students to perform research of the mill as an object of automation. In addition, a reducer with an AC motor, a photopulse sensor for the position of the thrust screws, and a mesodose were installed on the pressure device. To control the motor used the operator panel HMI DOP-103BQ, a frequency converter MS-300 with a built-in PLC. Developed software for the operator panel and the PLC provided the movement of the thumbscrews in the rear position with the required accuracy. To study the rolling process, software has been developed that measures the rolling force, electrical parameters of the rolling stand motor and displays the on-line measured parameters on the monitor screen. The measured parameters are saved and can be converted into Exel files.

Bibl. 3, ill. 6, table 4.

UDC 621.774.35

Solovyova I., Nykolayenko Yu. **Improvement of methodology and development of software calculation of routes production of pipes by sink drawing taking into account accuracy** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.99 – 106.

Examples of research on predicting the difference in wall thickness and determining the wall thickness of the workpiece to obtain a pipe of a certain size are given, which contributes to an increase in the accuracy of pipes from carbon steel grades when designing technological routes. Correlation and regression analysis was performed, factors influencing the change in wall thickness were determined, and regression models were constructed. The results of the analysis supplemented the software for determining the size of the workpiece when designing routes for drawing carbon cold-formed pipes by sink drawing.

Bibl. 3, ill. 4.

UDC 004.65: 001.92

Ihnatieva V. **Systematization of scientific and technical information in electronic databases** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.107 – 116.

The analysis of the considered questions devoted to a problem of observance of the rights of authors at systematization of the information in electronic resources is carried out. The use of scientific and technical information by organizations when placing it in electronic databases is analyzed. Violations committed by organizations have been identified. An algorithm for systematizing scientific and technical information in electronic databases is proposed. The developed algorithm allows organizations to place copyright objects in their electronic databases without violating copyright.

Bible 7, ill. 2.

UDC 681.518

Guda A.I., Zimoglyad A.Yu. **New approach for the step-up converter efficiency increasing** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.117 – 125.

This paper is devoted to the problem of efficient power conversion technologies creation. New approach for step-up converter gate driver powering is proposed. Experimental and numerical researches for new method were conducted. Results give us both good confirmation of the new schematic advantages and usage limitations. Different power loss streams are considered.

Refs: 9, ill: 7.

UDC 004.912

Gavrylenko O.V., Dvornyk V.A. **Application of clustering methods to determine the areas of activity of candidates in recruitment for IT-companies** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.126 – 134.

This article discusses the problem of recruitment for IT-companies. Was given the practical application of clustering methods on the example of the problem of determining the areas of activity of candidates and the selection of resumes for a particular vacancy in the selection of personnel for IT companies. The statement of the problem is given. Was determined to which models the researched problem situations are reduced, and what methods can be applied to the solution of the set task. An overview of known solutions is given, as well as the advantages and disadvantages of the chosen method. An example of determining the number of optimal clusters is given.

Bibl. 6, ill. 2.

UDC 678.5.05: 004.925.8

Klimenko S.V. Kiselyov P.G., Kulyk O.V. **Ultrasonic non-destructive quality control of products made of polymer composite materials of rocket and space technology** // System technologies. N 3(134) - Dnipro, 2021.- P.135 – 148.

The method of traditional ultrasonic control of rocket and space technology products made of polymer composite materials is considered. It is proposed to use instead of specialized equipment a flaw detector of domestic production with a high-frequency split-combined transducer. The presented method allows to detect laminar cracks in fiberglass structures, tanks, pipes, housings, turbine blades with one-way access to the surface of the object of control

Bibl. 17, ill. 3.

Системні технології
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 3 (134)

Головний редактор: к.т.н., доц. Т.В. Селівьорстова

Технічний редактор та секретар збірки: к.т.н., доц. К.Ю. Островська

Здано до набору 24.03.2021. Підписано до друку 26.03.2021.

Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.

Умов. друк арк. – 11,357. Обл.-видавн. арк. – 09,938.

Тираж 300 прим. Замовл. – 03/21

Національна металургійна академія України,
кафедра Інформаційних технологій та систем: ІВК «Системні технології»
49600, Дніпро, а/с 493
<http://st.nmetau.edu.ua>

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:

Серія КВ № 8684 від 23 квітня 2004 рік

Редакційна колегія

Селівьорстова Тетяна Віталіївна
(*головний редактор*)

доцент, кандидат технічних наук

Алпатов Анатолій Петрович

Член-кореспондент НАН України,
професор, доктор технічних наук

Архипов Олександр Євгенійович

професор, доктор технічних наук

Бабічев Сергій Анатолійович

доцент, доктор технічних наук

Білозьоров Василь Євгенович

професор,

доктор фізико-математичних наук

Гече Федір Елемирович

професор, доктор технічних наук

Гуда Антон Ігорович

(*заст. головного редактора*)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Вікторія Володимирівна

(*вчений секретар*)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Володимир Володимирович

професор, доктор технічних наук

Гожий Олександр Петрович

професор, доктор технічних наук

Єрьомін Олександр Олегович

професор, доктор технічних наук

Кіріченко Людмила Олегівна

професор, доктор технічних наук

Світличний Дмитро Святозарович

професор, доктор технічних наук

Скалозуб Владислав Васильович

професор, доктор технічних наук

Хандецький Володимир Сергійович

професор, доктор технічних наук

Національна металургійна
академія України, Україна

Інститут технічної механіки
НАНУ і ДКАУ, Україна

Національний технічний університет
України «Київський політехнічний інститут»
імені Ігоря Сікорського», Україна

Jan Evangelista Purkyně University
in Ústí nad Labem

Університет імені Яна Євангеліста Пуркіне,
Усті над Лабем, Чеська Республіка

Дніпровський національний університет
імені Олеса Гончара, Україна

Ужгородський національний університет,
Україна

Національна металургійна
академія України, Україна

Національна металургійна
академія України, Україна

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», Україна

Чорноморський національний університет
імені П.Могили, Україна

Національна металургійна
академія України, Україна

Харківський національний університет
радіоелектроніки, Україна

Akademia Górniczo-Hutnicza

Краківська гірничо-металургійна академія
ім. С. Сташца, Польща

Дніпропетровський національний
університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна, Україна

Дніпровський національний університет
імені Олеса Гончара, Україна