

**МАТЕРІАЛИ
Всеукраїнської
науково-методичної конференції**

**ПРОБЛЕМИ
МАТЕМАТИЧНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ**

Кам'янське
22-24 травня 2024 р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський державний технічний університет

ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції
(22 - 24 травня 2024 року, м. Кам'янське)

(Поз. № 1095 плану проведення наукових конференцій з проблем вищої освіти і
науки в системі МОНУ на 2024 рік)

Кам'янське

ДДТУ

2024

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова організаційного комітету:

Віталій ГУЛЯЄВ, д.т.н., професор, ректор ДДТУ

Заступники голови організаційного комітету:

Іван КАРИМОВ, к. ф.-м. н., доцент, завідувач кафедри математичного моделювання та системного аналізу ДДТУ

Сергій Самохвалов, д.т.н., професор, старший науковий співробітник ІЧМ НАНУ

Члени організаційного комітету:

Анатолій ПАСІЧНИК, д. ф.-м. н., професор, професор кафедри математичного моделювання та системного аналізу ДДТУ

Вікторія СТРОЄВА, к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедри математичного моделювання та системного аналізу ДДТУ

Тетяна НАДРИГАЙЛО, к. т. н., доцент, доцент кафедри математичного моделювання та системного аналізу ДДТУ

Жанна ХУДА, к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедри математичного моделювання та системного аналізу ДДТУ

Учений секретар:

Наталія ВОЛОСОВА к.т.н., доцент, доцент кафедри математичного моделювання та системного аналізу ДДТУ

Проблеми математичного моделювання: матеріали Всеукр. наук.-метод. конф., 22-24 трав. 2024 р. Кам'янське: ДДТУ, 2024, 163 с.

У збірнику надруковано матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції, яка відбулася 22-24 травня 2024 р. у Дніпровському державному технічному університеті.

Для студентів, аспірантів, викладачів, вчених ВНЗів та наукових закладів.

Секція 1

МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

К. техн. н. Дерезь О.Л., д. техн. н. Садовой О.В., асп. Дерезь С.О.

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗОВАНОГО ЗА ШВИДКОДІЄЮ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В УМОВАХ ВАРІЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ

Однією з вимог до систем керування електроприводами є оптимальність за швидкодією. Згідно з методом N-і перемикань, при синтезі оптимальних регуляторів приймається допущення про сталість ривка на інтервалах стабілізації напруги. Воно є дуже продуктивним, але в дійсності не виконується. Це спричиняє відхилення руху систем керування електроприводами від розрахункових траєкторій [1, 2]. Такі системи не можна вважати строго оптимальними за швидкодією без додаткової корекції.

Система диференціальних рівнянь динаміки електропривода постійного струму з транзисторним перетворювачем [1] має вигляд

$$\left. \begin{aligned} p\omega &= \frac{c}{J} \cdot (i - i_c) \\ pi &= \frac{u - R \cdot i - c \cdot \omega}{L} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де ω - кутова швидкість валу, $k_p, R, L, J, c = k\Phi$ - параметри електропривода. i - струм якоря, u - напруга, $p = d/dt$ - символ диференціювання.

Для побудови оптимальної за швидкодією системи керування необхідно застосувати [2] каскад релейних регуляторів

$$\left. \begin{aligned} u_{R\omega} &= \varepsilon^* = \varepsilon_{max} \cdot \text{sign}(\omega^* - \omega - K_{\omega\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{R\varepsilon} &= u^* = u_{max} \cdot \text{sign}(\varepsilon^* - \varepsilon) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де ε, a - відповідно кутові прискорення та ривок, символом «*» позначено задані значення, індексами «max» позначено рівні обмеження; $K_{\omega\varepsilon}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку, $u_{R\omega}, u_{R\varepsilon}$ – сигнали регуляторів.

Параметричний синтез регуляторів (2) здійснюється за формулами

$$\varepsilon_{max} = \frac{c}{J} \cdot i_{max}, a_{max} = \frac{c}{J} \cdot \frac{1}{L} \cdot u_{max}, K_{\omega\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{max}}{2 \cdot a_{max}}. \quad (3)$$

Звернемося до об'єкта керування (1) з такими параметрами й рівнями обмеження проміжних координат:

$$R = 1 \text{ Ом}, c = 4 \text{ В} \cdot \text{с}, L = 0,1 \text{ Гн}, J = 0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \omega_n = 50 \text{ с}^{-1}, \quad (4)$$

$$i_n = 20 \text{ А}, u_n = 220 \text{ В}, i_{max} = 2 \cdot i_n, u_{max} = 1,3 \cdot u_n.$$

які визначають коефіцієнт зворотного зв'язку регулятора швидкості.

Виконаємо емпіричний пошук оптимальних налаштувань регуляторів (2). Не маючи змоги змінювати фактичне значення u_{max} , виконаємо серію чисельних експериментів з варіюванням *розрахункових* значень амплітуди напруги [2] під час обчислень $K_{\omega\varepsilon}$. Для зручності задаватимемо значення напруги за допомогою коефіцієнта розрахункової напруги K_u

$$u_{max} = K_u \cdot u_{max0}, \quad (5)$$

де u_{max} – розрахункова амплітуда напруги у поточному експерименті, u_{max0} – базове значення амплітуди, встановлене в (3).

На рис.1 наведені результати побудови сімейства перехідних функцій $\omega(t)$, отримані в результаті чотирьох серій експериментів для випадків розгону при варіюванні напруги відповідно до вказаних значень K_u , а саме

а: $\omega^* = \omega_n$, значення K_u 1)0,5; 2)0,7; 3)1,7; 4)2,4; 5)3,0;

б: $\omega^* = 0,3 \cdot \omega_n$, значення K_u 1)0,5; 2)0,7; 3)1,7; 4)2,4; 5)3,0;

в: $\omega^* = 0,1 \cdot \omega_n$, значення K_u 1)0,7; 2)0,85; 3)1,1; 4)1,2; 5)1,4;

г: $\omega^* = 0,01 \cdot \omega_n$, значення K_u 1)0,7; 2)0,85; 3)1,1; 4)1,2; 5)1,4;

з перерахунком a_{max} та $K_{\omega\epsilon}$ за формулами (3). Діаграми на рис.1 з більш високим розташуванням відповідають більшим номерам варіантів налаштування. Ці діаграми демонструють розбіжність на кінцевій стадії розгону, яка виникає через зсув моментів початку ковзання регулятора R_{ω} .

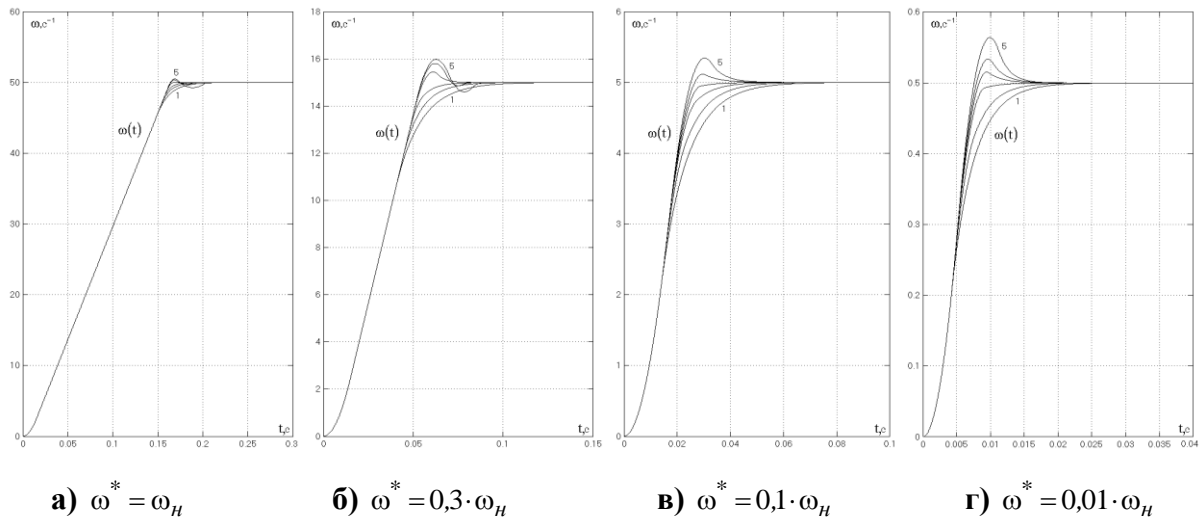


Рис. 1. Сімейства перехідних характеристик

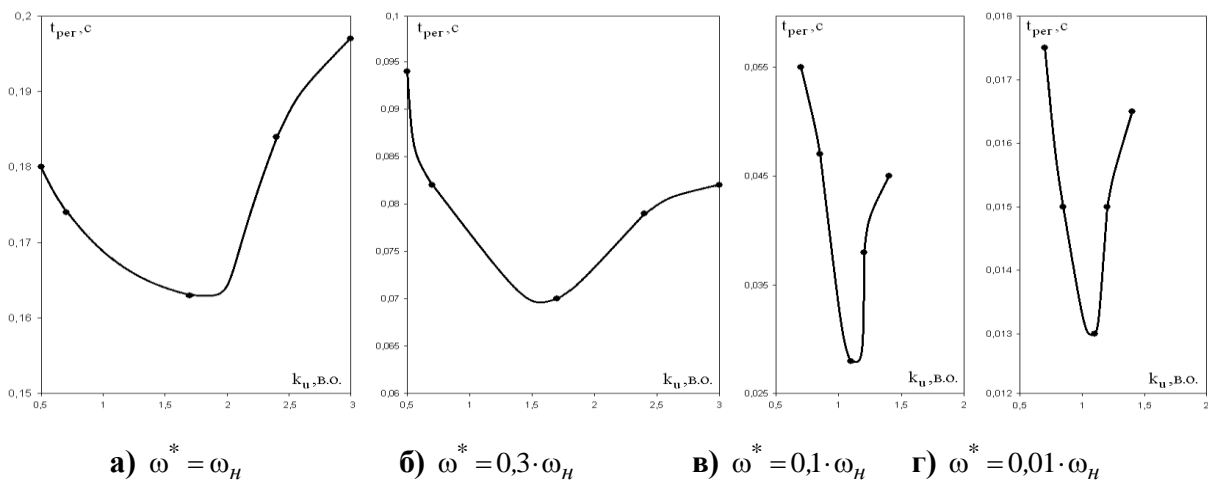


Рис. 2. Залежність тривалості регулювання від коефіцієнта розрахункової напруги

Залежності $t_{рег}$ від коефіцієнта розрахункової напруги K_u (рис. 2) мають виражений екстремум, який не відповідає базовому значенню варійованого параметра. Цей факт вказує на можливість розробки методів корекції налаштувань електропривода з метою його ефективної оптимізації.

Список використаних джерел

1. Садовой О. В. Спеціальні питання математичного опису і моделювання динаміки складних систем : навчальний посібник / О. В. Садовой, О.Л. Дерещь. – Дніпродзержинськ : ДДТУ. – 2014. – 206 с.
2. Дерещь О. Л. Метод N-і перемикачів у задачах оптимізації за швидкістю : монографія / О.Л. Дерещь, О. В. Садовой. – Кам'янське : ДДТУ. – 2021. – 252 с.

К. техн. н. Дерещь О.Л., д. техн. н. Садовой О.В., асп. Дерещь С.О.

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

СИНТЕЗ СИСТЕМ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ ІЗ АПЕРІОДИЧНИМ ВХОДЖЕННЯМ У КОВЗНИЙ РЕЖИМОМ

До позиційних електроприводів висуваються достатньо жорсткі вимоги не лише стосовно точності відтворення заданого положення, але й до якості перехідних процесів [1]. Зокрема, разом з вимогами забезпечення високої точності та максимальної при заданих обмеженнях швидкодії [2], типовою задачею проектування таких систем є обов'язкове формування перехідних процесів з аперіодичним характером. Видозміна форми оптимальної за швидкістю перехідної траєкторії, яка залежить від величини задаючого впливу [1, 2], здатна забезпечити аперіодизацію ковзних режимів при усіх формах перехідних траєкторій, застосовуваних в рамках методу N-і перемикачів.

Система диференціальних рівнянь динаміки позиційного електропривода постійного струму має вигляд

$$\left. \begin{aligned} p\varphi = \omega, \quad p\omega = \varepsilon = \frac{k_p \cdot c}{J} \cdot (i - i_c) \\ p\varepsilon = a = \frac{k_p \cdot c}{J} \cdot \frac{u - R \cdot i - c \cdot \omega}{L} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де $\varphi, \omega, \varepsilon, a$ - відповідно кутові положення, швидкість, прискорення та ривок виконавчого валу, u - напруга перетворювача; $k_p, R, L, J, c = k\Phi$ - параметри електропривода.

Метод N-і перемикачів [2] дозволяє виконати для електромеханічної системи (1) параметричний синтез каскаду релейних регуляторів

$$\left. \begin{aligned} u_{R\varphi} = \omega^* &= \omega_{max} \cdot \text{sign}(\varphi^* - \varphi - K_{\varphi\omega} \cdot \omega - K_{\varphi\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{R\omega} = \varepsilon^* &= \varepsilon_{max} \cdot \text{sign}(\omega^* - \omega - K_{\omega\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{R\varepsilon} = u^* &= u_{max} \cdot \text{sign}(\varepsilon^* - \varepsilon) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де $K_{\varphi\omega}, K_{\varphi\varepsilon}, K_{\omega\varepsilon}$ - коефіцієнти зворотних зв'язків; символом $*$ позначено задані значення відповідних змінних, як вхідної, так і формованих регуляторами для підпорядкованих їм контурів; індексами «max» позначено рівні обмеження координат стану.

Вирази для коефіцієнтів зворотних зв'язків є функціями рівнів обмеження канонічних координат $\omega_{max}, \varepsilon_{max}, a_{max}$

$$K_{\varphi\omega} = \frac{\omega_{max}}{2 \cdot \varepsilon_{max}} + \frac{\varepsilon_{max}}{2 \cdot a_{max}}, \quad K_{\varphi\varepsilon} = \frac{\omega_{max}}{4 \cdot a_{max}} + \frac{\varepsilon_{max}^2}{12 \cdot a_{max}^2}, \quad K_{\omega\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{max}}{2 \cdot a_{max}}. \quad (3)$$

До використання формул (3) разом з алгоритмом корекції рівнів обмежень [2] зводиться математичний апарат даного методу. Опис ковзного руху регулятора R_φ рівнянням зниженого порядку має вигляд

$$K_{\varphi\varepsilon} \cdot p^2 + K_{\varphi\omega} \cdot p + 1 = 0. \quad (4)$$

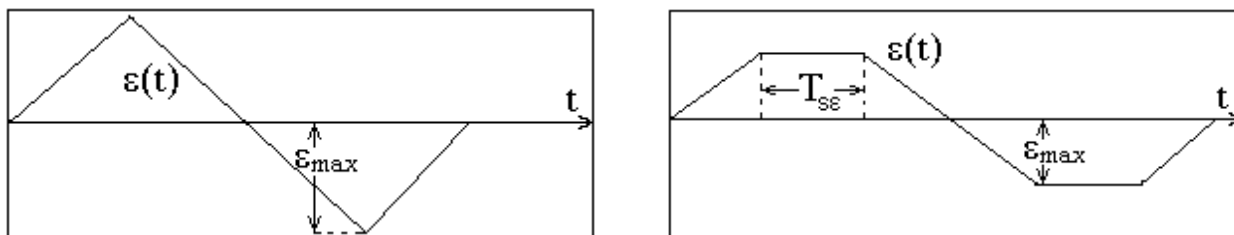
У результаті аналізу його коренів

$$p_{1,2} = \frac{-K_{\varphi\omega}}{2 \cdot K_{\varphi\varepsilon}} \pm \frac{\sqrt{K_{\varphi\omega}^2 - 4 \cdot K_{\varphi\varepsilon}}}{2 \cdot K_{\varphi\varepsilon}} \quad (5)$$

доведено [1], що при налаштуванні на оптимальні за швидкістю перехідні процеси корені (5) можуть мати комплексно-сполучені значення. Це зумовлює коливальність руху систем в малому околі точки рівноваги як у самому

ковзному режимі, так і при входженні до нього на кінцевій стадії перехідного процесу. Такий характер руху спричиняє перерегулювання за положенням, яке є неприпустимим. Названі обставини роблять актуальною модифікацію процедури синтезу алгоритмів керування (2) в контексті використаного методу в напрямку забезпечення чисто дійсних значень коренів (5) рівняння ковзання (4) регулятора положення [1].

Завдяки закладеному у методі N-і перемикач зв'язку коефіцієнтів (3) з формою перехідної траєкторії можна гарантувати аперіодичне входження систем у ковзний режим за рахунок деформації оптимальної за швидкодією форми діаграми прискорення, яка є трикутною (рис.1, а), до трапецієподібної форми (рис.1, б). Така корекція виконується [2] без зміни аналітичних виразів коефіцієнтів зворотних зв'язків. Для її здійснення вводиться понижуючий коефіцієнт для максимального прискорення, який дорівнює $k_a = \sqrt{2\sqrt{3}-3}$.



а) трикутна

б) трапецієвидна

Рис. 1. До порівняння форми розрахункових діаграм прискорення

Рівні обмеження, розраховані за формулами

$$\varepsilon_{max} \leq \sqrt{2\sqrt{3}-3} \cdot \sqrt{\omega_{max} \cdot a_{max}}, \quad \omega_{max} = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{3}}{8} a_{max} |\varphi^*|^2}. \quad (6)$$

забезпечують аперіодизацію ковзного режиму R_φ ціною збільшення на 8% тривалості режиму великих відхилень у порівнянні з оптимальним за швидкодією процесом [2]. Таке уповільнення руху цілком компенсується відсутністю перерегулювання на кінцевій стадії перехідного процесу.

Список використаних джерел

1. Садовой О. В. Спеціальні питання математичного опису і моделювання динаміки складних систем : навчальний посібник / О. В. Садовой, О.Л. Дерезь. – Дніпродзержинськ : ДДТУ. – 2014. – 206 с.
2. Дерезь О. Л. Метод N–і перемикань у задачах оптимізації за швидкодією : монографія / О.Л. Дерезь, О. В. Садовой. – Кам'янське : ДДТУ. – 2021. – 252 с.

К. техн. н. Костиря М.В.¹, д. хім. н. Кошель М.Д.¹, Костиря В.В.²

¹Інститут транспортних систем і технологій НАН України

²Інститут геотехнічної механіки НАН України

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СТРУМОУТВОРЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПОРИСТИХ ОКСИДНО- НІКЕЛЕВИХ ЕЛЕКТРОДІВ

Аналіз публікацій, присвячених розвитку теоретичних представлень про роботу оксидно-нікелевого електрода (ОНЕ) лужних акумуляторів і технологій його виготовлення показує, що актуальність цієї проблеми пов'язана з постійним удосконалюванням лужних акумуляторів і розширенням спектра практичного застосування оксидно-нікелевих електродів, а підвищення експлуатаційних характеристик ОНЕ в цьому випадку є однією з головних завдань.

Для побудови будь-яких математичних моделей хімічних джерел струму необхідними елементами є рівняння кінетики електродних процесів. Вони мають вигляд локальної поляризаційної характеристики $E(i, \tau)$ на малій однорідній ділянці поверхні електрода.

Математична модель кінетики процесу на твердофазному електроді $E(i, \tau)$ повинна враховувати розмір часток, питому електропровідність, коефіцієнт дифузії рухливого компонента в кристалічних ґратах. Деякі параметри можуть змінюватися залежно від ступеня зарядженості активної речовини. Така

кінетична модель є нестационарною й досить складною. Вона може бути вирішена тільки чисельними методами.

У цьому повідомленні представлена математична модель твердофазних зарядно-розрядних процесів на окисно-нікелевому електроді, у якій потенціал електрода представляється як функція ступеня зарядженості поверхневого шару частки активної речовини ONE $\text{NiOOH}/\text{Ni}(\text{OH})_2$. Він містить у собі термодинамічну складову, концентраційну й активаційну поляризації й омичне спадання напруги в трикомпонентній системі, що складається з окисленої (NiOOH) і відновленої ($\text{Ni}(\text{OH})_2$) форм активної речовини й міжшарової води, через яку частково мігрують іони водню. В основу моделі покладене термодинамічне уявлення про активність протонів і протонних вакансій у кристалічних ґратах і введено поняття коефіцієнтів активності обох часток, за змістом близьке до запропонованого Льюїсом для розчинів. Електрохімічний процес розглядається для одиничної частки у вигляді плоского кристала заданої товщини (рис. 1). Протонні потоки в обох напрямках проходять через границю з розчином, тильна площина, що паралельна робочій грані, є електронним контактом.

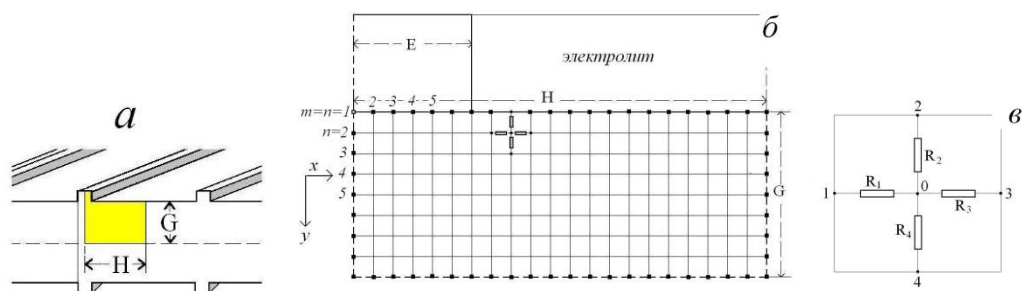


Рис. 1. Модель пористої електрода (а), фрагмент плоскої моделі, що повторюється електрода (б) і елемент сіткової двовимірної моделі фази активної речовини (в)

Стан кристала описується одномірним рівнянням нестационарного переносу протонів механізмами дифузії й електроміграції. Враховується залежність коефіцієнта активності протонів, коефіцієнта дифузії й питомого опору твердої фази від ступеня зарядженості, що змінюється по глибині кристала. Кінцевим рішенням математичної моделі локальної кінетики є

динаміка зміни поверхневої активності протонів (ступеня зарядженості), що визначає миттєві значення кінетичних параметрів процесу (рис. 2).

Сформульована в такий спосіб кінетична модель була використана для моделювання електрохімічних процесів ОНЕ в гальваностатичному режимі й у режимі циклічної вольтамперометрії з лінійним розгорненням потенціалу. Як приклад, на рис. 3 наведені циклічні вольтамперограми (ВА-грами) ОНЕ для двох циклів, на рис. 4 – ВА-грами при різних значеннях питомого опору активної речовини NiOOH.

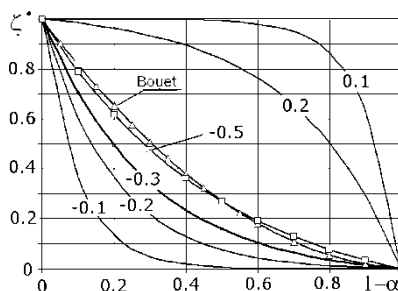


Рис. 2. Залежність коефіцієнта активності протонів від ступеня розрядженості активної речовини $1-\alpha$ Числа на кривих – значення коефіцієнта α

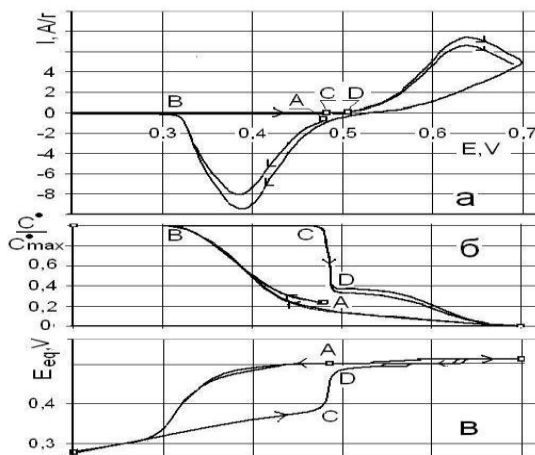


Рис. 3. Розрахована ВА-грама електрода (а), залежність від потенціалу відносної поверхневої концентрації протонів (б) і динамічного рівноважного потенціалу (в)

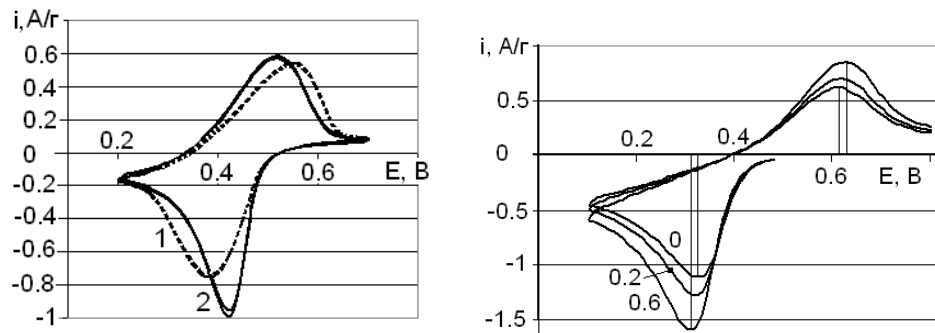


Рис. 4. Циклічні ВА-грами при значеннях питомого опору NiOOH 10 (1) і 5000 (2) Ом·см

Результати, одержувані шляхом обробки експериментальних даних на запропонованій математичній моделі, є певною мірою умовними. Проте, математичну модель загалом можна використовувати для перевірки правильності окремих гіпотез.

**Professor Kruglyak I.V., Ph.D., associate Professor Sereda D.B.,
postgraduate student Orel V.G., postgraduate student Zuzin E.P.**

Dnipro State Technical University

MODELING IMPROVING THE THERMAL STABILITY OF CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIALS USING FUNCTIONALLY ACTIVE CHARGES

The practical use of carbon-carbon composite materials (CCCM) in high-temperature processes is greatly restricted because they are highly vulnerable to oxidation, erosion, and burn-up when exposed to gas streams. To address these issues, it is crucial to create effective protective coatings for CCCM to improve their performance and prolong their lifespan. Refractory compounds, especially carbides, borides, nitrides, and silicides, along with their alloys, have demonstrated potential as promising materials for protective coatings.

To identify compositions of powder functionally active charges (FAC) mixtures that provide high wear resistance, a full-factor experiment was conducted. The optimization parameters considered were the indicators of heat resistance for the Cr-Al-Si and Cr-Al-Ti systems. The selection of the optimum mixture composition for conducting FAC processes in the conditions of thermal autoignition was based on the results of studying the thermal profile of the FAC process and the physical and mechanical properties of the protective coatings [9].

The independent variables chosen for the experiment were the content of the chromium component, silicon, titanium, and aluminum in the FAC mixture. Steel 50 was chosen as the starting material, and J_2 and NH_4F were used as process activators for all systems.

To achieve a 100% composition of powdered FAC mixtures, Al_2O_3 was utilized as the final product. Regression analysis was conducted to establish equations representing the dependence of the wear resistance of protective coatings on the regime of thermal autoignition and the content of alloying elements. The resulting equations were as follows:

$$Y_1 = 60,311 - 0,6X_1 + 4,1X_2 - 0,6X_3 + 0,1111X_1^2 - 3,3889X_2^2 + 4,1111X_3^2 + 2,375X_1X_3 + 0,375X_1X_3 + 2,125X_2X_3$$

$$Y_2 = 61,356 - X_1 + 3,6X_2 - 0,1X_3 + 0,5556X_1^2 - 4,4444X_2^2 + 4,0556X_3^2 + 1,25X_1X_2 + 0,75X_1X_3 + 1,5X_2X_3$$

The adequacy of the models was assessed, and it was found that they can be used to predict the values of the response functions for any values of the factors between the upper and lower levels.

For the tests on the heat resistance of protective coatings, flat samples of CCCM with dimensions of thickness = 3 mm, length = 30 mm, and width = 20 mm were utilized. The tests were conducted at temperatures ranging from 900°C to 1100°C in an electric muffle furnace. The test samples were weighed every 5 hours of testing using analytical scales VLR-200 with an accuracy of 10^{-4} g. The total test time was

25 hours. To lower the temperatures that develop during reduction reactions, a "ballast" additive, such as aluminum oxide Al_2O_3 , is introduced into the FAC-charges. The amount of the ballast admixture is determined from the heat balance equation, considering factors like the heat capacity of the mixture at the reaction initiation temperature, the heat released during reduction reactions, the heat used to heat the SHS charge, and thermal losses. X-ray structural and metallographic analysis of coatings on CCCM revealed that the protective coating consists of two zones: the inner one containing titanium carbide and the outer zone, the composition of which depends on the choice of alloying elements in the FAC charge. For instance, when doping with titanium, the protective coating consists of a carbide phase of TiC and phases: Al_2Cr_3 , CrAl_2 , TiAl.

Doping with silicon, and titanium leads to a change in the thickness of the coating. For example, at a process temperature of 1000°C and a holding time of 30 minutes, the largest thickness is observed when doping with boron, and the smallest when doping with titanium, which can be explained by a different gradient of chemical potential, in agreement with thermodynamic calculations. According to X-ray structural analysis, the silicon-doped coating on steel 50 consists of alloyed phases: $(\text{Fe,Cr})_{23}\text{C}_6$, $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$, Fe_3Al , $(\text{Fe,Cr})_3\text{Si}$, and zones α -solid solution of Cr, Al, Si, and Fe .

PhD Nadryhailo T., postgraduate Morhun Y.

Dniprovsky State Technical University

METAL REFINING METHODS TO OPTIMIZATION PRODUCTION AND IMPROVEMENT OF STEEL QUALITY

Metal refining process is an important component of steel production aimed at improving product quality and optimizing manufacturing processes. This process involves several stages aimed at removing unwanted impurities and restoring the necessary characteristics of the metal.

One of the main methods of steel refining is the converter process, such as the oxygen blowing process. During this process, oxygen is blown through molten metal, allowing for oxidation and removal of excess impurities such as carbon, sulfur, phosphorus, and silicon. This process enhances the quality of steel, reduces the content of harmful impurities, and allows for control of the composition and properties of the final product.

Another method is the electrolysis method, which is used in electrolytic refining. In this process, the metal is immersed in a bath of electrolyte, where electrolysis takes place, helping to remove unwanted impurities from the molten metal. This method is particularly effective for removing excess carbon and other easily oxidizable impurities [1].

Additional refining methods include metal alloying, where special additives are added to the molten metal to improve its properties, as well as vacuum refining, which allows for the removal of gaseous impurities and the production of high-quality steel [2].

Overall, the metal refining process plays a key role in steel production, allowing for the enhancement of product quality and the optimization of manufacturing processes for more efficient production.

References

1. Mondol S.Sh. A Review of Steelmaking Technologies / International Journal of Science and Research (IJSR), Vol. 5 Issue 2, February 2016, pp. 283-286.
2. <https://obrobka.pp.ua/1845-proces-leguvannya.html>

Д.ф.-м.н. Пасічник А. М., к.ф.-м.н. Худа Ж.В.,

магістр. Балясний О.М.

Дніпровський державний технічний університет

РОЗВ'ЯЗАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ ПАРАЛЕЛЬНОГО УПОРЯДКУВАННЯ З АНОМАЛЬНИМИ ВИПАДКАМИ

Успішне вирішення задач дискретної оптимізації має надзвичайно важливе значення для підвищення ефективності виробничої діяльності сучасних підприємств. Задачі такого класу зустрічаються в багатьох галузях і є достатньо різноманітними: від проектування логістичних ланцюгів поставок до побудови оптимальних маршрутів руху транспорту. Одними з актуальних задач цього класу є задачі паралельного упорядкування.

Однією із проблем при розв'язанні задач дискретної оптимізації є наявність в них аномальних ситуацій. Тобто таких випадків, коли зміна вхідних параметрів задачі, що з логічних міркувань повинна покращувати оптимальне значення цільової функції, або принаймні не погіршувати його, призводить до зворотного ефекту. Наприклад у задачах паралельного упорядкування це збільшення загального часу виконання за умови зменшення часів виконання окремих задач, або наявність в орієнтованому графі транзитивних, неінформативних дуг, які впливають на оптимальність розв'язку, отриманого за деяким алгоритмом.

Часові аномалії в задачах побудови паралельних упорядкувань є однією із найцікавіших та найменш досліджених областей теорії упорядкувань.

Зараз питання вивчення аномалій є дуже актуальним, так як наявність аномалій того чи іншого роду робить важчим проведення аналізу часу виконання набору завдань для цих задач. Основна ідея такого аналізу полягає в тому, що прогнозований час може використовуватись для побудови паралельного упорядкування цих завдань (визначення схеми їх виконання), а

також для загального аналізу можливості побудови упорядкування для цих завдань таким чином, щоб часові обмеження були виконані.

Можна виділити чотири типи часових аномалій:

- аномалія зміни списку пріоритетів (при зміні списку пріоритетів загальний час виконання завдань збільшується, в той час, як очікується, що він залишиться незмінним);
- аномалія послаблення відношень часткового порядку (при видаленні однієї або декількох дуг із орієнтованого графа $G = \{V, U\}$ загальний час виконання завдань збільшується, в той час, як очікується його зменшення);
- аномалія зменшення часу виконання завдань (при зменшенні часу виконання одного або декількох завдань, загальний час виконання завдань збільшується, в той час, як очікується його зменшення);
- аномалія збільшення кількості виконавців (при збільшенні кількості виконавців загальний час виконання завдань збільшується в той час, як очікується його зменшення).

Узагальнене паралельне упорядкування, побудоване до зміни початкових параметрів задачі, будемо вважати початковим упорядкуванням. В графі наявна аномалія, якщо після зміни вхідних параметрів задачі довжина отриманого упорядкування більше довжини початкового упорядкування.

У задачі, що розглядається, можна виділити такі вхідні параметри:

- орієнтований граф $G = \{V, U\}$, що задає зв'язки між вершинами;
- h - ширина упорядкування, що будується;
- $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$ – ваги вершин;
- L – список пріоритетів.

Отриманим результатом в задачі, що розглядається, виступає значення цільової функції, тобто довжина побудованого паралельного упорядкування.

Відповідно, можна виділити такі покращення для параметрів, які б могли призвести до зменшення оптимального значення цільової функції:

- видалення дуги із орієнтованого графа $G = \{V, U\}$;
- збільшення ширини h упорядкування, що будується;

– зменшення ваг всіх вершин $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$, або ваги деякої кількості вершин.

Ці зміни вхідних параметрів призводять до трьох основних типів аномалій: аномалії видалення дуги, аномалії збільшення ширини та аномалії зменшення ваг вершин. Ці аномалії об'єднує одна суттєва деталь: бажаний порядок додавання вершин до упорядкування (списку пріоритетів) залишається незмінним, а отже і сама довжина упорядкування не має збільшитись.

Ймовірність появи аномалій ускладнює розв'язання задачі побудови узагальненого паралельного упорядкування, адже неможливо заздалегідь визначити чи не погіршить розв'язок заплановане покращення вхідних параметрів, пов'язане на практиці із певними витратами.

Таким чином, постає питання розробки методів, що дозволять уникнути виникнення аномалій або спрогнозувати ймовірність їх появи лише за вхідними параметрами задачі.

Одним із методів уникнення аномалій, що використовуються при розв'язанні таких задач, є застосування алгоритмів, що виправляють аномалію під час побудови паралельних упорядкувань. Основним недоліком таких алгоритмів є те, що більшість з них тісно пов'язані з архітектурою процесору, для якого розробляється такий алгоритм, та специфікою задачі, що розглядається.

Інший метод уникнення аномалій базується на використанні певної модифікації алгоритму направленої перебору. Але такі алгоритми мають експонентну складність, що обтяжує їх застосування для практичних задач великої розмірності.

В розглянутому випадку для зменшення негативного впливу аномалій пропонується використовувати перевірку необхідних умов наявності аномалій в задачі. Метод полягає в тому, що перед зміною будь-яких початкових параметрів задачі проводиться перевірка умов виникнення таких аномалій. При виконанні умови відсутності аномалій реалізується алгоритм покращення розв'язку задачі.

В протилежному випадку коли зміна вхідних параметрів задачі призводить до появи аномалії, то така зміна вхідних параметрів задачі або не проводиться, або, у випадку коли така зміна необхідна, після неї використовуються відомі алгоритми, що дозволяють зменшити негативний вплив аномалій в процесі розв'язання задачі.

Список використаних джерел

1. Glover, F., Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. - Glover, F. - Computers & Operations Research, 13, 1986: 533-549.
2. Beltran, J.D., Calderon, J.E., Cabrera, R.J., Moreno-Perez, J.A., Moreno-Vega, J.M., GRASP/VNS hybrid for the strip packing Problem. - Beltran, J.D., Calderon, J.E., Cabrera, R.J., Moreno-Perez, J.A., Moreno-Vega, J.M. - Proceedings of the First International Workshop on Hybrid Metaheuristics, Valencia, Spain, 2004: 22-23.

К. техн. н. Сасов О.О., магістр Свистун А.М.

Дніпровський державний технічний університет

МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ НА МАРШРУТАХ

Підвищити ефективність роботи пасажирської транспортної мережі у міжпіковий період можливо шляхом переходу від інтервальної роботи в години пік на роботу за розкладом в моменти спаду пасажиропотоку. Робота автобусів по розкладу при низькій частоті їх руху дає скорочення часу пасажирів в очікуванні посадки, збільшення коефіцієнта наповнення. Проте, до наступного часу відсутня науково-обґрунтована методика визначення моменту переходу з інтервальної форми руху автобусів на маршруті перевезень на організацію руху за розкладом і навпаки.

Задача складається у визначенні кількості транспортних засобів (інтервалу руху), необхідних для засвоєння існуючого у місті пасажиропотоку, а також виборі форми роботи автобусів (за розкладом або інтервалом). Така задача вирішується при переході від позапікових періодів до пікових і назад.

Пропонується у якості цільової функції визначення моменту зміни форми руху прийняти сумарні витрати, які включають транспортні втрати від зниження завантаження транспортної системи, і витрати пасажирів, які пов'язані з очікуванням поїздки і витрат перевізника, обумовлених організацією процесу перевезення за різними формами роботи.

Залежність, що дозволяє зробити вибір на користь того чи іншого засобу організації роботи автобусів на лінії, виглядає таким чином:

$$Q_n t_{\text{оч.р}} S_{\text{ч.п}} + \frac{A_p \cdot l_o}{t_o} \cdot S_{\text{пер.а}} + A_p \cdot C_{\text{пв}} + (A_m - A_p) \cdot C_{\text{пв}} \leq \\ \leq Q_n t_{\text{оч.і}} S_{\text{ч.п}} + \frac{A_i \cdot l_o}{t_o} \cdot S_{\text{пер.а}} + A_i \cdot C_{\text{пв}} + (A_m - A_i) \cdot C_{\text{пв}} \quad (1)$$

де Q_n – обсяг попиту на перевезення на найбільш завантаженій ділянці маршруту, пас; $t_{\text{оч.р}}, t_{\text{оч.і}}$ – відповідно середній час очікування пасажиром посадки при роботі за розкладом і інтервалом, год; A_p, A_i – відповідно кількість автобусів, які працюють за розкладом і інтервалом; A_m – розрахункова кількість транспортних засобів, для роботи на маршруті з урахуванням резерву; l_o – довжина оборотного рейсу, км.; t_o – час обороту на маршруті, год; $S_{\text{оп}}$ – вартість однієї пасажиро-години очікування посадки, грн; $C_{\text{пв}}$ – постійні витрати, які приходяться на годину роботи автобуса, грн/год; $C_{\text{п.п.}}$ – постійні витрати, які приходяться на годину простоювання автобуса без роботи, грн/год; $S_{\text{пер.а}}$ – змінні витрати, які приходяться на 1 км. пробігу автобуса при роботі на маршруті, грн/км;

Кількість автобусів, необхідних для перевезення певного обсягу пасажиропотоку, розраховується за формулою

$$A_m = \frac{Q_{\text{п}} \cdot t_o}{q_n \cdot \gamma} = \frac{t_o}{I}, \quad (2)$$

де q_n – пасажиромісткість автобуса; γ – коефіцієнт використання пасажиромісткості; t_o – час обороту автобуса на маршруті; I – інтервал руху автобусів на маршруті.

Час очікування при організації роботі за інтервалом визначається за формулою

$$t_{оч.і} = \frac{I_{\Phi}}{2} = \frac{I + \sigma_I^2 / I}{2} = \frac{I}{2} + \frac{\sigma_I^2}{2 \cdot I} \quad (3)$$

В результаті математичних перетворень, отримано вираз

$$Q_n(t_{оч.р} S_{чп} + \frac{l_o}{q_p \cdot \gamma_p} \cdot S_{пер.а} + \frac{t_o}{q_p \cdot \gamma_p} \cdot C_{пв}) + (A_M - \frac{Q_n \cdot t_o}{q_p \cdot \gamma_p}) \cdot C_{пш} \leq \\ \leq Q_n((\frac{I}{2} + \frac{\sigma_I^2}{2 \cdot I}) \cdot S_{оп} + \frac{l_o}{q_i \cdot \gamma_i} \cdot S_{пер.а} + \frac{t_o}{q_i \cdot \gamma_i} \cdot C_{пв}) + (A_M - \frac{Q_n \cdot t_o}{q_i \cdot \gamma_i}) \cdot C_{пш} \quad (4)$$

де γ_i, γ_p – відповідно коефіцієнт використання пасажиромісткості при роботі по інтервалу i за розкладом; q_i, q_p – відповідно місткість автобусів, працюючих по інтервалу i за розкладом.

Ліва частина нерівності відображає суму витрат пасажирів, пов'язані з очікуванням посадки, у вартісному вигляді, а також витрати перевізника на організацію руху на маршруті по розкладу, а права частина – по інтервалу. Час очікування посадки при роботі за розкладом на маршруті визначається статистичними методами. Якщо ліва частина нерівності менше правої, то доцільна форма організації руху автобусів за розкладом, у протилежному випадку ефективна робота автобусів буде по інтервалу. Якщо обидві частини нерівності дорівнюють одна іншій, тоді різниці у формі організації автобусів на маршруті не буде.

Таким чином, можливо встановити умову для вибору оптимальної форми організації роботи на маршруті. При цьому забезпечується відповідність провізних можливостей (автобусів певної пасажиромісткості, які повинні забезпечувати високу якість перевезення пасажирів як у години найбільшого завантаження мережі, так і у міжпіковий період) пасажирського транспорту попиту, який сформувався.

При виборі автобусів необхідної місткості для певного маршруту, враховуються наступні фактори:

- 1) потужність пасажиропотоку в одному напрямку на найбільш завантаженій ділянці в години „пік”;
- 2) нерівномірність розподілення пасажиропотоків по годинам доби і ділянцям маршруту;
- 3) доцільний інтервал рух автобусів по годинам доби;
- 4) дорожні умови руху автобуса і пропускна спроможність вулиць;
- 5) провізна можливість, тобто максимальна кількість пасажирів, яка може бути перевезене автобусами за 1 годину в одному напрямку;
- 6) собівартість автобусних перевезень.

Використання автобусів малої місткості при великій потужності пасажиропотоків збільшує необхідну кількість автобусів і водіїв, а також підвищує завантаження вулиць. Навпаки, експлуатація автобусів великої місткості на напрямках з пасажиропотоком малої потужності приводить до дуже довгих інтервалів руху, до надмірних витрат часу пасажирями на очікування автобусів і у зв'язку з цим до великих незручностей для населення.

Doctor of Technical Sciences Sereda B.P.,

postgraduate student Udod A.M.

Dnipro State Technical University

THERMODYNAMIC MODELING OF PROTECTIVE CHROME COATINGS ON ELASTOMERIC MATERIALS

In modern industry of production of rubber-technical products for rocket-space technology, the problem of providing high strength and durability of protective coatings used on parts of press tooling is urgent. One of the main factors affecting the mechanical properties and durability of coatings is residual stresses arising in the process of self-propagating high-temperature synthesis (SHS).

Residual stresses can have both positive and negative effects on the adhesion and durability of coatings, depending on their magnitude and distribution. Therefore,

it is necessary to study in more depth the relationship between the formation of residual stresses and the mechanical properties of coatings on press tooling in order to develop methods to optimize the application process and improve the quality of the resulting protective coatings.

Rubber-based composites may prove to be competitive and eventually replace traditional materials in a number of applications, as there are many advantages to using these materials. For example, rubber-based composites often have a lower density than traditional materials such as metals. This leads to a reduction in the weight of products, which is important in a variety of industries where lightness is a key characteristic. Rubber composites are characterized by shock absorption, flexibility, and elasticity, which make them capable of handling dynamic loads and adapting to various forms of deformation without losing structural properties. Compared to metals, rubber composites can be less susceptible to corrosion, making them more durable and less costly to maintain in some operating conditions. The ability of rubber to insulate thermally makes them attractive for applications in construction and other industries where thermal insulation is important.

However, it is important to take into account limitations and challenges, such as limited strength compared to metals, possible problems with heat dissipation at high temperatures, and the cost of producing and processing rubber composites. The growth in demand for these materials will depend on technological development, solving these problems and increasing their competitiveness in the market.

By analyzing the reaction products, we can create a model of the process of formation of protective coatings under SHS conditions. Based on calculations of adiabatic combustion temperatures of SHS systems, we can solve the heat balance equation for the systems under consideration.

Mixtures of powders with different dispersions from 60 to 250 μm were used to apply protective coatings on steel samples such as steel 45, U8, 40X and 40X16M.

Characteristically, in the temperature range of 400-1600 K the share of condensed phase decreases due to vaporization of the carriers used. Simultaneously,

starting from the temperature of 800 K, the decomposition of reaction products occurs, which indicates the appearance of decomposition products and a sharp increase in the number of gas molecules.

Gaseous products interact with elements of the powder system (Al, Ti, Cr), transferring them to the gas phase (AlJ, AlJ₂, AlCl, AlCl₂, CrCl₂, CrF, CrF₂, CrF₄, TiCl₂, TiCl₃, TiCl₄ etc.). At temperatures above 800 K, the fraction of condensed phase practically does not change, indicating that reactions with the release of condensed phase in the range of 800-1600 K without changing the number of molecules, which is characteristic of decomposition, disproportionation or exchange reactions with the substrate, which is the essence of chemical transport of elements.

Residual stresses appear after SHS treatment under conditions of thermal self-ignition of SHS charges. At the fifth stage of the SHS process, during cooling, residual compressive stresses appear as a result of the elastic interaction of the alloy titanium coating and the structural material, which have different sizes and coefficients of thermal expansion.

**Ph.D., associate Professor Sereda D.B., postgraduate student Bilozor I.V.,
postgraduate student Kiforuk D.M.**

Dnipro State Technical University

MATHEMATICAL MODELING OF GAS PHASE COMPOSITION IN FUNCTIONALLY ACTIVE CHARGES

The practical application of carbon-carbon composite materials (CCCM) in high-temperature processes is severely limited by their tendency to oxidation, erosion and burnout in gas streams. To overcome these challenges, it is crucial to develop effective protective coatings for CCCM to improve their performance and increase their service life. Refractory compounds such as carbides, borides, nitrides and silicides and their alloys have proven to be promising materials for protective

coatings. In addition to oxidation resistance, protective coatings made of refractory compounds have high hardness and exceptional wear resistance. These characteristics make them effective in protecting CCCM from high temperatures and aggressive environments. Research is focused on determining the optimal parameters and methods for obtaining protective coatings for CCCM to increase their heat resistance and service life in high-temperature conditions. The main objectives of the study are the development of functionally active charges (FAC) for the creation of alloyed chrome protective coatings that provide optimal resistance to oxidation, erosion, and the effects of gas flows. Various coating methods, such as chemical-thermal treatment and liquid-phase saturation, were analyzed to determine their effectiveness and impact on the mechanical properties of the material.

The selected independent variables for the experiment were the chromium, silicon, titanium and aluminum content of the FAC mixture. CCCM was chosen as the starting material and J_2 and NH_4F were used as process activators for all systems. It was observed that the introduction of more than 5% of gas transport agent into the mixture resulted in significant distortion of the sample surface, while less than 1% did not activate all gas transport reactions. The research findings and their subsequent discussion were pivotal. Analyzing the reactions occurring in non-stationary temperature conditions, coupled with experimental results and metallographic studies, led to the formulation of a scheme for developing protective coatings. The process of forming such coatings under thermal autoignition conditions can be delineated into five distinct stages: inert heating of the FAC mixture to the autoignition temperature, thermal autoignition, heating of the parts, isothermal aging, and cooling.

To achieve a 100% composition of powdered FAC mixtures, Al_2O_3 was utilized as the final product. Regression analysis was conducted to establish equations representing the dependency of wear resistance of protective coatings on the regime of thermal autoignition and the content of alloying elements. The resulting equations are as follows:

$$X = 89,4 - 1,9X_1 + 4,8X_2 - 6,6X_3 - 5,5X_1^2 + 6X_2^2 - 4X_3^2 + 0,75X_1X_3 - 0,25X_1X_3 - 0,75X_2X_3$$

The adequacy of the models was assessed, revealing their capability to predict response function values across a wide range of factor values. This ensures their applicability for predicting responses within the specified upper and lower level bounds. The main element of all heat-resistant coatings is aluminum, which is used to form a protective $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ oxide membranes. In diffusion coatings, the aluminum content is usually at the level of 15... 25%. This aluminum content ensures the formation of an $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ oxide membranes during oxidation. The second most important component of the coatings is chromium, which ensures the formation of the $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ membranes. The chromium content in high-temperature coatings is usually 7...20%. Compared to coatings produced under isothermal conditions, the heat resistance of alloyed produced using FAC higher, which can also be explained by the higher concentration of chromium, aluminum, silicon, and titanium, which contribute to the formation of protective oxide membranes SiO_2 , TiO_2 , Cr_2O_3 , Al_2O_3 .

Silicon is of great importance, as it is introduced to increase heat resistance to high-temperature oxidation and salt corrosion. Since heat resistance does not depend on the structure, but is determined by the chemical composition, for a higher content of alloying elements such as silicon, titanium, chromium, and aluminum, which increases heat resistance.

Д. техн. н. Сохацький А.В^{1,2}, д. техн. н. Дреус А.Ю.

¹ Дніпровський національний університет ім. Олесь Гончара

² Університет митної справи та фінансів

ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АЕРОДИНАМІЦІ НАДВОДНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Математичне моделювання аеродинаміки транспортних апаратів є доволі складною та актуальною задачею. На сьогодні найбільш досконалі математичні моделі аеродинаміки побудовані на фізичних властивостях в'язкого стисливого газу та ґрунтуються на рівняннях Нав'є-Стокса. Правомірність їх використання підтверджується багаточисельними дослідженнями. Складності додає той факт, що реальний рух транспортного засобу відбувається в турбулентному повітряному середовищі.

Моделювання турбулентних рухів повітряних мас є фундаментальною проблемою як теоретичної фізики так і практичної аеродинаміки. Відсутність універсальної теорії опису турбулентних течій створює проблеми з визначенням аеродинамічних навантажень. Це питання є одним із ключових моментів при проектуванні високошвидкісних транспортних засобів, оскільки при високих швидкостях руху тільки на подолання опору повітря може припадати до 90% загальних енергетичних витрат. Таким чином необхідні фундаментальні дослідження в аеродинаміці високошвидкісного транспорту.

Структура потоку і коректне визначення турбулентності є визначальними факторами при моделюванні аеродинаміки літального апарата поблизу підстилаючої поверхні. Методи моделювання турбулентних течій, з певною мірою умовності можна розділити на три групи: підходи, що базуються на використанні осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса (Reynolds Averaged Navier - Stokes - RANS); два класичних підходи - пряме числове моделювання турбулентності (Direct Numerical Simulation - DNS) і метод моделювання великих вихорів (Large Eddy Simulation - LES); гібридні підходи, що спираються на спільне використання RANS і LES підходів для різних

областей течії. На сьогодні найбільш поширеними підходами є методи, що базуються на використанні осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса (Reynolds Averaged Navier - Stokes - RANS). Вони замикаються за допомогою тієї або іншої напівемпіричної моделі турбулентності.

Класичні вихрові підходи є найбільш досконалими. Це пряме числове моделювання турбулентності (Direct Numerical Simulation - DNS) і метод моделювання великих вихорів (Large Eddy Simulation - LES). Метод DNS базується на безпосередньому прямому числовому розв'язуванні тривимірних нестационарних рівнянь Нав'є-Стокса з розрізненням сіх просторово-часових масштабів турбулентності. Цей метод ґрунтується на фізичних принципах аеродинаміки і повністю вільний від емпіричних припущень.

У рамках методу LES рівняння розв'язуються безпосередньо після їх попередньої просторової фільтрації. Це дозволяє виключити з розгляду частину просторово-часових масштабів. Проведена операція дозволяє значно понизити вимоги до просторово-часового розрізнення. Таким чином понижуються вимоги до необхідних обчислювальних ресурсів.

Для урахування впливу відфільтрованих ("підсіткових") масштабів турбулентності притягуються ті або інші напівемпіричні моделі.

В науковій літературі для підкреслення кардинальних відмінностей методу LES від підходів, що використовуються для замикання RANS, їх називають "підсітковими".

До третьої групи відносять гібридні підходи, що спираються на спільне використання RANS і LES підходів в різних областях течії. Вони є найбільш розповсюдженими для практичного використання, виходячи з можливостей обчислювальної техніки.

Отже, розрахунок турбулентних течій і на теперішній час залишається однією з найбільш складних проблем, а надійне передбачення характеристик турбулентних потоків, що представляють практичний інтерес, як і раніше є швидше виключенням, ніж правилом, що пояснюється винятковою складністю турбулентності як фізичного явища.

Задача обтікання різноманітних тіл, транспортних засобів та їх елементів повітряним потоком є доволі складною.

Методи розрахунку обтікання тіл на основі моделі ідеальної рідини мають широке розповсюдження в обчислювальній аеродинаміці завдяки своїй простоті та невеликим вимогам до ресурсів ЕОМ. Їх застосування дозволяє розв'язати ряд прикладних задач та зрозуміти фізику течії.

Взагалі задача обтікання різноманітних тіл, транспортних засобів та їх елементів повітряним потоком є доволі складною. Серед методів на основі моделі ідеальної рідини слід виділити методи дискретних особливостей, а саме метод дискретних вихорів (МДВ). Він порівняно простий, не надто трудомісткий, зручний для застосування ЕОМ та достатньо ефективний спосіб математичного моделювання обтікання тіл. Тому для розв'язування задач аеродинаміки екранопланів та динаміки їх руху цей метод може бути надзвичайно ефективним.

Застосування моделі ідеальної рідини для розрахунку несучої системи такого перспективного транспортного апарата дозволяє сформулювати аеродинамічну задачу як задачу Неймана для рівняння Лапласа.

Реальні задачі аеродинаміки транспортних засобів є нестационарними та відривними. В доповіді розглядається задача моделювання обтікання крилового профіля літального апарата поблизу водної поверхні потоком нестисливої нев'язкої рідини. Розроблено методику, алгоритм та програмне забезпечення. Для написання коду програм використано мову програмування Fortran 95. Комплекс програм протестовано на стандартних задачах аерогідромеханіки. Розраховано аеродинамічні характеристик профіля крила високошвидкісного надводного безпілотного апарату.

Роботу виконано в рамках проєкту “Обґрунтування аеродинамічних і проєктних параметрів високошвидкісного надводного безпілотного апарату” за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України (проєкт 179/0170).

К. ф.-м.н. Строева В.О., здоб. Жигалева С.П.

Dnipro State Technical University

STUDY OF SOME COMBINATORIAL OPTIMIZATION PROBLEMS

Many actual optimization problems can be formulated as combinatorial optimization problems. The mathematical formulation and methods for solving such problems are based on the concepts of combinatorics or combinatorial analysis. The study of the general properties of combinatorial optimization problems is gaining independent importance, and methods for finding their exact solution are traditionally considered to be among the most difficult issues in the development of computational algorithms.

The problems of combinatorial optimization include those related to finding the optimal value of the objective function on the set of some combinatorial objects. Although some combinatorial optimization problems in their original formulation are formed as optimization problems on graphs, their characteristic property is that many of the admissible solutions have a certain combinatorial structure. The presence of such a structure allows both to estimate a priori the power of the initial set of admissible solutions and to reasonably approach the development of computational methods for solving the corresponding optimization problems.

Typical problems in combinatorial optimization are partitioning problems, partitioning and covering problems, problems of placing various geometric shapes on the plane and in space, problems of finding combinatorial objects that have some extreme properties.

In this paper, a number of actual problems of traveling salesman and optimal partitioning of sets are investigated by means of linear integer programming and discrete optimization. In particular, the problem of designing electronic equipment, in which certain components of the system must be divided into separate modules, the total power of which in each module should not exceed a threshold value, while the

components of each module should contain the maximum number of conductors for communication with each other, is investigated.

On the basis of the constructed and substantiated algorithms, computer programs have been developed using Visual Basic, with the help of which a numerical study of a number of actual applied problems has been carried out. The analysis of the obtained results, their analytical study, allows us to conclude that the developed algorithms are adequate and can be used to study other problems, which in their mathematical formulation can be reduced to the above.

References

1. Sergienko I.V. Mathematical models and methods for solving problems of discrete optimization. - Kyiv: Naukova Dumka, 1985. - 384 p.
2. Gulyanytskyi L.F. Diversification of search in OMC algorithms // Abstracts of Int. Conf "Problems of Decision Making under Uncertainties (PDMU-2011)" (September 19-23, 2011, Yalta, Ukraine) - Kyiv, 2011. – P.66-67.
3. Sergienko I.V. Classification of applied methods of combinatorial optimization / I.V. Sergienko, L.F. Gulyanytsky, S.I. Sirenko // Cybernetics and System Analysis. - 2009. - No. 5. - P. 71-83.
4. Blum, C., Puchinger J., Raid, G. R., Roli A. Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey // Applied Soft Computing. - 2011. - 11, 6. - P. 4135-4151.

Канд. ф.-м. н. Стросва В.О., здоб. Садова Л.В.

Дніпровський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК, ЯК ІНСТРУМЕНТІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДЕЯКИХ СИСТЕМ

Як зміниться Світова економічна ситуація через десять років? Чи будуть екологічно безпечні міста і промислові підприємства або ж навколо виявиться рукотворна пустеля? Досить задуматися над цими питаннями, проаналізувати, як десять років тому ми уявляли собі сьогоднішній Світ, щоб зрозуміти, що стовідсотково надійних прогнозів просто не може бути. Замість тверджень з конкретними числами можна очікувати лише якісних оцінок. Проте, людство

має приймати рішення, щодо екологічних та інших проектів і інвестицій, наслідки яких позначаються за десять, двадцять і більше років.

Разом з цим, в умовах війни з росією, безперечно актуальним постає питання нарощування військово-стратегічної ваги нашої держави, зокрема, за рахунок використання новітнього, інноваційного, високотехнологічного напрямку, як то роботизованих систем безпілотних платформ з ударними або розвідувально-ударними елементами.

Експертні методи оцінювання застосовують у випадку, коли використання технічних засобів вимірювання не можливо або економічно не обґрунтовано. У роботі представлено основні поняття методів експертних оцінок, досліджено етапи підготовки та проведення експертизи, отримання експертних оцінок, а також способи вимірювання об'єктів. На основі методики обробки даних методами парного і повного попарного порівнянь, із застосуванням матриць бінарних переваг, досліджено ряд тестових задач. Зокрема, досліджено методику оцінювання бойових можливостей безпілотних комплексів за групами узагальнених показників. Запропонована методика враховує узгодженість думок експертів за допомогою коефіцієнта конкордації та дозволяє перейти від якісного до кількісного оцінювання бойових можливостей безпілотних авіаційних комплексів.

Також розглянуто підходи по аксіоматичному введенню відстаней між відповідями експертів, оптимізаційний підхід до визначення підсумкової думки комісії експертів, властивості відстані Кемені і медіани Кемені, застосування коефіцієнта кореляції та конкордації; досліджено основи методології нечіткості та зведення теорії нечіткості до теорії ймовірностей з подальшим використанням в експертних технологіях.

На основі наведених у дослідженні теоретичних положень розроблено алгоритми обробки результатів опитування експертів та обґрунтовано рекомендації з практичного використання методів експертних оцінок.

Список використаних джерел

1. Грабовецький Б.Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія / Б.Є. Грабовецький. – Вінниця: ВНТУ, 2010. 171 с.
2. Трасковецька Л.М. Автоматизація математичних методів експертних оцінок / Л.М. Трасковецька, Л.В. Боровик, О.В. Боровик // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Сер.: Військові та технічні науки. – 2013. – Вип. № 2(60). С. 373–384.
3. Даник Ю.Г. Обґрунтування загальних вимог до оперативно-тактичних та тактичних безпілотних авіаційних комплексів / Ю.Г. Даник, О.В. Соловйов, І.В. Пулеко, П.В. Поздняков // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем. 2013. Вип. № 7. С. 21–30.

Секція 2

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ

К. техн. н. Авраменко В. І.

Дніпровський державний технічний університет

МОДЕЛЬ НЕОДНОРІДНОГО ДЖЕРЕЛА ВИПАДКОВИХ ПРОМЕНІВ НАД ПЛОЩИНОЮ

Якщо джерело випадкових променів над площиною нерівномірне, то на поверхні пів сфери з центром в точці джерела випадкових променів розподіл відрізнятиметься від рівномірного. В циліндричній системі координат (φ, θ, z) припустимо, що по азимутальному куту φ розподіл є рівномірним на інтервалі $(0, 2\pi)$, а по полярному куту θ щільність розподілу променів лінійно залежить від значення кута

$$f(\theta) = k \cdot \theta + b, \quad \theta \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right) \quad (1)$$

Вочевидь, що b – значення щільності на вертикальній осі $z = 0$, k – кутовий коефіцієнт прямої. З урахуванням властивостей щільності розподілу, параметри k і b не є незалежними і щільність може бути виражена

$$f(\theta, b) = \left(\frac{8 - 4\pi b}{\pi^2}\right) \cdot \theta + b, \quad b \in \left(0, \frac{4}{\pi}\right) \quad (1a)$$

$$f(\theta, k) = k \cdot \theta + \left(\frac{2}{\pi} - \frac{\pi k}{4}\right), \quad k \in \left(-\frac{8}{\pi^2}, \frac{8}{\pi^2}\right) \quad (1b)$$

Прямі щільності при $b > 2/\pi$ ($k < 0$) є спадними функціями, при $b < 2/\pi$ – зростаючими ($k > 0$), але всі прямі проходять через точку $(\pi/4, 2/\pi)$.

Закон розподілу випадкових променів на поверхні сфери довільного радіусу не залежить від кута φ , а залежність щільності від кута θ виражається формулою $r_b = r_0(k \cdot \theta + b)$. Враховуючи, що горизонтальні радіуси

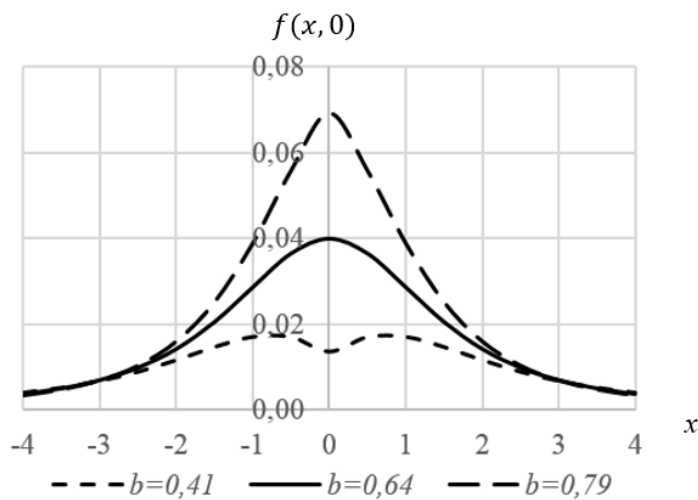
пропорційні $\sin \theta$ [1], щільність розподілу на поверхні півсфери радіусом r_0 має вид

$$f(\theta) = C \cdot \frac{1}{2\pi r_0^2} \cdot (k \cdot \theta + b)^2 \quad C = \frac{1}{b^2 + 2bk + (\pi - 2) \cdot k^2} \quad (2)$$

При $k = 0$ має місце стала щільність розподілу на поверхні півсфери.

Переходячи, як і в роботі [1], до розподілу координат перетину променів з поверхнею площини на відстані h від джерела, отримуємо

$$f(x, y) = C \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{h}{(\sqrt{x^2 + y^2 + h^2})^3} \cdot \left(k \cdot \arccos \frac{h}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}} + b \right)^2 \quad (3)$$



Малюнок 1. Графіки осевих перетинів щільності $f(x, y)$

Поверхня $f(x, y)$ утворює у просторі конус обертання. На малюнку 1 наведені графіки осевих перетинів щільності розподілів випадкових променів на площині для різних значень b , значення $h = 2$. При $b = \frac{2}{\pi} \approx 0,64$ ($k = 0$) має місце рівномірний розподіл променів у

півпросторі. Для значень $b > 0,64$ графіки більш локалізовані, при $b \ll 0,64$ максимальні значення зміщуються з епіцентру, утворюючи на площині кільце навколо центру.

Екстремальні значення в епіцентрі $f(0,0)_{ext} = \frac{c \cdot b^2}{2\pi \cdot h^2}$. Так, при $b = \frac{4}{\pi}$ $f(0,0)_{max} = \frac{\pi}{8(\pi^2 - 8)} = 0,21$, при $b = 0$ $f(0,0)_{min} = 0$.

В роботі [1] розглянуто модель, коли нерівномірність джерела міняється в залежності від кута θ по експоненті за формулою $r_p = r_0 \cdot \exp(a \cdot \theta)$ (в цьому випадку рівномірний розподіл променів має місце при $a = 0$). Порівняння кривих осевих перетинів показало їх близькість при відповідному підборі параметрів. Так, для наведених на мал. 1 кривих значенню параметра $b = 0,41$ з

коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,988$ відповідає величина $a = 0,467$, а значенню $b = 0,79$ відповідає з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,999$ величина $a = -0,30$.

Закони розподілу координат променів на площині для двох розглянутих моделей суттєво не відрізняються, і для застосування тієї чи іншої моделі нелінійності необхідна додаткова інформація.

Список використаних джерел

1. Авраменко В.І., Строева В.О. Моделі розподілу випадкових променів на площині. Математичне і програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2023). Тези доповідей. Дніпро: ДНУ, 2023. с. 55-56.

PhD Бажан С.М.

ВСП «Технологічний фаховий коледж ДДТУ»

ЗНАХОДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ШВИДКО ОСЦИЛЮЮЧИХ ФУНКЦІЙ

Генетичний алгоритм демонструє високу ефективність при знаходженні розв'язків складних оптимізаційних задач, що виникають у різних галузях [1]. Застосовуючи генетичні алгоритми можна ефективно знаходити екстремум для деяких функцій, де інколи традиційні методи зазнають невдач. Окрім того, генетичні алгоритми показують високу адаптивність і стійкість до локальних екстремумів, що робить їх актуальними для задач багатокритеріальної оптимізації. Враховуючи стрімкий розвиток обчислювальних потужностей, генетичні алгоритми стають все більш доступним і широко використовуваним інструментом для наукових і практичних досліджень.

В роботах [2-4] висвітлено особливості застосування операторної модифікації генетичного алгоритму для знаходження значення глобального мінімуму швидко осцилюючих функцій із застосуванням різних типів

рекомбінації та мутації. У зазначених роботах були наведені результати знаходження мінімуму для функцій Растрігіна, Швевеля, Лангермана та інших.

Розглянуто приклад знаходження екстремуму для функції Лангермана, яка окрім вираженого глобального максимуму має набір локальних рис (1). Дослідження виконано при наступних параметрах: кількість повторень експерименту – по 20 разів; без використання операції мутації, з мутацією другого типу – застосування стохастичних матриць з використанням випадкових параметрів визначеного типу та використання множини Кантора, як окремого виду операції мутації [5,6].

Знаходження максимального значення реалізовано у вигляді програмного модуля, що реалізує даний алгоритм та дає змогу за короткий проміжок часу визначати досить велику множину розв’язків та надати статистичні результати як для максимального та мінімального значень досліджуваної функції.

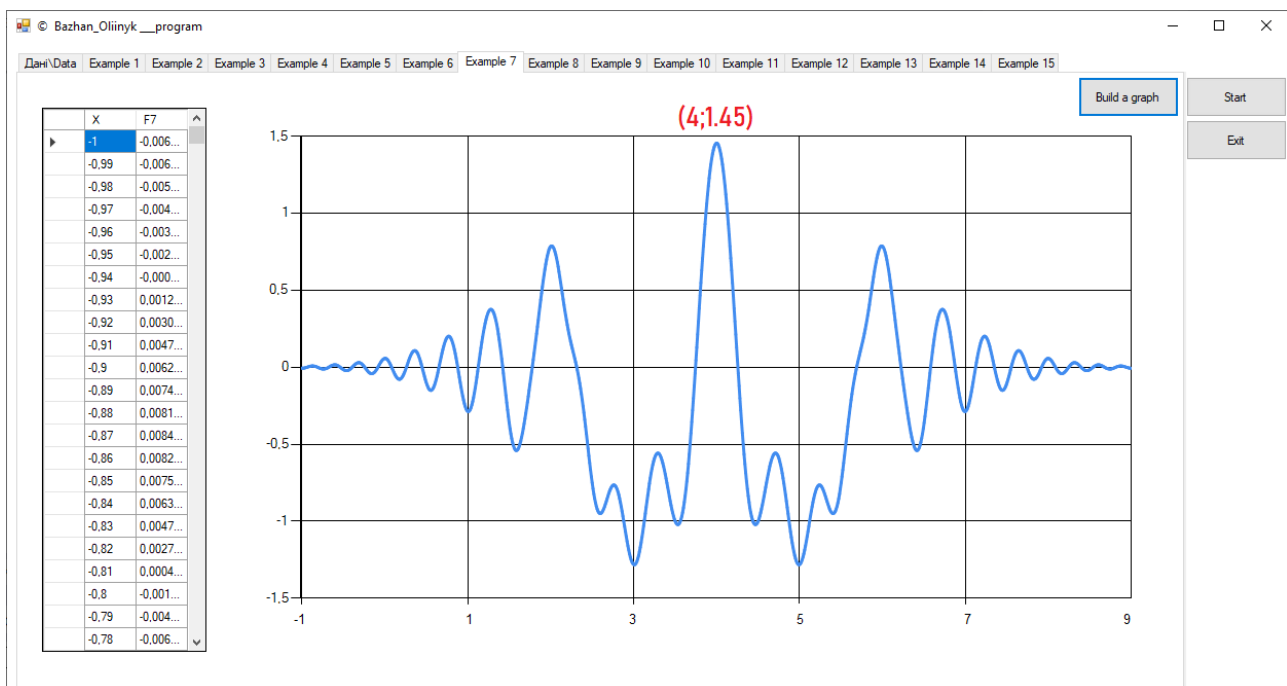


Рис. 1. Графік функції Лангермана

**Статистичні характеристики результатів роботи алгоритму
для функції Лангермана**

		Без мутації	Кількість ітерацій	Мутація II типу	Кількість ітерацій	Мутація III типу	Кількість ітерацій
Екстремум		F(x)=1.45 x=4					
Найкращий результат роботи алгоритму	F(x)	1,4547401	53	1,45474025	197	1,4547255	87
	x	3,9998181		4,00016453		3,99926652	
Відхилення x F(x)		0,0001819	0,0047401	0,00016453	0,00474025	0,00073348	0,004725
Найгірший результат роботи алгоритму	F(x)	1,4543452	1373	1,45468785	213	1,45472115	297
	x	4,003702		3,99864302		4,00082966	
Відхилення x F(x)		0,003702	0,0043452	0,00135698	0,00468785	0,00082966	0,004721
min кількість ітерацій		F(x)	53	1,45473991	50	1,45473845	83
		x	3,9998181	4,00019764		3,99970102	
Відхилення x F(x)		0,0001819	0,0047401	0,00019764	0,00473991	0,00029898	0,004738
max кількість ітерацій		F(x)	1493	1,45472615	663	1,45473058	594
		x	3,997745	4,00071783		3,99939834	
Відхилення x F(x)		0,002255	0,0045942	0,00071783	0,00472615	0,00060166	0,004731
Середня кількість ітерацій			371		187		204
Середнє значення функції		F(x)	1,4547042	1,45473228		1,45473506	
		x	3,9999627	3,99990584		3,9998242	
Середнє відхилення x F(x)		3,729E-05	0,0047042	9,4158E-05	0,00473228	0,0001758	0,004735

Статистичні характеристики результатів експериментальних випробувань для функції Лангермана наведені у Таблиці 1. Запропоновані типи операції мутації ефективні і за результатами впливу на роботу алгоритму співставні. Всі отримані результати знаходяться в межах обраного відхилення від відомого розв'язку і показують ефективність роботи алгоритму, навіть при найбільшій кількості ітерацій та найгіршому значенні знаходження екстремуму.

Застосування операторної модифікації генетичного алгоритму з використанням різних типів операцій мутації дає позитивні результати для знаходження максимуму, так само як і для мінімуму. Результати експериментів свідчать про те, що даний алгоритм є ефективним для розв'язання задач визначення глобального екстремуму функцій однієї змінної і відображає надійність, швидкодію та рівномірність роботи алгоритму, а використання різних процедур мутації призводять до гнучкої роботи генетичних алгоритмів.

Список використаних джерел

1. Бондаренко О., Устиненко О. та інші (2022). Огляд сучасного використання генетичних та еволюційних алгоритмів. Стратегії, можливості (оглядова стаття). Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР, (2), 6-16.
2. Олійник Л.О., Бажан С.М. (2019) «Застосування алгебраїчної модифікації генетичного алгоритму в задачах визначення глобального екстремуму функцій однієї змінної». Матеріали Міжнародної наукової конференції «Математичні проблеми технічної механіки та прикладної математики – 2019» Дніпро, Кам'янське, Україна. С.52-53
3. Leonid Oliinyk, Stanislav Bazhan. (2020) «About Features of Mutation Application in a Modified Operator Genetic Algorithm». International Academy Journal Web of Scholar. 8(50). с.41-47 (**Copernicus**) DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30122020/7324
4. Бажан С.М., Олійник Л.О. (2023) «Лінійні оператори в задачах пошуку екстремуму для швидко осцилюючих функцій та задачах складання розкладу представленими дискретними функціями». Математичне моделювання: Науковий журнал №2(49). Кам'янське ISSN 2519-8106 С.16-25. DOI: [https://doi.org/10.31319/2519-8106.2\(49\)2023.292547](https://doi.org/10.31319/2519-8106.2(49)2023.292547)
5. Бажан С.М. (2020) «Про ефективність застосування операторів мутації при використанні модифікованого генетичного алгоритму». Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції «Проблеми математичного моделювання». Кам'янське, С.102-104
6. Бажан С.М. (2023) «Застосування множини Кантора у модифікованому генетичному алгоритмі». Computer Science and Applied Mathematics №2,2023 ISSN: 2786-6254 (Print), 2786-6262 (Online) с. 29-36 DOI: <https://doi.org/10.26661/2786-6254-2023-2-04>

Магістрант Балацький К.В., к. техн. н. Красніков К.С.

Дніпровський державний технічний університет

НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛОБМІННОГО КОТЛА

У сучасних умовах економічної експлуатації промислових підприємств особливу увагу приділяється питанням енергоефективності та оптимізації виробничих процесів. Однією з ключових складових ефективного використання енергетичних ресурсів є робота теплообмінних установок, серед яких котли БКЗ-220-100 займають важливе місце в енергетичних системах багатьох промислових об'єктів, в тому числі і на ПРАТ "Азот".

Метою даної роботи є розробка та дослідження моделі нечіткого моделювання роботи теплообмінного котла БКЗ-220-100 у промислових умовах. Основна увага буде приділена аналізу можливостей підвищення ефективності роботи котла шляхом оптимізації його параметрів за допомогою

передових технологій нечіткого моделювання. Розглянуто методи нечіткого моделювання як інструмент для оцінки та оптимізації робочих параметрів котлів.

Залежними лінгвістичними змінними нечіткої моделі у даному випадку є:

1) Температура вихідного (перегрітого) пара для котла є основним показником ефективності теплообміну в котлі.

2) Ефективність котла (КПД) котельного агрегата вимірюється відсотком використання теплової енергії палива для виробництва корисної теплової енергії.

3) Рівень викидів NO_x та CO_2 є важливими показниками екологічної безпеки роботи котла.

Незалежними змінними є: температура горіння, тиск, вміст вологи в паливі, температура холодного повітря, концентрація кисню.

На основі визначених лінгвістичних змінних сформульовано нечіткі правила виводу. Розроблено програмне забезпечення на основі нечіткого моделювання, призначене для оцінки ефективності роботи котлів.

Створено детальну базу даних експериментів, яка містить записи про проведені симуляції роботи котлів БКЗ-220-100 з різними вхідними параметрами. База даних включає інформацію про температуру, тиск, вміст вологи, температуру холодного повітря, концентрацію кисню та отримані значення ефективності котла за кожним експериментом. Ця база даних слугує цінним ресурсом для аналізу впливу окремих параметрів на продуктивність котла та дозволяє оптимізувати процеси експлуатації та управління котельним обладнанням на ПРАТ "Азот".

Кінцевий ефект від використання запропонованих рішень полягає у:

- Зниження витрат на паливо за рахунок точнішого управління процесами горіння на основі реальних даних та нечіткого моделювання.

- Зменшення експлуатаційних витрат і збільшення терміну служби котлів через покращений контроль над робочими параметрами та запобігання екстремальних режимів роботи.

- Підвищення надійності та безпеки процесів на виробництві завдяки здатності моделі прогнозувати потенційні проблеми та автоматизовано адаптуватися до змін умов.

- Підвищення екологічної безпеки шляхом зменшення кількості шкідливих викидів в атмосферу, що досягається за рахунок більш ефективного спалювання палива.

- Забезпечення можливості для прийняття обґрунтованих управлінських рішень завдяки наявності детальної аналітики та інформаційної підтримки.

К. техн. н. Білоус О.І., к. техн. н. Танцура Г.І.,

асп. Чепурко В.К., магістр. Хохотва А.О.

Дніпровський державний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГУМОТРОСОВОЇ СТРІЧКИ КОНВЕЄРА

Потужні конвеєри обладнують стрічками армованими тросами. Така структура стрічки зумовлює суттєвий вплив поривів тросів на її міцність, та безпеку експлуатації особливо похилих конвеєрів. Визначення впливу поривів – актуальна задача вона дозволяє для відомого ушкодження армування стрічки приймати обґрунтовані технічні рішення з умов її експлуатації що сприятиме підвищенню безпеки експлуатації стрічок на виробництві.

Прийmemo, що троси мають прямокутний перетин. Площа перетину, жорсткість на розтягування і вигин відповідають відповідним показникам тросів. Вони не стискувані в поперечному перетині. Гумові поміжтросові прошарки деформується як вінклерівський матеріал. Така модель відповідає

моделі шаруватого композитту регулярної структури. Рівняння рівноваги не крайніх тросів:

$$A \frac{d^2 u_i}{dx^2} + B \left[u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1} + c_0 \left(\frac{dw_{i+1}}{dx} - \frac{dw_{i-1}}{dx} \right) \right] = 0$$

$$D \frac{d^4 w_i}{dx^4} - C(w_{i+1} - 2w_k + w_{i-1}) - Bc_0 \left[\frac{du_{i+1}}{dx} - \frac{du_{i-1}}{dx} + c_0 \left(\frac{d^2 w_{i+1}}{dx^2} + 2 \frac{d^2 w_i}{dx^2} + \frac{d^2 w_{i-1}}{dx^2} \right) \right] = 0 \quad (1)$$

Для зовнішніх тросів рівняння мають вигляд:

$$A \frac{d^2 u_0}{dx^2} + B \left[u_1 - u_0 + c_0 \left(\frac{dw_1}{dx} - \frac{dw_0}{dx} \right) \right] = 0,$$

$$D \frac{d^4 w_0}{dx^4} - C(w_1 - w_0) - Bc_0 \left[\frac{du_1}{dx} - \frac{du_0}{dx} + c_0 \left(\frac{d^2 w_1}{dx^2} + \frac{d^2 w_0}{dx^2} \right) \right] = 0, \quad (2)$$

$$A \frac{d^2 u_N}{dx^2} + B \left[u_{N-1} - u_N + c_0 \left(\frac{dw_{N-1}}{dx} - \frac{dw_N}{dx} \right) \right] = 0,$$

$$D \frac{d^4 w_N}{dx^4} - C(w_{N-1} - w_N) - Bc_0 \left[\frac{du_{N-1}}{dx} - \frac{du_N}{dx} + c_0 \left(\frac{d^2 w_{N-1}}{dx^2} + \frac{d^2 w_N}{dx^2} \right) \right] = 0, \quad (3)$$

де N – кількість тросів в канаті.

Для стрічки з ушкодженим середнім k - тим тросом граничні умови

$$\text{коли } x \rightarrow \pm\infty \quad p_{ii} = \frac{P}{N} \quad w_i = \frac{dw_i}{dx} = 0. \quad (4)$$

коли $x=0$

$$u_i = 0, \quad \frac{dw_i}{dx} = 0, \quad i \neq k, \quad (5)$$

$$\frac{du_{ii}}{dx} = 0, \quad \frac{d^2 w_i}{dx^2} = 0, \quad i = k, \quad (6)$$

$$D \frac{d^3 w_i}{dx^3} - B c_0 \left[u_{i+1} - u_{i-1} + c_0 \left(\frac{dw_{i+1}}{dx} + 2 \frac{dw_i}{dx} + \frac{dw_{i-1}}{dx} \right) \right] = 0. \quad (7)$$

Гранична умова (4) відтворює принцип Сен-венана. Умова (5) відображає відсутність зсувів тросів та симетричність їх прогинів. Умова (6) враховує відсутність зусилля розтягування і моментів в перетинах розривів тросів. Умова (7) відображає відсутність зусиль перерізування тросів.

Вирішення моделі шукатимемо для лівої напівнескінченної частини стрічки у вигляді:

$$\begin{aligned} u_i &= Ue^{\alpha x} \left[\cos(\mu(i + \delta)) - K \sin(\mu(i + \delta)) \right], \\ w_i &= We^{\alpha x} \left[\sin(\mu(i + \delta)) + K \cos(\mu(i + \delta)) \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Підставивши ухвалені рішення в (1) отримали систему однорідних лінійних рівнянь алгебри. Прирівнявши нулю визначник, отримали характеристичне рівняння:

$$\begin{aligned} \alpha^6 + 2B \left[\frac{\cos(\mu) - 1}{A} - c_0^2 \frac{\cos(\mu) + 1}{D} \right] \alpha^4 - \\ - 2 \left[\frac{C(\cos(\mu) - 1)}{D} \right] \alpha^2 - \frac{4BC}{AD} (\cos(\mu) - 1)^2 = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Характеристичне рівняння в загальному випадку має шість різних коренів. Два корені дійсні. Чотири попарно зв'язані уявно. З системи (3) для $0 \leq \mu \leq 2\pi$ визначили K і δ отримали рішення:

$$\begin{aligned} u_i &= \sum_{k=1}^6 \sum_{n=1}^N a_{kn} e^{\alpha_{kn} x} \left[\cos(\mu_n(i + \delta_n)) - K_n \sin(\mu_n(i + \delta_n)) \right], \\ w_i &= \sum_{k=1}^6 \sum_{n=1}^N a_{kn} W_{kn} e^{\alpha_{kn} x} \left[\sin(\mu_n(i + \delta_n)) + K_n \cos(\mu_n(i + \delta_n)) \right], \end{aligned} \quad (10)$$

де a_{kn} - невідомі постійні інтеграції, які визначали з умов деформації на межі $x=0$.

З умови обмеженості деформацій за безмежного зростання координати x в рішенні (10) використаємо лише корені з позитивною дійсною частиною. У такому разі рішення шукатимемо у вигляді:

$$\begin{aligned} u_i &= \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^N a_{kn} e^{\alpha_{kn} x} \left[\cos(\mu_n(i + \delta_n)) - K_n \sin(\mu_n(i + \delta_n)) \right], \\ w_i &= \sum_{k=1}^3 \sum_{n=1}^N a_{kn} W_{kn} e^{\alpha_{kn} x} \left[\sin(\mu_n(i + \delta_n)) + K_n \cos(\mu_n(i + \delta_n)) \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

З використанням рішень (11) досліджували характер розподілу деформацій для гумотросової стрічки типу ГТС – 3150. Максимальне навантаження

сприймають суміжні троси. Воно перевищує середнє на 20%. У разі розривів двох суміжних тросів – 40%.

Висновки. Побудована математична модель гумотросової стрічки. Встановлено що порив середнього троса зменшує її тягову спроможність практично на 28%, двох суміжних – на 38%. Відоме зменшення тягової спроможності стрічки дозволяє для відомого ушкодження армування стрічки приймати обґрунтовані технічні рішення з умов її експлуатації що сприятиме підвищенню безпеки експлуатації конвеєрних систем на виробництві.

К. техн. н. Волосова Н.М., здоб. Гноєвой Д.В.

Дніпровський державний технічний університет

MATHEMATICAL MODELING OF THE DEVELOPMENT OF THE HOTEL BUSINESS ENTERPRISE BY MEANS OF THE METHOD OF ANALYSIS OF HIERARCHIES

The method of analyzing hierarchies is one of the most relevant methods in modern decision-making theory, which can be applied to choose the optimal solution to a problem in various spheres of life with a completely different composition and type of data.

An important advantage of this method over most of the existing methods of evaluating alternative options is a clear description of the judgments of experts and decision-makers, as well as a clear representation of the structure of the problem: the component of the studied system and the interdependencies between them. The complexity of the research is characterized by a large number of interactions between many subjective and objective indicators of different types and degrees of importance, as well as between groups of people with different goals and conflicting interests. These circumstances determine the probability of choosing one of the

possible alternatives, which is acceptable to all only with a certain degree of compromise.

The values of system indicators are dimensionless and subjective, as they are determined based on the results of a survey or the method of expert evaluations. Thus, we have real conditions of uncertainty, where loosely structured and unstructured problems arise.

The essence of the method of Analytical Hierarchy Process (AHP) consists in the breakdown of the elements that determine the essence of a certain problem into simple components and in the further processing of judgments based on pairwise comparisons. The main task of the method is to determine the global priorities of alternatives, that is, their priorities relative to the root of the hierarchy. At the same time, the results of expert surveys in the form of matrices of pairwise comparisons at all nodes of the hierarchy, except for alternatives, are used as initial data. As a result, the relative degree of interaction of the elements in the hierarchy can be determined and the convolution of all specific estimates into an integral indicator can be performed.

In the conducted research, using the method of analysis of hierarchies, the analysis was performed and the evaluation and selection of the optimal project for the development of the hotel business enterprise from 3 alternative projects was carried out.

One of the main steps of the method is structuring the problem in the form of a hierarchy or network. With a dominant form of hierarchy, for effective forecasting and achieving convergence of set desired goals with logical ones, the optimal strategy is to combine direct and inverse planning processes into a single scenario - the optimal hotel development project. After determining the technology for conducting direct and inverse planning processes and creating a generalized scenario, local priorities of indicators are formulated and an expert assessment of each of the alternatives based on criteria is performed.

At the next stage of modeling, a matrix of pairwise comparisons of the influence of primary factors - indicators of hotel activity evaluation on the focus of the

hierarchy - the optimal hotel development project is built. According to a survey of consumers of hotel services, owners and employees of the hotel and evaluation by experts, 6 main indicators were determined: price policy, quality of service, loyalty program for regular customers, safety of consumers and services, reliable and high-quality suppliers, high-quality time management. According to this matrix, an own vector is determined, the components of which can be considered as a local priority, which assesses the level of influence of the factor on the educational system. At the second level, the influence of the actors participating in the hotel system on the indicators is investigated and the eigenvectors of the relevant matrices are determined. Next, a pairwise comparison of the impact of alternative projects on the common goal is performed. As a result of a pairwise comparison of all goals of the fourth level of the hierarchy for actors, a system of dominance matrices and their own vectors is formed, which allows for the analysis of forecast development projects. Such an assessment is carried out starting from the top of the hierarchy, a weight vector is determined to obtain the weighting coefficients of alternative projects. The obtained system of matrices and their eigenvectors allows to perform the analysis of projects and to determine the probabilities of their implementation.

The developed mathematical model, which is based on the scenario method of forecasting and the method of analyzing hierarchies using the apparatus of the theory of fuzzy sets, allows to determine the optimal situational project of hotel development and to develop strategies for its successful implementation.

References

1. Saaty T. L. Theory and Applications of the Analytic Network Process. Pittsburgh, PA: RWS Publications. 2015. 413 p.
2. Volosova N. M., Stebliuk N. F. Mathematical modeling of strategies for the development of the higher education system using the method of analysis of hierarchies and the scenario approach to forecasting // «Mathematical Problems of Technical Mechanics and Applied Mathematics» Proceedings of the International Scientific Conference, April 15-18. 2019. Dnipro-Kamianske. P.142-143.
3. Stebliuk N., Volosova N., Koberniuk S., Rybak O. Strategic Management of Factories in Conditions of Innovation-Marketing Orientation in the Industrial Market // International Journal of Information Technology Project Management (IJITPM). 2022. №13(2) P. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.4018/IJITPM.311848>

**Д.ф.-м.н. Довгий С.О.¹, Ph.D. Довгий Б.Т.², д.т.н. Копійка О.В.¹,
к.т.н. Моїсеєнко С.В.³, д.ф.-м.н. Редчиць Д.О.⁴, Тучина У.М.⁴**

¹Інститут прикладних систем управління НАН України

²CEO International Additive Manufacturing Group

³Херсонський національний технічний університет

⁴Інститут транспортних систем і технологій НАН України

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИБІРКОВОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

Вибіркове лазерне плавлення (Selective Laser Melting – SLM) – це одна з адитивних технологій, суть якої полягає в створенні різноманітних виробів за допомогою лазерного плавлення металевих порошків за заданими CAD-моделями. Технологія SLM є концептуально простою, але фізика, на якій вона ґрунтується, складна і охоплює широкий діапазон часових і просторових масштабів.

Розробка працездатної моделі для опису процесів, досліджуваних у широкому діапазоні визначальних параметрів, є актуальною і поки що не вирішеною проблемою в даній галузі знань. Математична модель, що розробляється, з одного боку, повинна враховувати основні фізичні процеси, що відбуваються, а з іншого боку, бути достатньо компактною для реалізації на сучасних персональних комп'ютерах.

Загальна математична постановка задачі вибіркового лазерного плавлення металевих порошків зводиться до постановки окремих структурно зв'язаних між собою задач. А саме, таких як: задача про нестационарний теплообмін з урахуванням фазових переходів при нагріванні металевих порошків рухомим лазерним променем; задача про динаміку рідкого металу в ванні розплаву з урахуванням об'ємних і поверхневих сил; задача про визначення нестационарної форми вільної поверхні ванни розплаву за наявності тиску віддачі, а також виникнення пор і розбризкування рідкого металу.

Задача про нестационарний теплообмін є найбільш важливою, оскільки вичерпна інформація про тепловий режим потрібна як при описі процесів плавлення та кристалізації, так і при оцінюванні глобального напружено-деформованого стану тіла, отриманого вибірково лазерним плавленням. Розв'язання цієї задачі без явного опису динаміки розплаву, але з адекватним прогнозом формування ванни за ізотермами ліквідусу та солідусу є найбільш поширеним методом розрахунку залежності властивостей виробу від параметрів технологічного процесу.

Основне рівняння, яке описує нестационарний просторовий переніс тепла є рівняння теплопровідності. З метою урахування фазових переходів рівняння теплопровідності розв'язувалось відносно ентальпії. В якості початкових умов задавалася постійна температура 293°K . Граничні умови склалися з умов Діріхле, Неймана та Ньютона. При цьому враховувалися втрати тепла за рахунок конвекції та випромінювання. У розробленій моделі густина, коефіцієнт теплопровідності та питома теплоємність є функціями температури. Також враховувалася прихована теплота фазових перетворень (плавлення та випаровування).

Рівняння теплопровідності записувалось в криволінійній системі координат. Дискретний аналог вихідного рівняння теплопровідності побудовано методом скінчених об'ємів. Розроблено алгоритм, який базується на неявній нефакторизованій схемі другого порядку точності за часом і за простором, а також з підітераціями за псевдочасом. Отримана скалярна система лінійних алгебраїчних рівнянь неявної схеми розв'язувалася методом мінімізації узагальненої нев'язки (GMRES) з неповним LU-розкладанням (ILU(k)) загальної матриці системи у якості передзумовлювання.

В результаті проведеного чисельного моделювання нестационарних процесів вибіркового лазерного плавлення металевих порошків отримано розподіл поля температури в розрахунковій області з виділенням зони ліквідусу (рис. 1). Побудовано залежності ширини та глибини ванни розплаву від

швидкості руху лазера та діаметру лазерної плями (рис. 2, 3). Отримані результати задовільно збігаються з експериментальними даними.

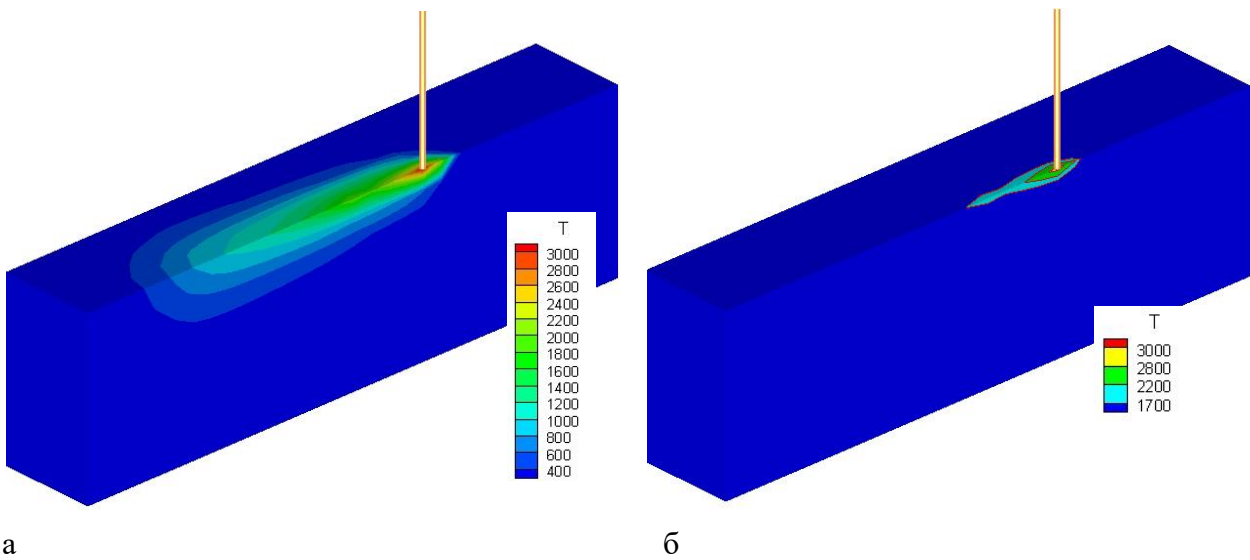


Рис. 1. Розподіл температури в розрахунковій області (а) з виділенням зони ліквідусу (б)

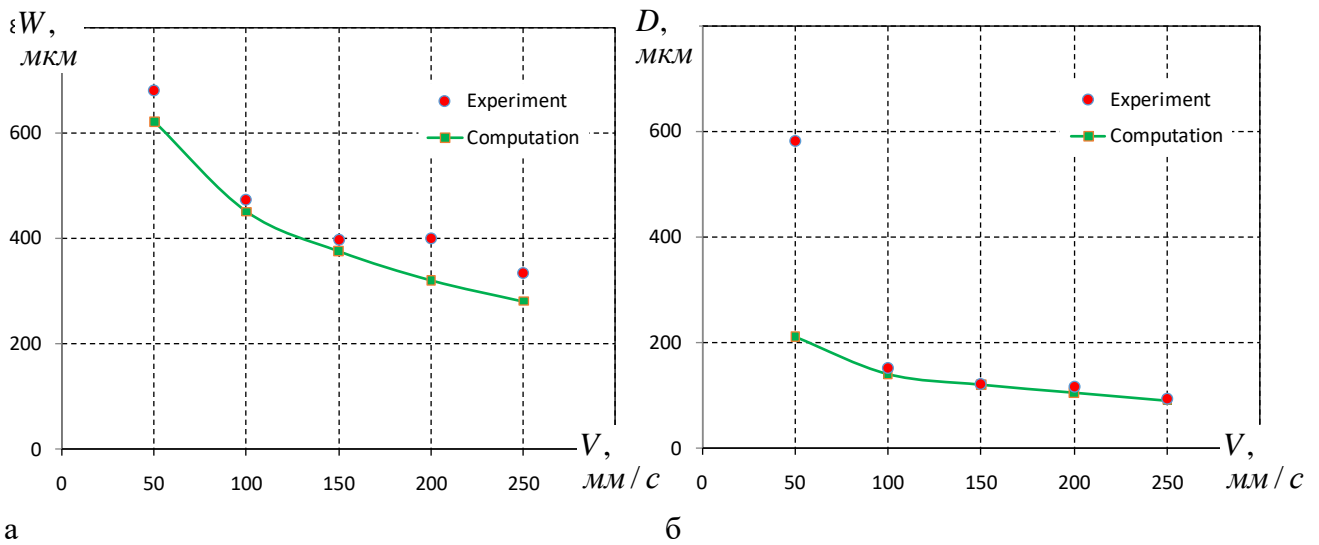


Рис. 2. Залежність ширини (а) та глибини (б) ванни розплаву від швидкості руху лазера (потужність лазера $P = 400$ Вт, діаметр лазерної плями $d = 205$ мкм)

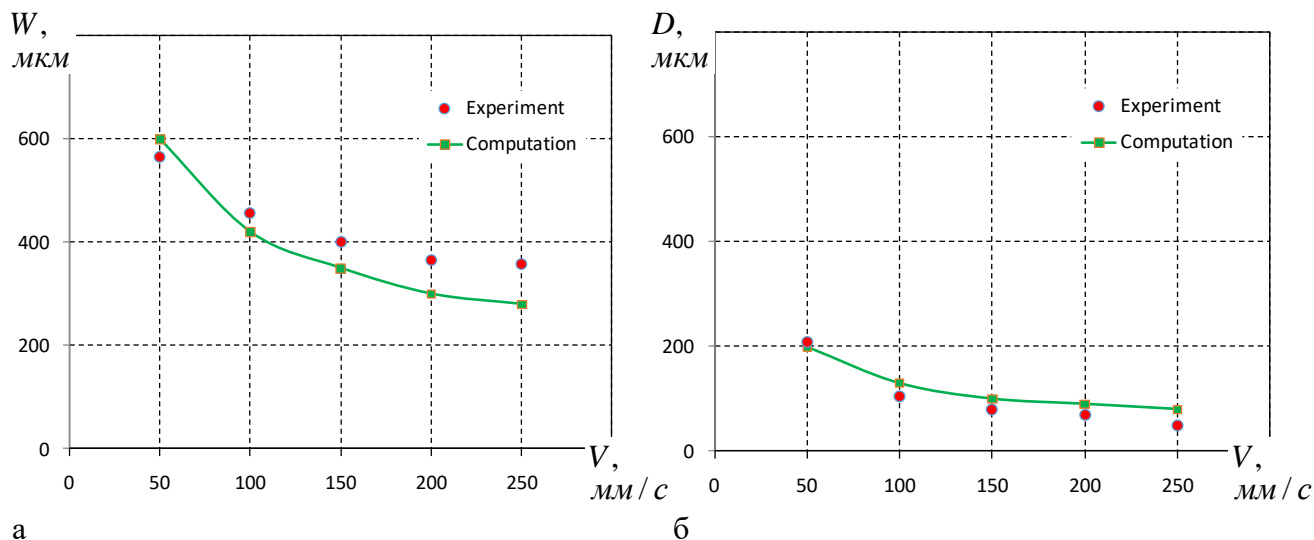


Рис. 3. Залежність ширини (а) та глибини (б) ванни розплаву від швидкості руху лазера (потужність лазера $P = 400$ Вт, діаметр лазерної плями $d = 262$ мкм)

Зайцев М.О., к. техн. н. Клімов Р.О.

Дніпровський державний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ОТРИМАННЯ ЕМУЛЬСІЙ

Всі існуючі методики розрахунків передбачають знаходження режимних характеристик диспергування, емульгування або гомогенізації. Існують різні методи одержання емульсій та їх подальшої обробки. Шар поверхнево-активної речовини (ПАР) становить основний механічний і термічний опір процесам тепломасообміну між фазами, тому для інтенсифікації цих процесів необхідно деформувати і згодом зруйнувати даний шар, реалізувати процес дроблення дисперсної фази, а після цього на новій поверхні розділу фаз відновити наночар ПАР.

В даній роботі для дроблення частинок дисперсної фази пропонується використовувати різке скидання тиску та викликане цим різке закипання води. Першим кроком до розрахунку є визначення характерних розмірів часток дисперсної фази та його розподіл за розмірами. Виділяючи необхідний рівень

значення розміру часток, які повинні бути присутніми в емульсії після процесу подрібнення (наприклад, повинні бути частки з радіусом, що не перевищує R_{ef}), важливим є визначення характерного розміру сусідніх часток, які знаходяться біля виділених для розгляду. Причому їх радіус повинен бути меншим, ніж радіус R_{ef} . За знайденими параметрами R_{ef} та $\mathcal{G}_{cr} = h/R_{ef}$ (h – відстань між центрами двох найбільш близько розташованих крапель) можна визначити необхідні значення коефіцієнта міжфазного натягу і необхідну початкову температуру з рівняння

$$\mathcal{G}_{cr}(R, \delta, t, \sigma) = 17,17 + 22000R - 10,48\delta - 0,296t - 19,276\sigma + 1,414 \cdot 10^{-3}t^2 + 1051,2\sigma^2 - 135,4Rt + 0,085\delta t - 52200R\sigma - 0,666t\sigma. \quad (1)$$

де R – радіус частки; σ – коефіцієнт поверхневого натягу межі розділу фаз; $\delta = R/R_{ef}$ – відносний радіус; t – початкова температура системи.

Кириченко Ю.Л., к. техн. н. Клімов Р.О.

Дніпровський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИКЛІВ РОБОТИ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ПІДЛОГОВОГО ОПАЛЕННЯ

Широке різноманіття використовуваних систем опалення пов'язане з перевагами та недоліками окремих видів і, відповідно, обмеженнями які накладає споживач. Так в деяких випадках необхідно віддавати перевагу конвекційним системам опалення, а в інших променистим. Використання підлогового опалення набуває широкого використання не тільки в якості допоміжного, але вже і як основного для приміщень з різними об'ємами та площами. Розроблена математична модель нестационарної теплопередачі при роботі систем підлогового опалення. В дослідженні прийнята водяна система

підлогового опалення з ПЕТ трубами. Результати розрахунків приведені на рис. 1.

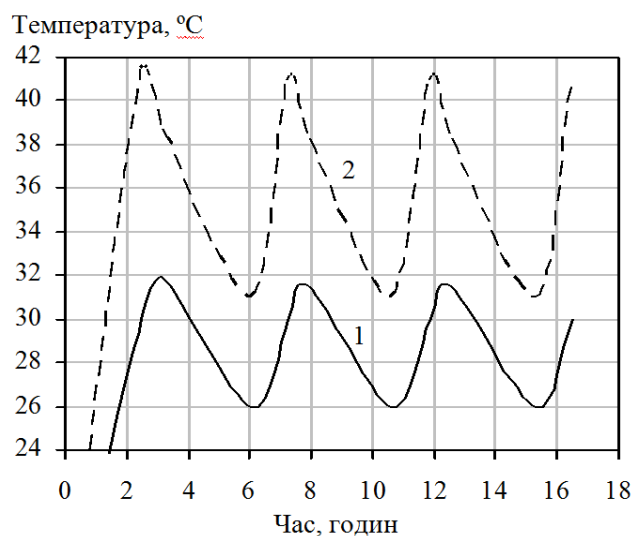


Рис 1. Графік зміни температур за циклами нагрів/охолодження (1 – поверхня підлоги; 2 – точка розташування датчика термостата)

З рисунку видно, що температура поверхні підлоги впродовж деякого часу продовжує збільшуватися при відключенні подачі теплоти, на що впливає нерівномірний нагрів перетину стяжки. Розроблена математична модель дозволяє дослідити нестационарні процеси теплопередачі в підлогових системах опалення та в подальшому оптимізувати їх роботу.

Магістрант Малий О.М., к. техн. н. Красніков К.С.

Дніпровський державний технічний університет

НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГРИ НА МУЗИЧНОМУ ІНСТРУМЕНТІ

Актуальність теми нечіткого моделювання процесу гри на музичному інструменті полягає в зростаючому інтересі до використання інтелектуальних технологій у сфері музичної освіти та індустрії.

Метою даної роботи є розробка методу нечіткого моделювання для гри на музичному інструменті, який дозволить аналізувати та оптимізувати навчальний процес.

Визначимо параметри моделювання. Вхідними параметрами є ноти, динаміка, темп, артикуляція, та інші музичні вказівки. Вихідними параметрами є інтенсивність звуку, що імітує гру на інструменті з урахуванням введених вхідних даних.

Розробка нечітких множин включає створення нечітких множин для кожного параметра, який впливає на гру. Наприклад, для динаміки можуть бути такі множини як "тихо", "середньо", "гучно".

Сформуємо нечіткі правила, які будуть використовуватися для інтерпретації вхідних параметрів та генерації відповідних музичних реакцій. Наприклад, правило може звучати як: "Якщо нота висока та динаміка гучна, то звук має бути яскравим та проникливим".

Реалізація системи в C# включає програмування алгоритмів нечіткої логіки з використанням доступних бібліотек або розробку власних компонентів для обробки нечіткої логіки;

Розроблений метод може бути адаптований для різних музичних інструментів та стилів виконання. Це включає в себе можливість розширення нечітких множин та правил для врахування специфічних особливостей кожного інструменту, таких як механіка клавіш у фортепіано або дихальна техніка у духових інструментів.

Д.ф.-м.н. Пасічник А. М. *,
к.т.н. Лебідь І.Г. **, **к.ф.-м.н. Худа Ж.В. ***
*Дніпровський державний технічний університет
**Національний транспортний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПУНКТУ ПРОПУСКУ МИТНОГО КОРДОНУ

Інтеграція української транспортної системи в європейську транспортну мережу ставить підвищені вимоги до функціонування всіх елементів транспортної інфраструктури, у тому числі і пунктів пропуску митного кордону [1]. У зв'язку з цим розробка та впровадження сучасних методів і технологій оптимізації роботи пунктів пропуску є досить актуальною.

Для підвищення ефективності виконання завдань митного оформлення переміщення транспортних засобів, вантажів і пасажирів пропонується використовувати математичну модель та алгоритм оптимізації чисельності митного підрозділу автомобільного пункту пропуску на основі теорії систем масового обслуговування.

Процес транзитного переміщення вантажів і транспортних засобів починається у пункті пропуску через державний кордон України. Перша проблема – це черга в очікуванні митного оформлення транспортного засобу, що надійшов до пункту пропуску. Вирішення питання черги транспортних засобів перед пунктом пропуску залежить, по-перше, від тривалості процедур та формальностей, що здійснюються митними та іншими контролюючими органами, тобто питання має технологічний характер; по-друге, від раціонального розподілу завдань працівникам митного підрозділу. У зв'язку з цим спрощення та автоматизація митних процедур та їх тривалості у часі, а також виконання завдання збалансованості кількості працівників митних органів залежно від характеру транспортного потоку та технічних можливостей пункту пропуску, надає нові можливості підвищення ефективності процесу митного оформлення транспортних засобів і вантажів.

Побудову та дослідження математичної моделі функціонування пункту пропуску проведено на основі методу Монте-Карло. Митний підрозділ – це N -канальна система масового обслуговування без відмов, у яку надходить пуассонівський потік заявок – транспортних засобів (ТЗ). В якості каналу приймається мінімальна кількість працівників митного підрозділу, що безпосередньо забезпечують митне оформлення вантажів і ТЗ.

Покладаємо, що час між надходженнями двох послідовних заявок розподілений за показниковим законом:

$$f(t) = ke^{-kt}, \quad (1)$$

де $f(t)$ – час між двома послідовними заявками, год.; k – інтенсивність вхідного потоку ТЗ за год.

Дослідження проведено для таких параметрів моделі:

- кількість каналів обслуговування $N = \{3; 4; 5\}$;
- тривалість митного контролю та митного оформлення кожного ТЗ постійна і дорівнює $\Delta t = \{0,333; 0,5; 0,667\}$ год.;
- добова інтенсивність транспортного потоку $k = \{300; 400; 500; 600; 700\}$ ТЗ за добу.

В якості параметра оптимізації використовується середній час простою (у годинах) транспортного засобу у черзі в очікуванні митного оформлення. У відповідності із запропонованим алгоритмом приймається момент надходження 1-ї заявки $T_1 = 0$. Заявка надходить у перший канал і обслуговується. Момент закінчення обслуговування першої заявки $T_{\kappa 1} = T_{\kappa 1} + \Delta t = 0 + 0,333 = 0,333$ год. Момент надходження наступних заявок визначається так:

$$T_i = T_{i-1} + t_i, \quad (2)$$

де t_i – тривалість часу між двома послідовними заявками з номерами $i-1$ та i .

Можливі значення t_i розраховуються за формулою:

$$t_i = - (1/k) \ln r_i = (1/k) (-\ln r_i), \quad (3)$$

де r_i – випадкове число ($0 < r < 1$).

Потім обчислюються інтервали часу між послідовними заявками з номерами i та $(i + 1)$ аналогічно до того, як це було зроблено для заявки з номером $i = 1$, розраховуються моменти їх надходження до системи та розподілу на обслуговування вільним каналом.

На основі отриманих даних комп'ютерних експериментів побудовано графіки залежності часу простою транспортних засобів у черзі очікування митного оформлення залежно від параметрів для 3, 4, та 5 каналної моделі.

Аналіз результатів проведених розрахунків показує, що залежність середнього часу перебування транспортного засобу у черзі від інтенсивності та тривалості обслуговування транспортного потоку має тенденції до зростання для моделей з різною кількістю каналів обслуговування. Відхилення від вищезазначеного характеру зростання спостерігається у 4- та 5-канальних моделях тривалістю обслуговування одного транспортного засобу $\Delta t = 0,333$ год; у чотиріканальній моделі з потоком $k = 300$ ТЗ за добу; а також у 5-канальній моделі з потоками $k = 300$ ТЗ за добу та $k = 400$ ТЗ за добу, що пояснюється нелінійністю залежності характеристики функціонування системи при таких параметрах при граничній перероблювальній спроможності.

Таким чином, оптимальними параметрами функціонування митного підрозділу в пункті пропуску можна вважати:

- тривалість оформлення одного транспортного засобу $\Delta t = 0,333$ год;
- кількість працівників митного підрозділу, що безпосередньо здійснюють митний контроль та митне оформлення, $N = 4$;
- інтенсивність транспортного потоку $k = 300$ ТЗ за добу.

За таких умов функціонування митного підрозділу середній час перебування транспортного засобу у черзі в очікуванні митного оформлення становитиме 1,5–2 хв.

Враховуючи можливість виникнення тимчасових екстремальних умов функціонування (збільшення транспортних потоків; збільшення тривалості митного оформлення за рахунок специфіки вантажів; збільшення випадків виявлення порушення митних правил), пропонується збільшити кількість

працівників митного підрозділу. Це дасть можливість не тільки зменшити час простою транспортних засобів у черзі до мінімуму, але й урахувати фактор стомлюваності або відсутності працівників тощо.

Список використаних джерел

1. Методологія формування транспортно-митної інфраструктури в Україні: монографія/ за ред. А.М. Пасічника. – Дніпропетровськ: УМСФ, 2016. 168 с.

Д.ф.-м.н. Пасічник А. М., асп. Циба. В. В.

Дніпровський державний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРЯМОЇ ТА ОБЕРНЕНОЇ ЗАДАЧІ БАЛІСТИЧНОЇ ТРАЄКТОРІЇ ПОЛЬОТУ ТВЕРДОГО ТІЛА СФЕРИЧНОЇ ФОРМИ

Одним із визначальних факторів впливу на балістичну траєкторію польоту твердих тіл є врахування опору повітря. Це дає можливість адекватно оцінити вплив аеродинамічних сил на політ об'єкта, що важливо при проектуванні авіаційних і артилерійських боєприпасів. Дослідженню різних аспектів математичного моделювання балістичних траєкторій польоту твердих тіл присвячено цілий ряд наукових праць [1]. Тому проблема подальшого удосконалення та розвитку методів дослідження математичних моделей балістичних траєкторій польоту твердих тіл різної форми є досить актуальною.

В даній роботі наведено результати дослідження прямої та оберненої задачі побудови балістичних траєкторій з урахуванням опору повітря при невеликих швидкостях польоту твердих тіл сферичної форми.

Розглянуто задачу побудови балістичної траєкторії польоту твердого тіла з початковою швидкістю v_0 і кутом φ_0 між вектором швидкості і лінією горизонту. Початок системи координат розміщується в точці початку польоту

тіла, вісь y направлена вертикально вгору, а вісь x направлена горизонтально. При польоті твердого тіла по балістичній траєкторії на нього діяє сила тяжіння та сила лобового опору повітря, тобто $F = F_g + F_{air}$. Сила лобового опору повітря направлена у протилежному напрямку руху і має величину, яка залежить від абсолютної швидкості та форми. Вважається, що тіло має малі розміри та малу швидкість, що відповідає числу Рейнольдса $Re < 1$. У такому випадку сила опору повітря має лінійну залежність і відома як опір Стокса та для сферичних тіл вона може бути виражена наступним співвідношенням [2]:

$$F_{air} = -6\pi\nu d \cdot v,$$

де v – кінематична в'язкість середовища, d – діаметр тіла.

Задача зовнішньої балістики полягає у визначенні траєкторії польоту, коли відома дальність досягнення цілі, і необхідно вибрати оптимальний кут кидання для її досягнення.

Функція дальності польоту твердого тіла $x_n(\varphi_0)$ представлена у вигляді унімодальної функції, яка спочатку збільшується на певному проміжку кутів кидання, а потім починає зменшуватися. Таке зменшення відбувається після досягнення певного максимального кута кидання, після якого оптимальний кут для досягнення максимальної дальності зменшується. Якщо ми хочемо влучити в ціль на відстані s , тоді можуть відбутися дві різні ситуації:

- 1) Якщо $s > x_n(\varphi_{max})$, тоді ми не можемо влучити у ціль під жодним кутом.
- 2) Якщо $s < x_n(\varphi_{max})$, то, загалом, існують два розв'язки рівняння $x_n(\varphi) - s = 0$: один на проміжку $[0, \varphi_{max}]$, а інший на проміжку $[\varphi_{max}, \pi/2]$.

Кут кидання для досягнення максимальної дальності польоту без урахування опору повітря дорівнює $\pi/4$. Однак з урахуванням опору повітря значення кута кидання для досягнення максимальної дальності зменшується.

Кут досяжності φ_0 для проміжку $[0, \varphi_{max}]$ називається пологим кутом кидання, для проміжку $[\varphi_{max}, \pi/2]$ – крутим кутом кидання.

Для крутого кута кидання, коли тіло запускається під великим кутом до лінії горизонту, балістична траєкторія стає вищою, оскільки тіло віддаляється

від поверхні землі на більшу відстань перед падінням на неї. Це може бути корисно в ситуаціях, де потрібно пройти перешкоди або досягти вищої точки. Навпаки, для пологого кута кидання, коли тіло запускається майже паралельно лінії горизонту, балістична траєкторія знаходиться ближче до поверхні землі, оскільки тіло не має такої великої вертикальної складової руху. Це може бути корисно в ситуаціях, де потрібно мінімізувати час або дотримуватися більш низького профілю траєкторії польоту.

Список використаних джерел

1. Warburton R. D. H., Wang J., Burgdörfer J. Analytic Approximations of Projectile Motion with Quadratic Air Resistance. *Journal of Service Science and Management*. 2010. Vol. 3, № 1. P. 98–105. DOI:10.4236/jssm.2010.31012.
2. Hackborn W. W. Motion through air: what a drag. *Canadian Applied Mathematics Quarterly*. 2006. Vol. 14, № 3. P. 285–298.

Д.ф.-м.н. Пасічник А. М., магістр Чумак М. С.

Дніпровський державний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ КЛАСТЕРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Системний аналіз можливих шляхів відновлення та підвищення конкурентоспроможності вітчизняної економіки показує, що одним із дієвих інструментів для вирішення проблеми є кластерна форма організації галузей виробництва [1]. В умовах постійно зростаючої глобалізації та конкуренції створення галузевих кластерів в Україні набувають особливої актуальності та в умовах відновлення та інноваційного розвитку економіки країни [2]. У зв'язку з цим, вдосконалення методів моделювання та оптимізації кластерної організації регіональної промисловості є актуальною прикладною задачею.

Термін кластер вперше введений в математиці і означає фізично близьке розташування логічно пов'язаних об'єктів у межах однієї області. Аналогічне значення має і економічний зміст (визначення) цього терміну.

Економічний кластер – це територіально-галузеве асоційоване об'єднання технологічно взаємопов'язаних суб'єктів господарювання, а також обслуговуючих систем: фінансової, виробничої, науково-технічної, інформаційної та соціальної інфраструктури регіону.

Таким чином, економічний кластер представляє собою комплексну мультикомпонентну систему складність математичного моделювання якої напряму залежить від кількості взаємодіючих елементів: підприємств, організацій, суб'єктів науко-технічного та соціально-економічного спрямування та ін., а також чисельності функціональних зв'язків між ними.

В даному дослідженні запропоновано інтегральну макроекономічну модель галузевого виробничого кластера для моделювання і дослідження основних закономірностей його функціонування. Покладається, що галузевий кластер це динамічна система стан якої в момент часу t визначається вектором $x(t)$. Стан системи змінюється у відповідності із дією управляючих параметрів $u(t)$, які називають управлінням системи. За таких умов, математична модель функціонування галузевого кластера може бути представлена наступною системою диференціальних рівнянь:

$$d\bar{x}/dt = f(\bar{x}(t), \bar{u}(t), t), \quad (1)$$

де $x(t)$ – поточний стан галузевого виробничого кластера; $x(t) \in X$, X – множина допустимих станів системи; $u(t)$ – функція управління, $u(t) \in U$, U – множина допустимих значень параметрів управління; f – вектор-функція розвитку (зміни) стану системи з урахуванням взаємодії елементів кластера.

У системі (1) управління визначається умовою ефективного функціонування кластера за критерієм максимізації ефективності галузевого виробничого процесу на визначеному періоді часу $[t_1, t_2]$, що задається оптимізаційним функціоналом у вигляді:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} \Phi(\bar{x}(t), \bar{u}(t), t) dt \rightarrow \max, \quad (2)$$

де $[t_1, t_2]$ – визначений час початку та завершення виробничого процесу; $\Phi(\bar{x}(t))$ – функціонал визначення ефективності галузевої виробничої системи для поточних значень її параметрів; $u(t)$ – параметри оптимального управління досягнення цілей виробничого процесу.

Зазначимо, що врахування спеціальних режимів митно-податкових пільг, соціально-економічного розвитку та інших для кожного із учасників кластеру в динаміці розвитку системи забезпечується можливістю задання власних управляючих траєкторій та заданням додаткових умов для врахування стану конкурентного середовища.

Запропонований підхід дозволяє оптимізувати функціонування галузевих кластерів виробничих процесів та визначити перспективи їх розвитку.

Список використаних джерел

1. Гуляєв В.М. Напрями формування регіональних логістичних інноваційно-індустріальних кластерів / В.М. Гуляєв, А.М. Пасічник, В.Ю. Солод // Тези V Міжн. науково-практ. конф. «Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи». Київ, 25.04.2024 р.). К.: КПІ ім. І.Сікорського, 2024. С.173-174.
2. Кузьмін О. Кластери як чинник інноваційного розвитку підприємств і територіальних утворень / О. Кузьмін, В. Жежуха // Економіка України. – 2010. – № 2. – С. 14-23.

Погорелий К.Ю., к. техн. н. Клімов Р.О.

Дніпровський державний технічний університет

КОЕФІЦІЄНТ КОМПАКТНОСТІ ЯК ФАКТОР ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ ПІДГРІВАЧІВ

Всі переваги підігрівача можуть бути виражені критерієм оптимальності. Одним з основних критеріїв може бути відношення кількості переданої теплоти до потужності витраченої на подолання опорів руху теплоносіїв [1, 2].

Недоліком такого критерію є мінімізація гідравлічних опорів шляхом збільшення прохідного перетину для теплоносіїв, а це призводить до збільшення займаного об'єму теплообмінника. Більш доцільним є застосування габаритної характеристики у вигляді коефіцієнту компактності, який показує відношення площі теплообміну до об'єму підігрівача [1].

В роботі [1] визначене рівняння коефіцієнту компактності підігрівача повітря, яке має вигляд

$$k_{kp} = 305,846 + 37,684x_1 + 0,482x_2 - 0,287x_1x_2 - 19,333x_1^2 - 0,116x_2^2, \quad (1)$$

де x_1 – кількість рядів труб поперечно потоку; x_2 – довжина однієї трубки, м.

На рис. 1 приведена залежність коефіцієнту компактності теплообмінника від основних факторів.

Для визначення оптимальних значень k_{kp} отримано систему рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial k_{kp}}{\partial x_1} = 37,684 - 0,287x_2 - 38,666x_1 = 0; \\ \frac{\partial k_{kp}}{\partial x_2} = 0,482 - 0,287x_1 - 0,232x_2 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

В результаті рішення системи рівнянь (2) отримано стаціонарну точку функції

$$\begin{cases} x_1 = 0,968; \\ x_2 = 0,88. \end{cases} \quad (3)$$

Як видно з результатів максимум функції припадає майже на $n = 3$. Тому приймаючи ціле значення кількості труб поперечно потоку рівним три, можна отримати оптимальну довжину однієї трубки за умови забезпечення максимуму коефіцієнта компактності $x_2 = 0,841$, або в розмірному вигляді $l_1 = 0,468$ м.

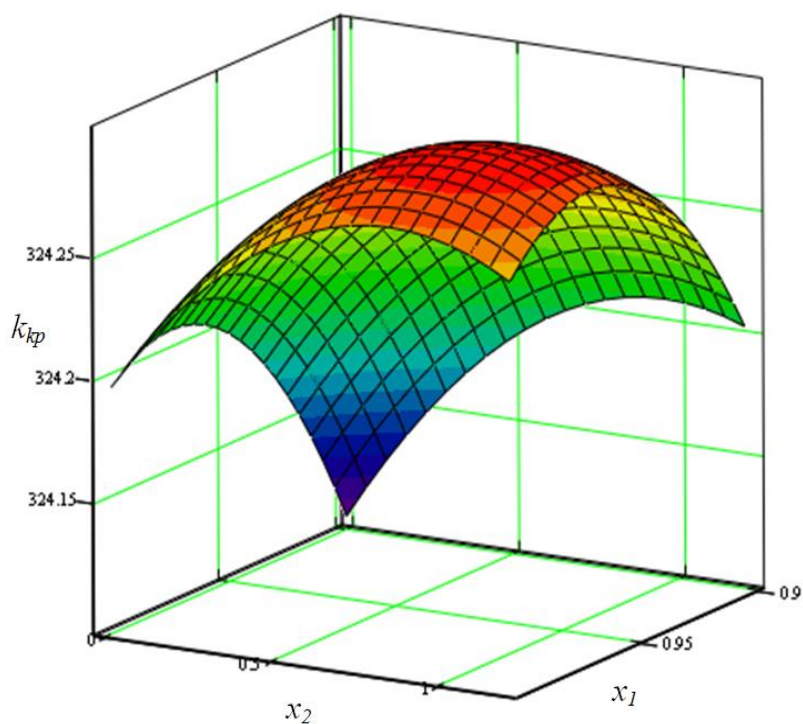


Рис. 1. Залежність коефіцієнту компактності теплообмінника від основних факторів

В роботі приведена методика визначення оптимальної конструкції підігрівачів за таким параметром як коефіцієнт компактності. Отримані рівняння дозволяють визначити вплив таких факторів, як кількість рядів труб поперечно потоку та довжина однієї трубки на коефіцієнт компактності теплообмінника. За допомогою розробленої методики можливо в достатньо простій постановці проаналізувати значення коефіцієнту компактності при різних поєднаннях приведених факторів та оптимізувати конструкцію підігрівача.

Список використаних джерел

1. Клімов Р.О., Анісімов Д.О. Оптимізація підігрівачів з розвиненими поверхнями нагріву. *Actual scientific research in the modern world. International science journal*. Pereiaslav, 2023. Issue 4(96), part 1. С.157-162.
2. Клімов Р.О. Теплоенергетичні системи промислових підприємств: навч. посіб. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. 200с.

Магістрант Попруга В.О., к. техн. н. Красніков К.С.

Дніпровський державний технічний університет

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТУ ШАШКОВОЇ ПАРТІЇ

Незважаючи на значні кроки, що були зроблені у дослідженні різноманітних чинників, які впливають на результати у спортивних змаганнях, проблема визначення оптимального та чіткого алгоритму оцінювання факторів успіху у спорті залишається далекою від свого вирішення.

Створімо нечітку модель прогнозування результату шашкової партії на турнірі Всеукраїнського рівня. Опишемо вхідні та вихідні параметри. Вхідні параметри впливають на вихідні.

Перший вхідний параметр – «Майстерність» – вимірюється різними рівнями сили опонентів. У поняття сила гравця вкладається середній рівень таких показників, як: теоретичні знання, навички гри й практичний досвід виступу на Всеукраїнських та міжнародних змаганнях.

У якості гравця №1 приймається досвідчений спортсмен, який має звання «Майстер спорту України». Його опонентом (Гравцем №2) може бути шашкіст з наступною силою гри: розряд – перший або звання – майстер спорту чи гросмейстер.

Другий вхідний параметр – «Настрій» – дозволяє ще до початку партії оцінювати психологічний стан Гравця №2. Цей критерій може суттєво вплинути на підсумковий результат у партії.

Вихідні параметри існують у результаті обраного процесу і реагують на зміну вхідних параметрів. Єдиним вихідним параметром у моделі, що досліджується, є «Результат» Гравця №2. Він може мати три показники з наступними одиницями виміру: перемога – 2, нічия – 1, поразка – 0.

За допомогою визначених змінних створюємо нечіткі правила та умови, які формуються програмним засобом для нечіткого моделювання.

Для отримання значень було розроблене програмне забезпечення з використанням мови програмування C Sharp.

Д. фіз.-мат. н., с.н.с. Редчиць Д.О., інженер Тарасов М.С.

Інститут транспортних систем та технологій НАН України

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ Н-РОТОРІВ ДАР'Є З УРАХУВАННЯМ ЗМІННОСТІ ПОТОЧНИХ ЧИСЕЛ РЕЙНОЛЬДСА

Аналіз варіантів конструктивного виконання та параметрів робочих режимів вітроустановок з Н-роторами Дар'є показав, що в робочих діапазонах кутових швидкостей роторів величини лінійних швидкостей лопатей змінюються в широких межах. Вектор лінійної швидкості лопаті, а, отже, зворотний вектор швидкості обтікання при її власному русі по колу, за один оборот ротора змінює свою орієнтацію в горизонтальній площині на 2π радіан. Таким чином, величина векторної суми швидкості вітру і вектору швидкості обтікання лопаті при її русі по колу також буде істотно змінюватися в залежності від положення лопаті на траєкторії і величини кутової швидкості.

Розрахунки кутових швидкостей та модулів загальних швидкостей обтікання лопатей роторів тестових вітроустановок малого (420 Вт), середнього (20 кВт) та великого (420 кВт) класів потужності при виході в режим авторотації для характерної швидкості вітру 12 м/с показав, що модулі швидкостей обтікання лопатей змінюються від нуля до ~ 50 м/с. Це означає, що у процесі розгону ротора число Рейнольдса змінюється від нуля до $\sim 2,2 \cdot 10^6$. Число Рейнольдса безпосередньо визначає характер залежностей від кута атаки коефіцієнтів підйомної сили та аеродинамічного опору, а, отже, самих аеродинамічних сил, що діють на обтічну поверхню.

В доповіді наведені результати досліджень ступеню впливу варіацій числа Рейнольдса на моментні та енергетичні характеристики лопатей Н-ротора Дар'є, що знаходяться в різних фазових положеннях на колі обертання.

Як тестовий приклад для досліджень вибрана лопать з поширеним в таких конструкціях симетричним профілем НАСА 0018. Використовувалися криві залежностей коефіцієнтів підйомної сили C_L і аеродинамічного опору C_D від

кута атаки α отримані при фіксованих числах Рейнольдса: 10^4 ; $2 \cdot 10^4$; $4 \cdot 10^4$; $8 \cdot 10^4$; $16 \cdot 10^4$; $36 \cdot 10^4$; $70 \cdot 10^4$; 10^6 ; $2 \cdot 10^6$; $5 \cdot 10^6$ [1]. Вплив варіювання числа Рейнольдса найбільш суттєво виявляється при кутах атаки до $\sim 40^\circ$.

Розроблена модель динаміки Н-ротора Дар'є модернізована з метою обліку залежності C_L і C_D від числа Рейнольдса [2]. Вона базується на інтерполюючій функції, яка здійснює двовимірну інтерполяцію таблично заданих функцій $C_L = C_L(\alpha, Re)$ і $C_D = C_D(\alpha, Re)$, рис.1, 2.

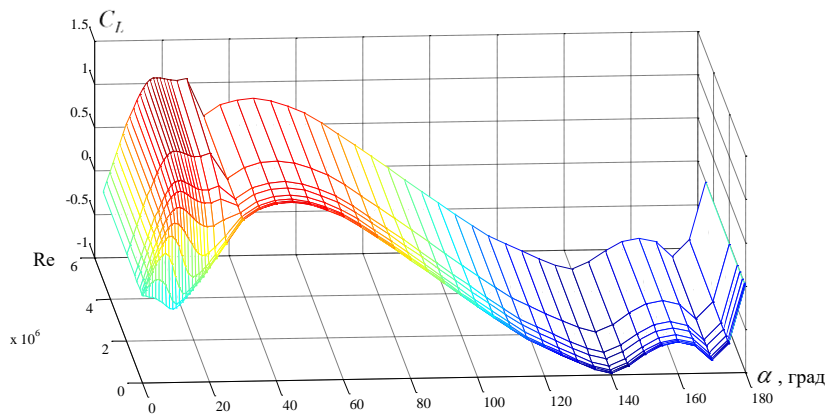


Рис. 1. Тривимірний графік функції $C_L = C_L(\alpha, Re)$

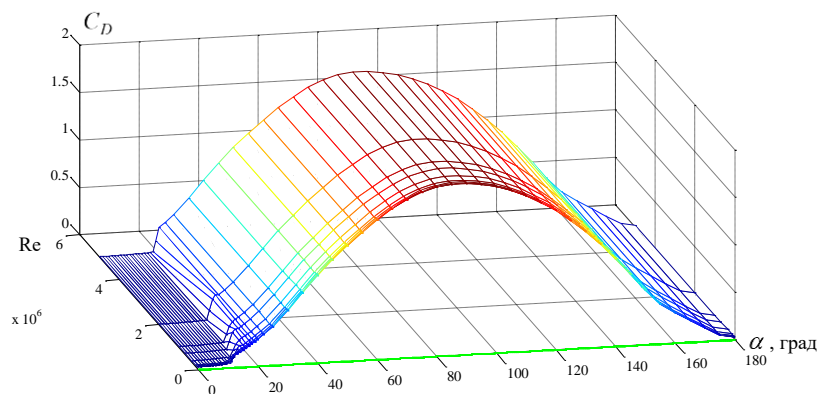


Рис. 2. Тривимірний графік функції $C_D = C_D(\alpha, Re)$

Інтерполююча функція дозволяє проводити розрахунок значень C_L і C_D для поточних значень кутів атаки і числа Рейнольдса. В свою чергу, число Рейнольдса розраховується на основі поточних значень нормальної складової загальної швидкості обтікання W_n . Проведено моделювання динаміки пускових і

усталених режимів роботи трилопатевого ротора Дар'є з різними геометричними і масовими параметрами елементів ротора.

Порівняльний аналіз результатів розрахунку динаміки досліджуваних роторів показав, що облік впливу зміни числа Рейнольдса при роботі роторів в широкому діапазоні кутових швидкостей істотно впливає на адекватність результатів моделювання динаміки реальним процесам що має місце в різних режимах роботи. Збільшилися в середньому в 2-3 рази тривалість ділянок розгону роторів і крутизна ділянок виходу в режим авторотації, на 60-70% збільшилася кутова швидкість в режимі авторотації. Помітно збільшення ділянки розгону з великими кутами атаки. Нормальна складова аеродинамічних зусиль що діють на лопаті збільшилася в 1,6 - 1,8 разу. Підвищилися в 1,7 разу значення аеродинамічних зусиль, що тягнуть, на ділянках виходу роторів в режим авторотації, тоді як їх значення безпосередньо в режимі авторотації практично не змінилися. Характер зміни моменту, що обертає, не змінився. Пік моменту змістився відповідно до зміщення ділянки виходу роторів в режим авторотації. Пікові значення моменту виростили в 1,5 – 1,6 раз. Таким чином, врахування змінності числа Рейнольдса приводить до збільшення тривалості перехідних процесів в режимі розгону і зростання значень силових чинників. Оцінено вплив вказаного уточнення на характер перехідних і стаціонарних режимів роботи ротора. Отримано залежності часу входження в стаціонарний режим від швидкості вітру. Встановлено залежність між величинами відцентрових сил і складовими аеродинамічних сил які використовуються в процесі розрахунку міцності конструктивних елементів вітроустановок.

Список використаних джерел

1. Sheldahl R. E., Klimas P. C. Aerodynamic characteristics of seven symmetrical airfoil sections through 180-degree angle of attack for use in aerodynamic analysis of vertical axis wind turbines. *SAND-80-2114*. USA. 1981. 124 p.
2. Boukhezzara B., Lupua L., Siguerdidjanea H., Handb M. Multivariable control strategy for variable speed, variable pitch wind turbines. *Renewable Energy*. 2007. No 32. P. 1273–1287. DOI:10.1016/j.renene.2006.06.010.

**Doctor of Technical Sciences Sereda B.P., postgraduate student Udod A.M.,
postgraduate student Skrebkov K.O., postgraduate student Gulyaev K.V.**

Dnipro State Technical University

SIMULATION AND ENHANCEMENT OF CHROMIUM-ALLOY COATINGS PRODUCTION UNDER SHS CONDITIONS

Modern operating conditions for machine parts, assemblies, equipment, tools and mechanisms place increased demands on their physical and mechanical characteristics and service life. In this regard, the properties of their surface layer are of great importance, and the development of new technologies for strengthening parts made of structural materials is becoming increasingly relevant. To process products made of carbon and alloy steels, methods for creating various functional coatings are widely used. A coating is a locally modified surface layer characterized by a certain chemical and structural-phase composition that differs qualitatively from the base material.

The purpose of this research is to search for effective powdered SHS charges that allow the formation of wear-resistant protective layers on structural materials with different carbon content using self-propagating high-temperature synthesis processes. The surface hardness is taken as an optimizing factor, which directly affects the wear resistance under different types of friction. The solution to this problem allows to ensure the durability of the equipment.

The mathematical planning of the experiment significantly reduces the number of studies required to calculate the coefficients of the regression equation and obtain an adequate model that characterizes the effect of the elements of the SHS charge on the performance properties of steels with alloy protective coatings. The response surfaces of the obtained mathematical models are represented by a three-dimensional graphical dependence.

The regression analysis results in equations showing the dependence of the wear resistance of protective coatings on the mode of thermal spontaneous

combustion and the content of alloying elements. The following equations are obtained as a result of the calculations:

$$Y_1 = 87,6 - 1,3X_1 - 1,3X_2 - 0,6 X_3 - 1,5 X_1^2 + 1,5X_2^2 + 3X_3^2 - 0,875X_1X_2 + 2,125X_1X_3 - 0,25X_2X_3.$$

The adequacy check of the models shows that they can be used to predict response functions at any values of the factors that are between the upper and lower levels. Coefficients whose absolute value is equal to the confidence interval Δb or more should be considered statistically significant. Statistically insignificant coefficients can be excluded from the models.

By replacing the variables X_i in equation (1) with the right-hand side of equation (2) and the subsequent reduction of similar ones, we obtain natural equations characterizing the effects of the mode of thermal spontaneous ignition and the content of alloying elements on the wear resistance of protective coatings:

$$\Delta J_{1=} = 140,35 + 1,39 XC + 0,31Ti - 6,59Cr - 0,06 XC^2 + 0,06 Ti^2 + 0,12 Cr^2 - 0,04 XCTi + 0,09XCCr - 0,045TiCr$$

To assess the adequacy of the equations, a calculation is made based on the obtained regression equations for the optimal mode of thermal self-ignition. Calculation results are compared with experimental data. It was established that the error between the calculated and experimental values of the response function does not exceed 1.5%.

With the help of mathematical planning of the experiment, the number of studies required to calculate the coefficients of the regression equation and obtain an adequate model, which characterizes the influence of the elements of the SHS charge on the operational properties of steels with alloyed protective coatings, is significantly reduced. The response surfaces of the obtained mathematical models are represented by a three-dimensional graphical dependence

The rational content of titanium is 22 - 26% by mass, and chromium is 4 - 7% by mass (for the Ti-Cr system), thus, these values of the content of titanium and

chromium make it possible to obtain minimum indicators of wear of steels with alloyed protective coatings. Recommended rational SHS charge for obtaining wear-resistant alloyed protective coatings: 25% CS + 25% Ti + 5% Cr + 39% Al₂O₃ + 2% I₂ + 4% NH₄Cl.

Doctor of Technical Sciences Sereda B.P., postgraduate student

Syslov I.V., postgraduate student Komendarov K.M.

Dnipro State Technical University

**MODELING FORMATION OF TITANIUM COATINGS IN THE
CONDITIONS OF SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE
SYNTHESIS**

Multi-component coatings have been extensively applied to protect parts of mechanisms and assemblies that operate under challenging conditions. To enhance the wear resistance, microhardness, and corrosion resistance of steel products, various methods of surface saturation with multiple carbide-forming elements, particularly titanium and chromium, are frequently utilized.

This research examines the technology for producing doped titanium coatings using the self-propagating high-temperature synthesis (SHS) method, which employs gas-transport chemical reactions. The core principle of the SHS method involves exothermic reactions that propagate as combustion waves. This process is marked by rapid coating formation due to the temperature gradient within the system-product-powder environment, facilitating the mass transfer of saturating elements to the product's surface. The resulting coatings are composed of a film produced by these interactions.

The purpose of this work is to simulate titanium processes in the SHS conditions, to develop optimal compositions of powder SHS-charge for the

application of heat-resistant coatings, thermodynamic analysis of reactions and composition of the gas phase in the SHS process. Study of the structure, phase, chemical composition of coatings. For coating used samples of steel 40X, 40X9C2, 40X10C2M.

For the manufacture of valves of internal combustion engines are advanced requirements, so for their manufacture used a combination of different materials, as well as the use of special surfacing and coatings. For inlet valves use high-temperature high-alloy steel of martensitic class, for outlet heat-resistant high-alloy steel of austenitic class.

Processes of titanium chromium were carried out in open reactors in thermal auto-ignition mode. The working temperature range varied in the range $900 \div 1050$ °C, the total duration of isothermal holding did not exceed 15 minutes.

Mathematical planning of experiments was performed to develop optimal charge compositions. The factors of the experiment were selected: (X_1) - content of alloying elements (chromium), (X_2) - content of titanium, (X_3) - content of chromium component. Optimization parameters selected Y1 - wear resistance indicator for the Ti-Cr system.

The choice of the basic level and the intervals of variation is made on the basis that the introduction of ChC less than 10 wt. Based on the study of the change in the characteristic temperatures of the SHS process, the number of ChC. is selected. Al_2O_3 is used as a ballast impurity to produce a one hundred percent composition of the powder SHS charges.

The obtained equation characterizing the influence of the technological regime and the composition of the charge on the parameters of optimization of physical, mechanical and operational properties, have the following form: $Y_4 = 86 - 2,2X_1 - 3,3X_2 + 0,4X_3 - 4X_1^2 + 0,5X_2^2 + 5X_3^2 - 0,875X_1X_2 - 2,125X_1X_3 - 0,125X_2X_3$.

The titanium content of 24-26% by weight of chromium is 4-7% by weight. (for Ti-Cr system), thus, these values of titanium and chromium content allow to obtain minimum heat resistance of steels with alloyed protective coatings.

As a result of X-ray structural and metallographic analyzes, it is established that a uniform, uniform coating is formed on the surface of the steels.

The phase composition of the zones is highly dependent on the carbon content of the steel. In these conditions, chromium is characterized by a higher diffusion coefficient than titanium and, due to its smaller atomic radius, forms solid solutions more easily. In this connection it penetrates into the substrate to a greater depth than titanium. Depending on the chemical composition of the substrate, carbides may form in the surface area $(Cr, Fe)_{23}C_6$ or $(Cr, Fe)_7C_3$, titanium alloy, located below Fe_2Ti , Cr_2Ti , α - solid solution of Ti and Cr in α -iron; on steel 45— $(Cr, Fe)_{23}C_6$, doped with titanium, α - solid solution of chromium in iron with inclusions Cr_2Ti ; on steel Y8 — $(Cr, Fe)_{23}C_6$, $(Cr, Fe)_7C_3$, Cr_2Ti , $(Ti, Cr)C$.

К. фіз.-мат. наук Скосар В.Ю., Ворошилов О.С., к. фіз.-мат. наук

Бурилов С.В., д. техн. наук Дзензерський В.О.

Інститут транспортних систем і технологій НАНУ

МОДЕЛЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЙКОТРОНА

Рейкотрон – це пристрій, який перетворює електромагнітну енергію струму від джерела живлення на кінетичну енергію тіла, яке він прискорює. На практиці рейкотрони здатні прискорювати тіла масою від ~ 1 г до ~ 1 кг до швидкості ~ 10 км/с. Рейкотрони використовують в наукових дослідженнях, космічної техніці, у воєнній справі [1]. Мета дослідження: здійснити моделювання фізичних процесів прискорення тіла в рейкотроні і зробити оцінку ефективності перетворення електромагнітної енергії на кінетичну енергію тіла. Конструкцію рейкотрона схематично зображено на рис.1.

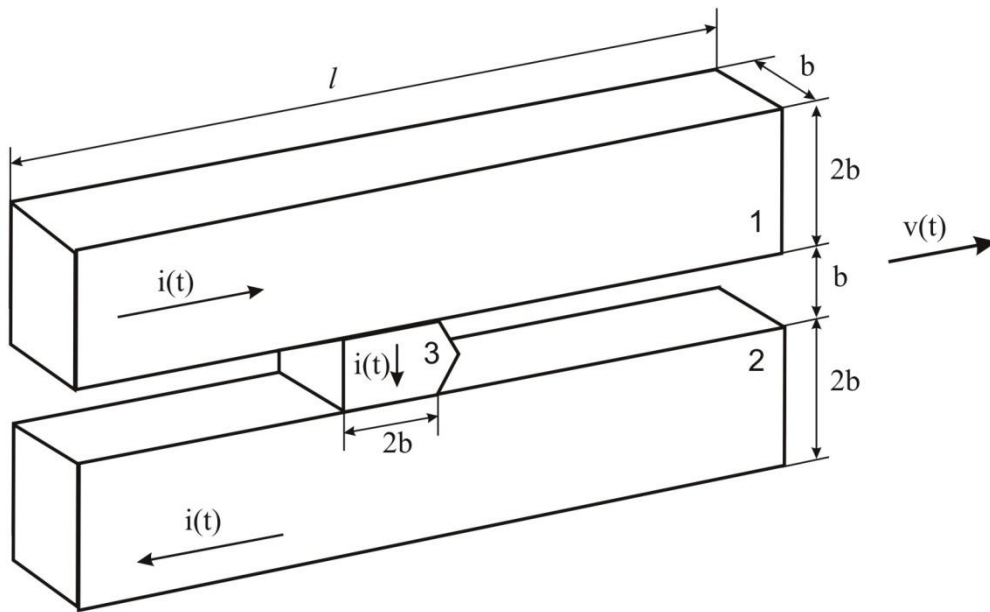


Рис. 1. Схематичне зображення рейкотрона

Електричний струм $i(t)$ пускають по рейках 1 і 2 крізь тіло 3, яке прискорюють. На тіло 3 діє сила Лоренца, яка призводить до руху тіла зі швидкістю $v(t)$. Раціональними вважають такі співвідношення розмірів рейок 1, 2 і тіла 3, які зображено на рис.1 [1]. При цьому для будь якої b в умовах постійної густини електричного струму L_0 буде приблизно 0,5881 мкГн/м, якщо рейки виконано не з феромагнітного матеріалу.

Індуктивність і електричний опір рейкотрона приблизно так залежать від відстані $x(t)$, яку пройшло тіло:

$$L(t) \approx L_0 \cdot x(t); R(t) \approx R_0 \cdot x(t) \quad (1)$$

де L_0, R_0 – індуктивність і опір рейкотрона на одиницю довжини.

Сила, яка прискорює тіло, може бути виражено так:

$$F = \frac{d}{dx} \left[\frac{L(t) \cdot i(t)^2}{2} \right] \approx \frac{i(t)^2}{2} \cdot L_0 \quad (2)$$

У «нульовому» наближенні будемо нехтувати силою тертя об рейки та силою аеродинамічного опору повітря. Тоді на підставі другого закону Ньютона отримаємо рівняння:

$$F = m \cdot \frac{dv(t)}{dt} = \frac{i(t)^2}{2} \cdot L_0. \quad (3)$$

Тоді швидкість тіла 3 дорівнює:

$$v(t) = V_0 + \frac{L_0}{2m} \cdot \int_0^t i(t)^2 dt, \quad (4)$$

де V_0 – початкова швидкість тіла.

Відстань, яку пройшло тіло, дорівнює:

$$x(t) = \int_0^t v(t) dt. \quad (5)$$

Кінетична енергія, яку отримало тіло, дорівнює:

$$W_m = \frac{m(V_m^2 - V_0^2)}{2}, \quad (6)$$

де V_m – максимальна швидкість тіла 3 (на виході з рейкотрона). Теплові втрати енергії в рейкотроні в умовах імпульсу струму прямокутної форми (I_m – максимальний струм імпульсу, τ – час імпульсу) можна визначити так:

$$W_T = \int_0^\tau i(t)^2 R_0 x(t) dt = \frac{I_m^2 R_0 V_0 \tau^2}{2} + \frac{I_m^4 R_0 L_0 \tau^3}{12m}. \quad (7)$$

Залишки енергії магнітного поля в рейкотроні можна визначити так:

$$W_L = \frac{I_m^2 L_0 l}{2}. \quad (8)$$

Втрати енергії в електричній дузі деякі дослідники оцінюють таким чином:

$$W_d = U_d I_m \tau \approx E_d b \cdot I_m \tau, \quad (9)$$

де $E_d \approx 30$ кВ/м.

В результаті ефективність перетворення енергії рейкотроном дорівнює:

$$\eta = \frac{W_m}{W_L + W_T + W_d + W_m}. \quad (10)$$

Наприклад, оцінки вказують, що ефективність перетворення енергії рейкотроном $\eta \approx 0,247$ в таких умовах: $m = 0,1$ кг; $V_0 = 0,1$ км/с; $V_m = 3$ км/с; $l = 1,94$ м; $\tau = 1,25$ мс; $I_m = 0,89$ МА; $\rho = 3$ г/см³ (тіло з алюмінію). Середнє

підвищення температури рейок з берилієвої бронзи (питома електропровідність $\approx 10^7$ См/м) досягає 24°C; $W_m = 0,45$ МДж; $W_T = 0,11$ МДж; $W_d = 0,8$ МДж.

Для вдосконалення моделі у «першому» наближенні необхідно враховувати силу тертя тіла о рейки. Для цього автори планують використовувати результати дослідження [2], в якому виконано оцінка коефіцієнту тертя в умовах стиснення рейок.

Список використаних джерел

1. Skosar, V. Y., Burylov, S. V., & Dzenzerskyi, V. O. (2023). Some Problems of Ultra-High-Speed Transportation Technologies. *Science and Transport Progress*, (2(102), 5–16. <https://doi.org/10.15802/stp2023/288073>.

2. Дослідження процесу тертя в електромагнітному прискорювачі макротіл. В.Ю. Скосар, С.В. Бурилов, В.О. Дзензерський. Всеукраїнська науково-практична конференція «Стан та перспективи розвитку електричного транспорту» (23-25 листопада 2022 року, м. Харків). С. 35-37. URL: https://met.kname.edu.ua/images/kAFEDRA/DOC/%D0%9A%D0%9E%D0%9D%D0%A4%D0%95%D0%A0%D0%95%D0%9D%D0%A6%D0%98%D0%AF_2022/Konferenc_ET_2022.pdf.

К. фіз.-мат. наук Скосар В.Ю., к. фіз.-мат. наук Бурилова Н.В.,

к. техн. наук Камінський В.Р., к. фіз.-мат. наук Бурилов С.В.

Інститут транспортних систем і технологій НАНУ

МОДЕЛЮВАННЯ ВІНАХІДНИЦЬКОГО ПРОЦЕСУ НА ПРИКЛАДІ ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТА

Киснево-водневі паливні елементи є перспективними джерелами електроенергії. Але платинові каталізатори, які застосовують в паливних елементах, дорогі, і недостатньо ефективно працюють. Мета дослідження: здійснити формалізацію і моделювання винахідницького процесу вдосконалення паливних елементів для зниження вартості киснево-водневих паливних елементів за умови збереження, або підвищення ефективності їхньої роботи. Дослідження є продовженням роботи [1].

Згідно Г. Альтшуллера [2], паливний елемент можна формалізувати, як технічну систему, що складається з: «поле» P_1 (потік кисню); «речовина» V_1 («кисневий» каталізатор); «поле» P (потік реагентів крізь мембрану); «речовина» V_2 («водневий» каталізатор); «поле» P_2 (потік водню). Відведення електричного струму і відвід тепла ми не вказуємо для спрощення. «Кисневий» і «водневий» каталізatori – це платинові каталізatori, які можуть мати деякі відмінності за вмістом платини і допоміжних речовин. Взаємодії між V_1 і P , а також між P і V_2 є задовільними, тому означені як прями відрізки. Нас не задовольняють взаємодії між P_1 і V_1 , а також між P_2 і V_2 , тому вони означені хвилястими відрізками. Тобто, потік кисню і потік водню незадовільно взаємодіють зі своїми каталізatori. Вказана ситуація зображена на діаграмі (рис. 1, верхня стрічка).

Методика [2] пропонує аналізувати незадовільні взаємодії $P_1 \sim V_1$, а також між $P_2 \sim V_2$, як неповні «веполі», і пропонує як заміну «речовин» V_1 і V_2 , так і добудову неповних «веполей» до повних «веполей». Заміна «речовин» V_1 і V_2 на «речовини» V_3 і V_4 проілюстровано на рис. 1, середня стрічка, а добудова до повних «веполей» проілюстровано на рис. 1, нижня стрічка.

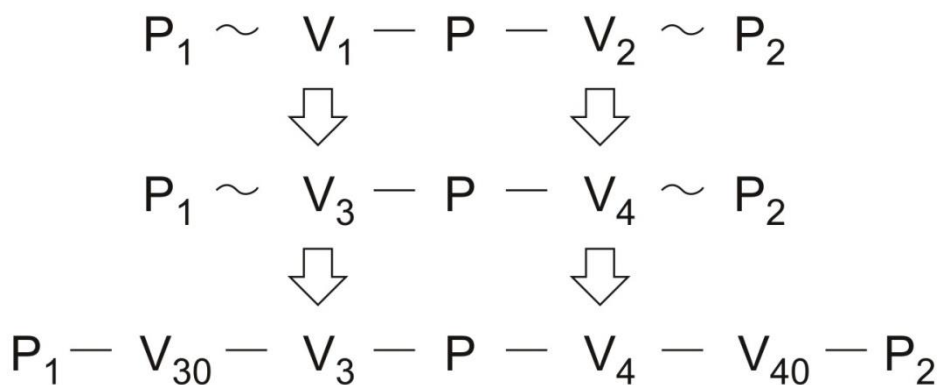


Рис. 1. Модель вдосконалення паливного елемента

Вказана модель психологічно спрощує винахідницький пошук. У конкретному випадку доцільно зробити заміну платинових каталізatori на

каталізатори, вироблені з наночастинок нікелю у вуглецевій оболонці («речовини» V_3 і V_4). Що стосується добудови до повних «веполей», то тут ми реалізуємо $P_1 - V_{30} - V_3$ замість $P_1 \sim V_3$ (замість $P_1 \sim V_1$); а також реалізуємо $P_2 - V_{40} - V_4$ замість $P_2 \sim V_4$ (замість $P_2 \sim V_2$). У конкретному випадку доцільно до каталізаторів додати розсікачі (V_{30} і V_{40}) потоків газів. Тоді повні «веполі» ($P_1 - V_{30} - V_3$ і $P_2 - V_{40} - V_4$) забезпечать більш ефективну роботу каталізаторів і паливних елементів, загалом.

Співробітники Інституту планують продовжити вдосконалення киснево-водневих паливних елементів. Такі паливні елементи можуть знайти використання в електромобілях, магнітолевітаційному транспорті та інш.

Список використаних джерел

1. Скосар В.Ю. Моделювання винахідницького процесу на прикладі літій-іонних акумуляторів / В.Ю. Скосар, С.В. Бурилов, В.О. Дзензерський // Прикладні питання математичного моделювання, 2021. Т.4, №1, С. 216-223. DOI: <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.1.23>.

2. Г.С. Альтшуллер. Творчество как точная наука. М. 1979. 184 с.

К. е. н. Стеблюк Н.Ф.* , к. техн. н. Волосова Н.М.**

**Університет митної справи та фінансів, **Дніпровський державний технічний університет*

APPLICATION OF THE CANVAS MODEL FOR DETERMINING THE STRATEGY FOR OPTIMAL MANAGEMENT OF ENTERPRISES

Business Model Canvas (BMC) is one of the most popular strategic management tools, which structures the business model of a startup, project or existing enterprise and meets the priorities of consumers and ensures the growth of performance indicators. The authors of this model are O. Osterwalder and Y. Pinier. In today's realities, the business model is a struggle for the market and for the share

that the researched company will occupy in this market, and the size of this share will be determined by the competitive offer.

A properly designed structure of the model helps to determine the full characteristics of the business, to conduct an analysis and predict possible shortcomings even at the planning stage. The model consists of 9 main structured blocks, which are interconnected and are depicted in the form of a designer table (Fig. 1).

<i>Problem</i> 1	<i>Solution</i> 4	<i>Unique Value Proposition</i> 3	<i>Unfair Advantage</i> 9	<i>Customer Segments</i> 2
	<i>Key Metrics</i> 8		<i>Channels</i> 5	
<i>Cost Structure</i> 7		<i>Revenue Streams</i> 6		

Fig.1. The main blocks of the model

In each block, questions are placed, the answers to which give a complete picture of the key parameters of a specific business model, and specific stages of planning are also displayed.

The main elements of the business model are: product, customer attraction and retention system, organizational structure and business processes, financial model, operational management and business security. The main task is systematicity: at each stage of the company's development, depending on its idea, risks, opportunities, disposition of market forces, an appropriate level of systematicity is required.

It should be noted that the business model is both a diagnostic tool and a tool for building the company's strategy and its analysis and adjustment. It is impossible to

reliably predict the success of a product. However, at the modeling stage, it is possible to determine the potential reaction of consumers to the offered product or service. For this, the following are taken into account: advantages over analogues; unique characteristics, design features; the proposed value; potential benefit for the buyer; cost.

The company's business model is the answer to the question of what a specific business is: what do we sell (what products)? Who are we selling to (target customer segments)? What alternative choices do customers have (competitive environment)? Why will the client choose to buy from us (competitive strategy)? How do we promote our products in the market (promotion channels)?

In the conducted research, a business model of a coffee shop was built based on the Business Model Canvas, which helps to analyze the advantages and disadvantages of the enterprise.

The main structural elements of the created model are:

Important partners. Who are your key partners/suppliers? Who are your raw material suppliers? Local authorities and regulatory authorities. Equipment manufacturers.

Basic actions. What are the key steps needed to realize the value proposition and generate profit? Equipment of the premises (repair, interior design, installation of equipment, furniture). Development and coordination of menus: recipes, standards. Personnel training. Preparation of drinks. Promotion, organization of events.

Key resources. What key resources does a value proposition need to be profitable? Warehouse equipment. Staff (4 bartenders (work in shifts: 2 people replace the other two), cleaner, manager, dishwasher (2 people: 1 person works in shifts)).

Key values. What is the value of the product for the client? What problem do we help our customers solve, what customer needs do we satisfy? The value of the service is the satisfaction of needs and the benefit that the customer will receive after the purchase.

Customer relations. What type of relationship exists in each of our customer segments. Focus on regular customers. A clearly defined target audience (students, businessmen, married couples, etc.). Clear positioning of the institution's format. Service orientation.

Sales channels. What channels do you plan to use to contact customers? Street advertising - postcards, flyers. Advertising for target audiences. Social networks. Customer feedback.

Customer segments. Who are our most important customers? Income - average and higher (in the region). Age categories. Type - youth, students, families with and without children, office workers.

Cost structure. Space rent, utilities. Pay. Taxes (single tax, EUV).

Income stream. What value are our customers willing to pay for? What is the contribution of each source of income to the total profit? Sale of beverages and confectionery (average margin - 100%). Hall rental. Organization of the summer playground. Sale of coffee beans (20-80% margin).

Therefore, a deep understanding of the market and all its participants is the basis for every effective business owner. On its understanding, a strong competitive business model is formed with the aim of creating a product or service with high value.

Канд. ф.-м. н. Стрєва В.О., здоб. Богданенко О.С.

Дніпровський державний технічний університет

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

В умовах обмеженості ресурсів, часу та недостатньої інформації, життя ставить перед людством виклик у потребі проектувати, досліджувати та оптимізувати складні системи, розробляти засоби керування ними. Для дослідження реальних складних систем активно застосовуються засоби імітаційного моделювання, яке полягає у розробці комп'ютерної програми,

що описує структуру і відтворює поведінку реальної системи у часі та дозволяє отримати подібну статистику про різні аспекти її функціонування в залежності від вихідних даних. Таке моделювання передбачає розробку моделей та постановку експериментів з метою прийняття обґрунтованих, доцільних управлінських рішень.

У роботі досліджено ряд прикладних динамічних логістичних процесів, проведено імітаційне моделювання систем масового обслуговування. Для дослідження деяких з цих задач використовувалися програмні засоби середовища Anylogic, за допомогою яких оптимізовано роботу одноканальної та багатоканальної системи масового обслуговування з неоднорідним потоком заяв. На базі розробленої моделі «Банк» проведено імітаційні експерименти, з метою визначення статистики завантаженості банкомату, середньої довжини черги та розподілу часу перебування клієнтів у системі. Також проведено імітаційне моделювання іншої динамічної системи, а саме, планування модернізації станції технічного обслуговування автомобілів. За допомогою комп'ютерної програми, розробленої засобами середовища Python, виконано ряд чисельних експериментів, на основі яких проведено загальний оптимізаційний аналіз, представлений у вигляді рекомендацій подальшого планування розвитку бізнес-проекту.

Розроблені алгоритми можуть бути застосовані для дослідження інших задач, які у своїй математичній постановці можуть бути зведеними до зазначених.

Doctoral student Surhanova Yu.,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences Mikhlin Yu.

National Technical University “Kharkiv Polytechnic University”

**STABILITY OF NONLINEAR NORMAL MODES IN THE SYSTEM
OF COUPLED PENDULUMS IN A MAGNETIC FIELD**

A mathematical pendulum can be considered as a basic model which is used both in science and engineering to study the dynamics of different nonlinear systems. Numerous applications of pendulums are well known too. An experimental, analytical and numerical study of a system of two coupled pendulums in a magnetic field have presented in a series of papers by researchers from the Lodz University of Technology, in particular, in [1].

We study a system of two connected pendulums in a magnetic field (Fig.1) assuming that the inertial characteristics of these pendulums vary significantly. Both regular and complex behavior of the pendulum system can be observed [2]. The regular behavior is realized in the form of the nonlinear normal vibration modes (NNMs). Such modes here can be coupled, or localized ones.

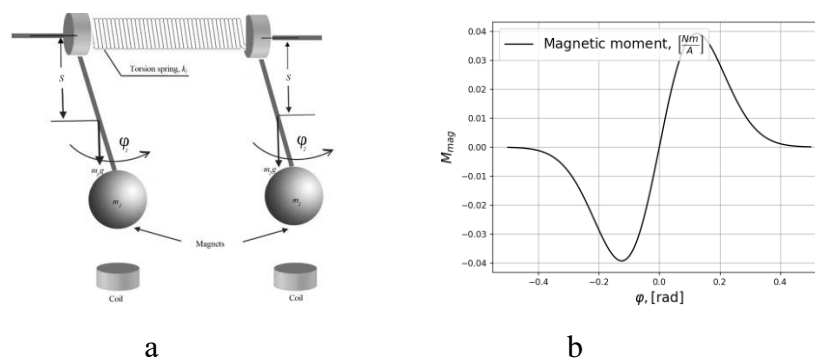


Fig. 1. System of coupled pendulums (Fig.1a) and the magnetic moment [3] (Fig.1b).

When these modes are unstable, the complex behavior of the pendulum system is observed. We analyze variations of the modal lines in the system configuration space to estimate the stability/instability of the considered modes. The numerical-

analytical approach, which is related to the Lyapunov stability criterion, is used to detect the mode instability. Equations of motion of the system can be presented as the following:

$$\begin{cases} \varepsilon\mu\ddot{\varphi}_1 = \varepsilon\gamma M_{mag_1}^*(\varphi_1) - \varepsilon\mu r^* \left(\varphi_1 - \frac{\varepsilon}{6} \varphi_1^3 \right) - k_l^*(\varphi_1 - \varphi_2), \\ \ddot{\varphi}_2 = \varepsilon\gamma M_{mag_2}^*(\varphi_2) - r^* \left(\varphi_2 - \frac{\varepsilon}{6} \varphi_2^3 \right) - k_l^*(\varphi_2 - \varphi_1), \end{cases} \quad (1)$$

where in the expansion of sine in powers of φ , terms up to the third order inclusive are preserved; μ is the ratio of the masses of the pendulums; $k_l^* = \frac{k_l}{I}$ is the coefficient charactering the elastic coupling; I is the moment of inertia; γ is the intensity of magnetic influence; $M_{mag_{1,2}}^* = \frac{M_{mag_{1,2}}}{I}$, $M_{mag_{1,2}} = \frac{2a}{b} \varphi_{1,2} e^{-\frac{\varphi_{1,2}^2}{b}}$ are the characteristics of the magnetic moments; $r^* \left(\varphi_{1,2} - \frac{\varepsilon}{6} \varphi_{1,2}^3 \right)$ are the restoring moments of the pendulums, where $r^* = \frac{r}{I}$. A formal small parameter ε characterizes the smallness of the ratio of the masses, the smallness of magnetic forces in relation to the elastic forces and the relative smallness of nonlinear terms. The mentioned vibration modes are constructed by the multiple scales method.

Procedure for studying the stability of vibration modes. We analyze the stability of the NNMs using the analytical-numerical procedure, described in [3], which permits obtaining boundaries of the NNM stability/instability regions in the system parameter space. The following test to estimate variations y is used: the instability of the solution $y = 0$ is fixed if

$$|y(t)| \geq \rho |y(0)| \quad (0 \leq t \leq T) \quad (2)$$

In contrast to the Lyapunov definition, the time of numerical calculations T is restricted in the test (8). Notice that all concrete calculations are made at points of some chosen mesh of the chosen region of the system parameter space. *These calculations are carried out until the boundaries of the stability/instability regions on a selected mesh in the space (or place) of parameters are stabilized.* This is a principal criterion for determining the calculation time T . Besides, there is some arbitrariness in choosing the value of ρ . In fact, in the instability region, variations

move outside the ε -neighborhood of the solution as t increases, regardless of the chosen parameter ρ . Thus, we can use it in the following simulation, in particular, $\rho = 10$. Here the stability of the vibration mode is determined by estimation of *orthogonal variations* from the main rectilinear part of the *modal line* in the system configuration space.

Results of the vibration mode stability analysis. Numerical calculations show that the simulation time should not exceed 1000 s. With a shorter simulation duration, the number of instability nodes increases in the plane (or in the space) of the studied system parameters. However, extending the simulation duration beyond 1000 s does not increase the number of instability nodes. Some results of the coupled mode stability analysis are shown in Fig. 2.

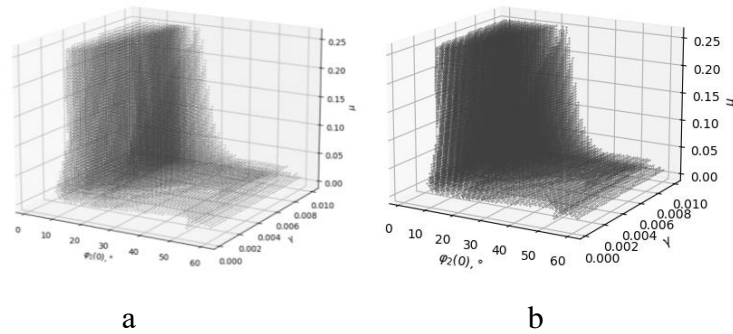


Fig. 2. Instability regions of the coupled mode in the parameter spaces $\varphi_1(0), \gamma, \mu$ (Fig.2a) and $\varphi_2(0), \gamma, \mu$ (Fig.2b).

Direct checking calculations by the Runge-Kutta method of the fourth order confirm the obtained results on the mode stability. Other combinations of system parameters can afford similar results. Investigation of the localized mode stability is made too.

The obtained results allow us to draw important conclusions regarding the stability/instability of vibration modes. In particular, both modes are unstable at small initial deflections of the pendulums, when the effect of magnetic excitation is significant. Besides, increasing the values of the mass ratio and coupling coefficient reduces the number of these instability nodes. Conversely, for the localized mode, increasing the mass ratio increases the number of instability nodes.

References

1. Wijata A., Polczyński K., Awrejcewicz J. Theoretical and numerical analysis of regular one-side oscillations in a single pendulum system driven by a magnetic field. *Mech. Syst. Signal Process.* 2021. Vol.150. P.107229.
2. Surganova Yu.E., Mikhlin Yu.V. Localized and non-localized nonlinear normal modes in a system of two coupled pendulums under a magnetic field. *Int. J. Non Linear Mech.* 2022. Vol.147. P.104182.
3. Mikhlin Y.V., Shmatko T.V., Manucharyan G.V. Lyapunov definition and stability of regular or chaotic vibration modes in systems with several equilibrium positions. *Comput. Struct.* 2004. Vol.82 (31-32). P.2733–2742.

**Д. техн.н. Тогобицька Д.М., к. техн.н. Кисляков В.Г.,
к. техн.н. Молчанов Л.С.**

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

ФІЗИКО-ХІМІЧНА МОДЕЛЬ СПІЛЬНОГО ВИДАЛЕННЯ S, SI, P ІЗ ЧАВУНУ СПОСОБОМ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

В умовах підвищення вимог до конкурентоспроможності за умов забезпечення високої якості металопродукції гостро стоїть питання щодо підготовки складових металошихти конвертної плавки (зокрема чавуну, що має широкі межі коливань щодо вмісту домішок (Si, S, P)).

Процеси десульфурації, дефосфорації та десиліконізації успішно протікають у різних умовах: десульфурація-відновлювальних, дефосфорація-окислювальних.

Проблеми зниження вмісту сірки в чавуні успішно вирішуються шляхом використання численних технологій із застосуванням як реагентів вапна або магнію, так і їх сумішей.

Проблема дефосфорації чавуну вирішена меншою мірою і рішення її реалізується, як правило, з використанням багаступінчастої технології, що включає десиліконізацію чавуну на жолобі доменної печі, подальше скачування шлаку і остаточну десиліконізацію чавуну та його дефосфорацію в чавуновозних або заливальних ковшах. При цьому використовується значна кількість реагентів до 80-100 кг/т, а процес супроводжується значним зниженням температури чавуну (150-170 °С). З цих причин ці технології неприйнятні для роботи підприємств України.

Зменшення часу обробки та втрат температури чавуну може бути здійснено шляхом поєднання процесів десульфурації та дефосфорації в комплексну технологію.

У рамках проведення роботи, застосовуючи теорію направленої хімічної зв'язки проведена низка розрахунків, а також подальший аналіз отриманих результатів, спрямований на побудову фізико-хімічних моделей комплексної обробки чавуну.

Для виявлення оптимальних співвідношень компонентів суміші проведено експериментальні обробки, деякі результати з яких наведені на рисунках 1 та 2, де основність $B = (CaO + Na_2CO_3) / (SiO_2 + Al_2O_3)$, в'язкість $\eta = f(\Delta e, \rho)$. $\Delta e, \rho$ - параметри міжатомної взаємодії [1].

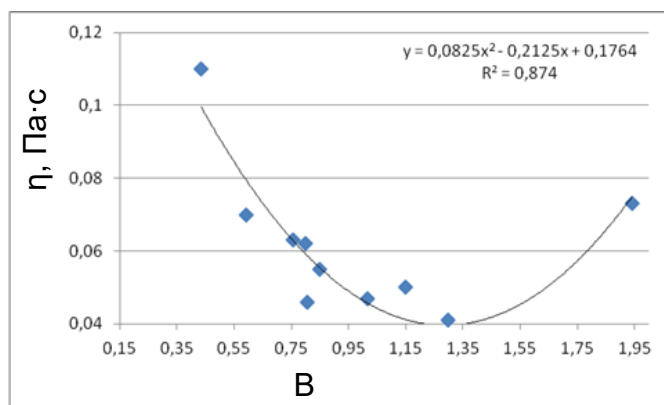


Рис. 1. Вплив основності содовмісного шлаку на його в'язкість

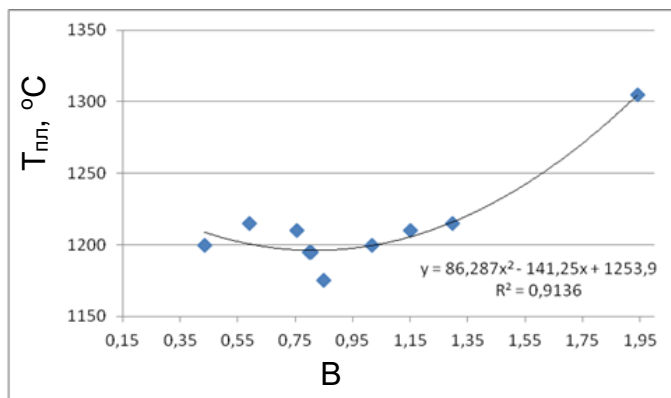


Рис. 2. Вплив основності содовмісного шлаку на його температуру плавлення

Проведено лабораторні дослідження на «гарячій» моделі. Під час досліджень в якості реагентів використовували CaO, FeO, Na₂CO₃ і їхні суміші в заданих співвідношеннях. Проведено 10 обробок, які супроводжувалися відбором проб та введенням реагентів.

За результатами виконаних експериментальних досліджень і отриманих даних хімічного складу було проведено аналіз поведінки домішок чавуну в залізовуглецевому розплаві при комплексній обробці.

Побудовано картограми (рис. 3) попарного впливу компонентів суміші системи CaO-FeO-Na₂CO₃ на ступінь видалення домішок [2]. Отримані емпіричним шляхом результати збігаються з теоретичними висновками, які були зроблені раніше.

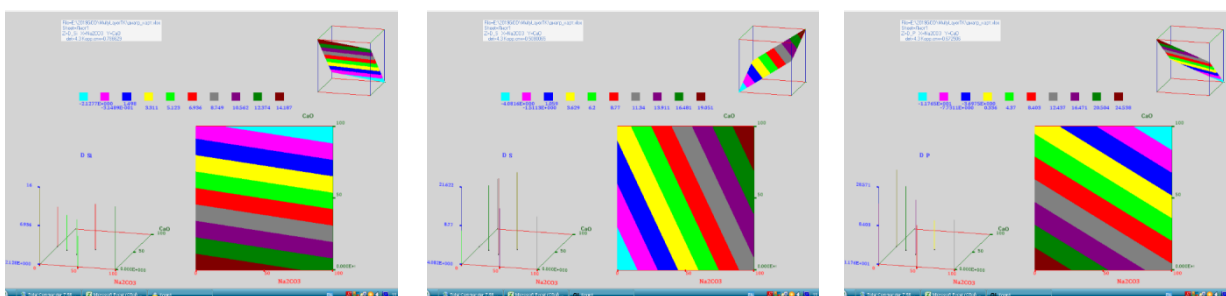


Рис. 3. Картограми впливу системи Na₂CO₃-CaO на ступінь видалення зазначеної домішки за результатами експериментальних досліджень

Побудовані потрійні діаграми (рис. 4) стану впливу компонентів суміші системи $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$ на ступінь видалення домішок при комплексній обробці. Це дозволило оцінити раціональний склад рафінуючої суміші для умов лабораторних досліджень – $\text{FeO} - 30\%$, $\text{CaO} - 60\%$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 - 10\%$.

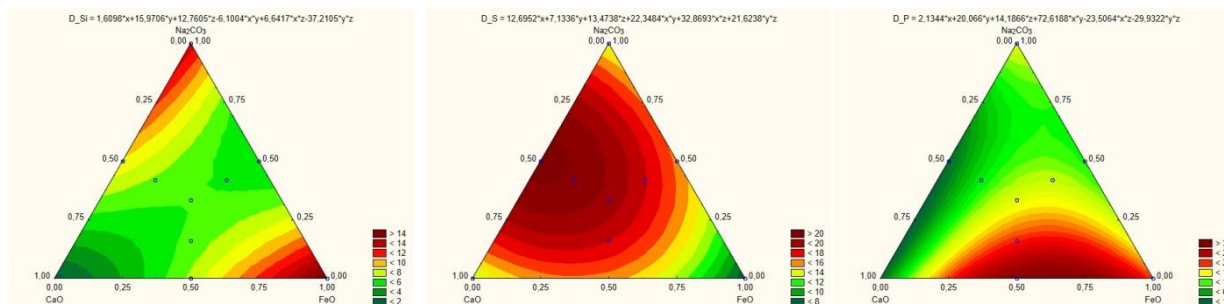


Рис. 4. Потрійні діаграми стану впливу компонентів суміші системи $\text{CaO-FeO-Na}_2\text{CO}_3$ на ступінь видалення домішок за результатами експериментальних досліджень

Список використаних джерел

1. Приходько Э. В. *Металлохимия многокомпонентных систем.* - М.: Металлургия, - 1995, - 320 с.
2. Приходько Э. В. *Прогнозирование физико-химических свойств оксидных систем* / Приходько Э. В., Тогобицкая Д. Н., Хамхотько А. Ф., Степаненко Д. А. – Днепропетровск: "Пороги". – 2013. – 344 с.

К. техн. н. Шматко Д.З., магістр Власенко А.Є.

Дніпровський державний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МАРШРУТНОЇ СИСТЕМИ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ ВЕЛИКОЇ МІСТКОСТІ

Будь-яка маршрутна система міста повинна відповідати реальним пасажиропотокам як за розмірами, так і за напрямками. Інформацію про розміри і напрямлення транспортних переміщень населеного пункту дає матриця пасажиропотоків, яка представляє собою таблицю, в якій для кожної пари мікрорайонів вказано кількість поїздок за певний проміжок часу. При оптимізації маршрутної системи необхідні відомості про пасажирообіг

зупиночних пунктів, обсязі перевезень по маршрутам і видам транспорту. Однією із головних характеристик маршрутної системи являються витрати часу пасажирів (сумарні або середні) на одну сітьову поїздку (від пункту відправлення до пункту призначення). На зниження цих витрат і спрямована оптимізація маршрутної системи.

Оскільки вдосконалення маршрутної системи досить складний і працемісткий процес, він практично неможливий без застосування економіко-математичних методів. Так, маршрутну автотранспортну систему можна представити як модель, яка складається з трьох частин: топологічної схеми, перечня маршрутів і матриці пасажиропотоків.

Перелік маршрутів повинен містити по кожному з них інформацію про трасу руху, довжині маршруту як добутку довжин відповідних ділянок топологічної схеми від початкового до кінцевого пункту, а також о середній пасажиромісткості автобусів по маршрутам, кількості їх і інтервалах руху. Така модель дозволяє отримати майже всі характеристики маршрутної системи. Алгоритм розрахунку оптимізації маршрутної автотранспортної системи заключається в мінімізації сумарних витрат часу пасажирів на поїздки на базі матриці пасажиро потоків і транспортної мережі, яка задається топологічною схемою зв'язків мікрорайонів конкретного населеного пункту.

При розрахунках розглядається три можливих випадки: для міста яке тільки проектується, для міста яке розвивається і має транспортну мережу; для встановлення зв'язку міста з новим районом. У всіх цих випадках необхідно враховувати розміри пасажирських потоків, дальність поїздок пасажирів, собівартість перевезень і обсяги капіталовкладень. Необхідно встановити межі, в яких конкретні види автотранспорту і типи рухомого складу будуть мати найкращі економічні показники.

Річна кількість пасажирів, яка перевозиться автобусами великої місткості, складає

$$Q_p^A = d_x Q_p^{3a2}, \quad (1)$$

де Q_p^{3a2} – загальна кількість пасажирів, яка переводиться за рік

$$Q_p^{3a2} = k_{жс} P_{тр}, \quad (2)$$

де $k_{жс}$ – перспективна прогнозуємо кількість жителів; $P_{тр}$ – прогнозуємо транспортна рухомість населення.

Користуючись розрахунковими значеннями річних обсягів перевезень пасажирів різних видів транспорту згідно їх частки в опануванні загальноміського обсягу перевезень, можна визначити необхідну кількість рухомого складу для кожного виду транспорту, наприклад для автобусного буде складати

$$A = \frac{Q_p^A}{W_Q^A} = \frac{Q_p^A l_{in}^{cp} \eta_n}{365 V_T T_n q^{cp} \gamma_\partial \alpha_B}, \quad (3)$$

де Q_p^A – річний обсяг перевезень, який припадає на автобусний транспорт, пас.; l_{in}^{cp} – середня дальність поїздки на автобусному транспорті, км; η_n – коефіцієнт нерівномірності обсягів перевезень пасажирів; V_T – технічна швидкість, км/год; T_n – час перебування в наряді, год; q^{cp} – середня місткість рухомого складу; γ_∂ – динамічний коефіцієнт використання місткості; α_B – коефіцієнт використання парку автомобілів.

Розподілене по маршрутам загальне навантаження дає підставу для пропорційного по маршрутного розподілення рухомого складу. Кількість автобусів на конкретному маршруті визначається за формулою

$$A_M = \frac{Q_M^A \alpha_B}{Q_p^A}, \quad (4)$$

де Q_M^A – навантаження (обсяг перевезень) на даному маршруті.

До основних техніко-економічних показників роботи міського пасажирського транспорту відноситься річна продуктивність на одно автобусо-місце.

Продуктивність автобусо-місце (в пас-км) визначається за формулою

$$W_c = 365 \alpha_B T_n V_e \beta q \gamma, \quad (5)$$

де α_B – коефіцієнт використання автобусів; T_n – середній час знаходження рухомого складу у парці за добу, год; V_e – експлуатаційна швидкість, км/год; β – коефіцієнт використання пробігу; q – місткість автобуса; γ – коефіцієнт використання місткості автобусів.

Середньодобова потреба в рухомому складі автобусного парку визначається за формулою

$$P_u = \frac{\sum ql \cdot \eta_{сез} \cdot \eta_{доб}}{W}, \quad (6)$$

де $\sum ql$ – пасажирообіг, пас.км; $\eta_{сез}$ – коефіцієнт, який враховує сезону нерівномірність пасажиро потоків; $\eta_{доб}$ – коефіцієнт, який враховує добову нерівномірність пасажиро потоків.

Визначення необхідних можливостей необхідно проводити не по середньодобовим перевезенням, а по перевезенням у години „пік”. За основу приймаються ранкові години „пік”, в які спостерігається велика концентрація пасажирів у часі. Транспортна рухомість населення у години „пік” в звичайний трудовий день досягає 0,12 добової величини.

Югай В.Т., к. техн. н. Клімов Р.О.

Дніпровський державний технічний університет

ВПЛИВ РОЗВИНЕНИХ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ НА ОБ’ЄМ ПІДГРІВАЧА

Геометричні параметри підігрівачів або охолоджувачів є одними з найважливіших при проектуванні, тому що не завжди можна теплообмінник розташувати у відведеному приміщенні в схемі циклу виробництва. До таких параметрів можна віднести довжину трубок теплообмінника та його зовнішній об’єм. При оптимізації параметрів підігрівачів завжди необхідно досягати

мінімальних витрат матеріалів на виготовлення, на що впливає довжина трубчастої системи, загальний займаний об'єм, при найбільшому рівні теплопередачі. Тому завдання оптимізації конструкції теплообмінників є актуальним.

Найбільшого використання для підігріву або охолодження середовища знаходять кожухотрубні теплообмінники. Такий тип теплообмінників дозволяє використовувати розвинені поверхні теплообміну, а саме оребрені трубки. Такі трубки використовуються для збільшення площі теплообміну між теплоносієм і повітрям, що значно зменшує об'єм, який займає теплообмінник.

Метою роботи є визначення впливу коефіцієнту оребрення, несучого діаметру оребрення трубки та довжини однієї оребреної трубки, як основних факторів на геометричний об'єм теплообмінника.

Для раціональної постановки експерименту по визначенню впливу факторів на таку характеристику теплообмінника як його об'єм обрано центральний композиційний план другого порядку $k = 3$. Дослідженню підлягають наступні фактори: x_1 – довжина однієї трубки, м; x_2 – несучий діаметр оребрення, м; x_3 – коефіцієнт оребрення. За функцію відгуку прийнято загальний об'єм теплообмінника y_1 , м³.

Проводячи дослідження впливу прийнятих параметрів на загальний об'єм апарату була отримана математична модель досліджуваного процесу

$$\hat{y}_1 = (7,32 + 1,85x_1 + 2,553x_2 + 2,222x_3 + 0,432x_1x_2)10^{-3} + (0,358x_1x_3 + 0,564x_2x_3 + 8,971 \cdot 10^{-3}x_1^2 + 0,198x_2^2 + 0,307x_3^2)10^{-3}. \quad (1)$$

Порівняння коефіцієнтів регресії за абсолютними величинами при розрахованих довірчих інтервалах показує, що для даної моделі можна не вважати статистично значущими коефіцієнт при x_1^2 , який можна виключити з рівняння (1). У зв'язку з цим розглянуте рівняння можна спростити до виду

$$\hat{y}_1 = 7,32 + 1,85x_1 + 2,553x_2 + 2,222x_3 + 0,432x_1x_2 + 0,358x_1x_3 + 0,564x_2x_3 + 0,198x_2^2 + 0,307x_3^2, \quad 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (2)$$

Аналізуючи рівняння (2) видно, що найбільший вплив на загальний об'єм теплообмінника має фактор x_2 (несучий діаметр труби). Вплив коефіцієнту оребрення має вторинне значення на об'єм теплообмінника так само як і на загальну довжину його трубок. В той же час такий фактор як довжина однієї трубки має найменший вплив на шукану функцію. Слід відзначити відсутність від'ємних значень коефіцієнтів при факторах для функції об'єму апарату. Досягнути зменшення загального об'єму апарату можна зменшенням довжини однієї трубки, коефіцієнту оребрення та несучого діаметру трубки.

Тим самим, зменшення довжини однієї трубки призводить до більшого ефекту в зниженні об'єму теплообмінника ніж відповідне зменшення коефіцієнту оребрення та несучого діаметру трубки. Сумісний вплив розглядаємих факторів лише додає вагомості зміні окремих значень факторів.

В розмірному виді рівняння (2) можна записати

$$V = 3,274 - 3,418l_1 - 291d_n - 0,533k_{or} + 12375d_n^2 + 0,0192k_{or}^2 + 540l_1d_n + 0,448l_1k_{or} + 35,25d_nk_{or}, 10^{-3} \text{ м}^3. \quad (3)$$

Підставляючи значення довжини однієї трубки, несучого діаметру оребрення та коефіцієнту оребрення в рівняння (3) можна визначити загальний об'єм теплообмінника. Дане рівняння в достатньо простому вигляді дозволяє проаналізувати вплив основних параметрів на знаходження мінімальної величини V при заздалегідь заданому значенні одного з параметрів.

Секція 3

АЛГОРИТМИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Андрєєв І.В., к. техн. н. Надригайло Т.Ж.,

Дніпровський державний технічний університет

СУЧАСНІ ЗАСОБИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Комп'ютерне моделювання за допомогою нейронних мереж широко використовується в різних сферах, включаючи науку, техніку, медицину, фінанси та інші.

Загалом, нейронні мережі відіграють ключову роль у розв'язанні прикладних задач комп'ютерного моделювання завдяки їхній здатності до вивчення складних закономірностей у даних і адаптації до нових умов.

У сучасному світі все частіше зустрічається необхідність автоматичного розпізнавання тексту з фотографій, зображень або відео. Це може бути переклад рукописного тексту на іншу мову або просто швидке цифрове утворення інформації з паперових носіїв – в будь-якому разі, така можливість значно полегшує життя людини.

Реалізація алгоритму розпізнавання тексту можлива за допомогою штучних нейронних мереж. Нейронна мережа – це математична модель, а також її програмне або апаратне втілення, побудована за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж. Фактично, в кінцевому результаті ми отримуємо продукт, який імітує людське мислення.

Актуальність цієї роботи полягає в розробці нового алгоритму розпізнавання текстів, який виправить недоліки існуючих систем, а також скоротить обсяг використовуваних ресурсів та затраченого часу.

Метою роботи є розробка нового алгоритму розпізнавання текстів на зображенні.

У процесі тестування алгоритму на вхід програми подавалися різні зображення, що мали відмінності між собою. Основними параметрами тестування є:

- Кількість символів у тексті дорівнює 5.
- Використовувалися шрифти Arial, Times New Roman, Calibri.
- Текст на зображенні написаний на світлому фоні.
- Текст на зображенні може бути чорним або кольоровим.
- Кольоровий текст на зображенні має бути яскравим.
- Текст написано з використанням англійського алфавіту.
- Розмір шрифту однаковий.

Для кожного шрифту було проведено 10 тестів, 5 з них проводилися з текстом чорного кольору, та ще 5 з кольоровим. За підсумками всіх тестів було побудовано таблицю:

Таблиця 1 — Результати тестування алгоритму для чорно-білих зображень

Шрифт	Кількість правильно визначених символів					Всього
Times New Roman	2	4	3	2	4	15
Calibri	5	5	5	3	4	22
Arial	5	5	5	4	5	24
Всього	12	14	13	9	13	

За даними, наведеними у таблиці 1, можна зробити наступний висновок. Алгоритм ефективно розпізнає символи на чорно-білих зображеннях. Проте, коли йдеться про розпізнавання символів у шрифті Times New Roman, алгоритм допускає певну кількість помилок.

На наступній таблиці представлені результати роботи алгоритму щодо кольорових символів на зображенні.

Таблиця 2 — Результати тестування алгоритму для кольорових зображень

Шрифт	Кількість правильно визначених символів					Всього
Times New Roman	1	1	1	1	2	6
Calibri	1	1	2	1	3	8
Arial	3	2	2	3	4	14
Всього	5	4	5	5	10	

З таблиці 2 видно, що система менш успішно справляється з кольоровими зображеннями, тому що вони містять додаткову інформацію про колір, що впливає на роботу нейронної мережі.

Розмір символів є ще однією важливою характеристикою тексту. Тому, для перевірки системи, були проведені тести з зображеннями, що містять символи різних розмірів. Для тестування використовувався шрифт Arial, який показав кращі результати порівняно з іншими шрифтами. Початковий розмір зображення становив 350 на 200 пікселів. На зображенні були присутні три слова, які склались з 11 різних символів. Кожна нова спроба містила інший набір символів для більшої різноманітності тестів.

Таблиця 3 — Результати тестування алгоритму за різних розмірах шрифту

Спроба №	Розмір шрифту							
	72	48	36	28	24	18	14	10
1	9	9	8	10	10	5	5	0
2	9	9	8	9	8	6	2	0
3	11	11	10	11	11	8	5	0

На основі даних, представлених у таблиці 3, можна зробити такий висновок: точність розпізнавання символів залежить від самого символу та розміру тексту. Більші розміри тексту сприяють більш точному розпізнаванню. При розмірі шрифту менше або дорівнює 10 точність розпізнавання стає нульовою. Для досягнення точного розпізнавання тексту, необхідно забезпечити достатню відстань між літерами так, щоб контури літер не перетинались.

Для поліпшення точності розпізнавання символів у слові необхідно провести повторне навчання нейронної мережі з метою розпізнавання лише літер, оскільки у попередніх випадках мережа неправильно класифікувала символ "O" як цифру "0". Це не є коректним в умовах задачі.

Ще одним недоліком алгоритму є збільшення часу обробки зображення при збільшенні кількості символів на ньому. Це стається через послідовну обробку знайдених контурів. Для поліпшення цієї ситуації можна розглянути

можливість розробки паралельної версії алгоритму, що дозволить розподілити обробку контурів між кількома незалежними потоками і зменшить загальний час роботи програми.

Таким чином, після проведення ряду тестів над розробленим алгоритмом, була зібрана деяка кількість даних, які надали важливу інформацію про його продуктивність в різних умовах. Під час тестування використовувалися різноманітні вхідні зображення, що включали різні шрифти, кольори та розміри символів. Результати тестів були систематизовані і представлені у вигляді таблиць та графіків. Були виявлені певні недоліки алгоритму, і були запропоновані можливі покращення для його подальшого вдосконалення.

Магістрант Андрєєв О.В., к. техн. н. Надригайло Т.Ж.

Дніпровський державний технічний університет

АЛГОРИТМИ ТА МЕТОДИ АФІННИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ 2D-ТРАНСФОРМАЦІЙ В ГРАФІЧНИХ ВЕБ-РЕДАКТОРАХ

Афінні перетворення є ключовим елементом комп'ютерної графіки, особливо в області створення та маніпулювання 2D зображеннями та анімаціями. Графічні веб-редактори є одним з ключових інструментів, які користувачі використовують для створення та обміну цифровим контентом, таким як зображення, анімація, відео та інтерактивні елементи.

Однак, не дивлячись на те, що алгоритми та методи афінних перетворень широко використовуються, вони часто мало зрозумілі багатьом розробникам. Це обумовлено складністю математичної теорії, що стоїть за цими перетвореннями, а також різноманітністю різних підходів до їх реалізації в різних веб-редакторах.

Сучасні вимоги до продуктивності та якості рендеринга графіки в веб-редакторах продовжують зростати. Таким чином, вивчення та вдосконалення

алгоритмів та методів афінних перетворень для реалізації 2D-трансформацій в графічних веб-редакторах має високу актуальність. Глибоке розуміння цих методів і алгоритмів також може сприяти новаторству в галузі веб-дизайну та розвитку нових типів веб-редакторів.

Метою даної роботи є дослідження різних алгоритмів та методів, що використовуються для реалізації 2D-трансформацій у графічних веб-редакторах, а також розробка та реалізація власних алгоритмів, які забезпечують ефективне виконання афінних перетворень.

Об'єктом дослідження є алгоритми та методи афінних перетворень для реалізації 2D-трансформацій у графічних веб-редакторах. Дослідження спрямоване на вивчення принципів цих трансформацій та їх впливу на графічні об'єкти, а також на пошук ефективних рішень для їх реалізації.

В роботі розглянуті основні принципи афінних перетворень, включаючи масштабування, поворот, зсув та перекид, а також їх взаємодію з графічними об'єктами, вивчені існуючі алгоритми та методи, такі як алгоритми Брезенхема та Ву для растеризації ліній та кола, алгоритми заповнення областей та багато інших.

Результатом роботи є власний веб-редактор, який має наступний функціонал:

- Додавання 4 базових фігур на полотно: прямокутник, трикутник, зірка і еліпс.
- Видалення фігур.
- Кожна фігура має наступні атрибути: позиція (зсув): по осях x і y ; розмір: ширина і висота; кут повороту; кут нахилу; прозорість.
- Всі атрибути доступні для зміни на панелі властивостей.
- Є можливість перетягування, зміни розміру та повороту фігури вручну за допомогою відповідних графічних елементів інтерфейсу (маніпулятора), без введення конкретного числового значення в поля з атрибутами.
- Анімація фігур. Анімація, крім анімованих значень, також містить затримку, тривалість і функцію залежну від часу для реалізації різноманітних ефектів та плавності анімацій. Для анімації доступні наступні атрибути: позиція (зсув): по

осях x і y , масштабування: у горизонтальному та вертикальному напрямках, кут повороту, кут нахилу, прозорість.

- Анімація фігур не порушує поведінку маніпулятора. Його все ще можна використовувати для зміни атрибутів фігури (тобто початкового значення анімації).
- Доступність відтворення, скидання і перегляду загального часу анімації. Фігури анімуються окремо одна від одної, але відтворення та час анімації є загальними для всіх з точки зору користувача.

Для створення графічного веб-редактору обрано мову TypeScript (JavaScript) та сучасний фреймворк JavaScript Vue.js.

Для графічного інтерфейсу обрано бібліотеку PrimeVue через її широкий набір компонентів і тем, а також через простоту та відмінну документацію. Для спрощення роботи з матрицями та обчислення базових матричних операцій використано бібліотеку mathjs. Для спрощення створення анімацій обрано бібліотеку animejs. Вона має високу продуктивність та є досить низькорівневим інструментом для гнучкої анімації CSS властивостей та JS об'єктів.

На рисунку 1 представлено результат роботи програми.

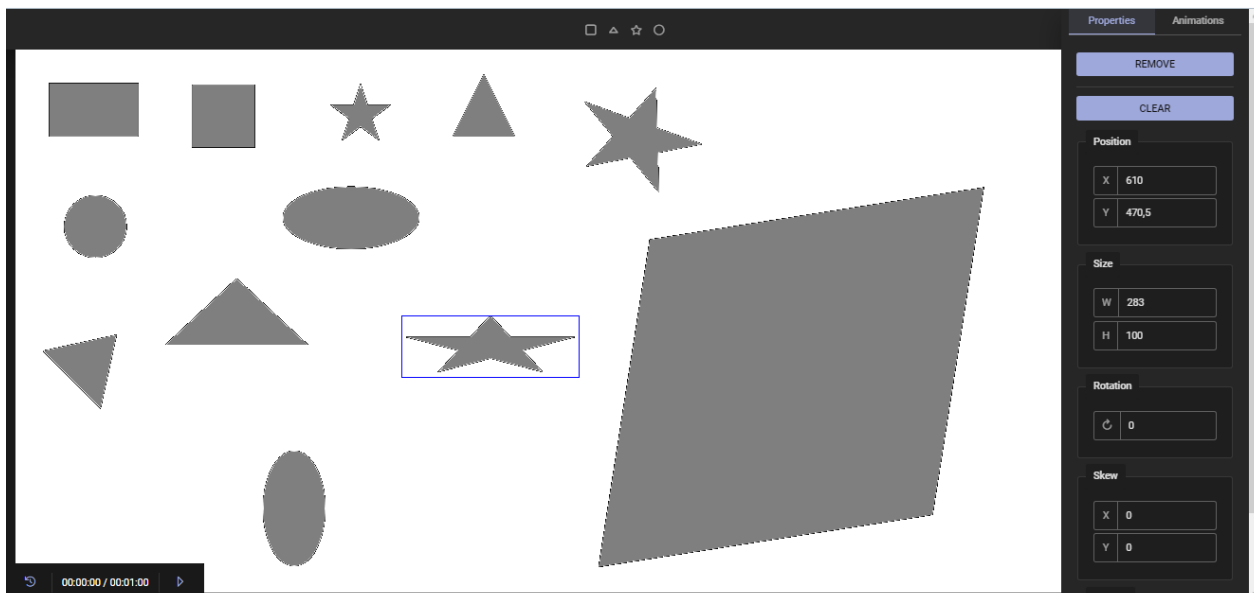


Рис. 1. Графічний веб-редактор

Інтерфейс програми, який представлений на панелі праворуч, надає можливість обирати потрібну фігуру, встановлювати початкові координати її розташування, змінювати кут нахилу, обертати фігуру в заданому напрямку. Також є можливість видалити обрану фігуру, змінити її прозорість та зробити анімацію перетворень фігури.

Висновки. В роботі проведено дослідження та аналіз існуючих алгоритмів та методів для реалізації 2D-трансформацій у графічних веб-редакторах; розроблено новий алгоритм, заснований на поєднанні існуючих підходів, який забезпечує ефективне виконання афінних перетворень; розроблений алгоритм реалізований у вигляді прототипу графічного веб-редактору.

Результати даної роботи можуть бути застосовані у реальних проектах з розробки графічних веб-редакторів, покращуючи їх функціональність та продуктивність при роботі з 2D-трансформаціями.

PhD M. Babenko¹, PhD Y. Babenko²,

Master's student R. Kompaniits¹

¹Dniprovsky State Technical University

²Taras Shevchenko National University of Kyiv

ENSURING THE INTEGRITY AND AVAILABILITY OF VIDEO INFORMATION RESOURCES IN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

The current state of information and communication systems is characterized by a sharp increase in the use of video information monitoring to ensure the security of critical infrastructure facilities. As a result, video information resources now occupy the largest segment of traffic in these systems, particularly those utilizing wireless technologies.

However, modern information and communication networks often lack sufficient bandwidth to ensure the availability of video information resources. This

inadequacy leads to significant losses in information security, specifically concerning the availability and integrity of these resources. Consequently, the increased risk to the efficient operation of critical infrastructure facilities underscores the need for enhancing the availability and integrity of video information resources in monitoring systems.

According to the ISO/IEC 27001:2010 standard, information security involves preserving the confidentiality, integrity, and availability of information. Additional properties such as authenticity, traceability, non-repudiation, and reliability may also be considered. Availability refers to the property of an information resource that ensures an authorized user or process can access it according to security policy rules within an acceptable time frame. Integrity ensures that information cannot be modified by unauthorized users or processes.

Recent studies in Ukraine and abroad have demonstrated that an effective approach to improving information security, in terms of availability and integrity, involves reducing the intensity of video streams. This can be achieved through the development and application of efficient syntactic coding technologies, which help to offload information and communication networks starting from the access network. A particularly effective method involves the preliminary identification of segmented video images, allowing the determination of the most informative segments—those containing the most critical objects of interest. This method ensures a higher level of information integrity while reducing psychovisual redundancy, thereby enhancing the availability of information resources.

In conclusion, it is evident that further scientific and applied research aimed at developing effective coding methods for video information resources is crucial. Such advancements will significantly enhance the information security of these resources concerning their availability and integrity.

PhD M. Babenko, Master's student I. Shevchenko

Dniprovsky State Technical University

STEGANOGRAPHIC HIDING OF INFORMATION IN FB2 FORMAT FILES

Recently, steganography has become one of the popular methods for protecting information. The term "steganography" refers to hidden messages that completely exclude the possibility of third parties discovering their existence. Steganography is the science of transmitting a "secret" message from the sender to the receiver in such a way that the fact of the transmission itself remains hidden from observers. In English literature, methods for hidden data transmission are often referred to as "data hiding." This hidden transmission condition distinguishes steganography from cryptography, where the fact of transmitting a secret (encrypted) message is not hidden and is well known. This distinction is significant because in many cases, the mere exchange of encrypted messages can be evidence of illegal activity or, at the very least, raise suspicions. This characteristic allows solving important information protection tasks within traditionally existing information flows or environments.

Computer steganography is based on two main principles. First, files with digitized images, as well as audio and video files, can be altered to some extent without losing their functionality. Second, the human ability to discern minor changes in sound or color is quite limited. Steganographic methods allow for the replacement of insignificant data parts with necessary information.

Existing algorithms for embedding secret information can be divided into several groups:

- 1 Those that work with the digital signal itself. This group includes the LSB (Least Significant Bit) method.
2. Embedding secret information, often used for digital watermarks.
3. Utilizing file format capabilities.

Steganographic methods that use multimedia files as containers often rely on replacing the least significant bit of the original data with a bit mask of the embedded

data. This approach changes the bit distribution pattern. To avoid significantly disrupting the structure of the original data, either pseudorandom filling is used, or the density distribution function of the original data is analyzed, and the container is filled according to the determined pattern.

Images, audio, and video are some of the most popular carriers for steganography. However, text is ideal for steganography due to its ubiquity and smaller size compared to these media. Text steganography involves hiding information within text. Text has been one of the oldest means of hiding data, with letters, books, and telegrams being used to conceal secret messages before the advent of digital steganography. Additionally, text documents are the most common digital media today, found in newspapers, books, web pages, source codes, contracts, advertisements, etc. Therefore, the development of text steganography and steganalysis is very important. On one hand, methods for hiding data in text documents pose a significant threat to cybersecurity and offer a new communication tool for terrorists and other criminals. On the other hand, these methods can have legitimate applications in document tracking, copyright protection, authentication, and the investigation of counterfeits and forgeries.

To embed hidden data in a text document, text steganography methods are typically used. These methods can be easily embedded into any text, regardless of its content, purpose, or language. However, such methods are easily broken, and the secret information can become accessible to third parties. Additionally, a major drawback is that these methods cannot transmit a large amount of hidden information. Therefore, we apply the LSB (Least Significant Bit) method to text steganography, usually used with digital signals, which involves replacing the least significant bits of the container with the bits of the message to be hidden.

As the container, we have chosen the FB2 file format. The FB2 standard aims to ensure maximum compatibility and manageability for freely distributed e-books. An FB2 document is an XML (Extensible Markup Language) file. XML is designed for

storing structured data, exchanging information between programs, and creating more specialized markup languages (e.g., XHTML), sometimes called dictionaries.

The human eye cannot distinguish minor shades of the same color. This can be exploited when developing an algorithm for embedding secret data in an FB2 file. We have a message that needs to be hidden in the document, which must already contain textual information. The volume of this information will determine the amount of data that can be embedded. The more text the document contains, the more data we can hide within it. The data will be embedded in the RGB channels of each text character's color in the file. First, we need to parse the document to extract all necessary data: the text and the color information of each character in RGB format. Then, we replace the least significant bit of the color components with the bits of our message. This operation will not introduce noticeable distortions to the text color, making it imperceptible to the human eye. Instead, it will allow us to embed exactly 1 byte of our message into the color of each character in the input file. Therefore, the maximum number of bytes (or characters) that can be hidden will equal the number of characters in the document.

Similarly, data extraction from the container is performed by parsing the document, obtaining the colors of the text characters in RGB format, and reading the last bits of each channel. These bits will constitute one byte (or character) of hidden data. By performing these actions for all colors, we will obtain the full text of the secret message.

PhD M. Babenko, Master's student V. Yakymenko

Dniprovsky State Technical University

USING ONTOLOGICAL TOOLS IN CREATING INTELLIGENT SYSTEMS IN E-COMMERCE

E-commerce, also known as electronic commerce, encompasses all platforms and services where payments are made online, primarily through internet stores that accept electronic payments. However, e-commerce is not limited to financial or trading transactions conducted via networks; it also includes global business process chains associated with conducting transactions.

Today, electronic commerce encompasses the electronic purchase or sale of goods through online services or the internet, mobile commerce, electronic funds transfers, supply chain management, internet marketing, online transaction processing, electronic data interchange (EDI), inventory management systems, and automated data collection systems.

With the rise of digitalization and mass transition to online platforms, e-commerce has become a key driver of significant changes in the global economy. Access to e-commerce is now possible from any smart device: by April 2022, there were 5 billion unique internet users worldwide, accounting for 63% of the global population. Consequently, approaches to launching and promoting new products are evolving.

The main reasons people order goods online include free delivery (53%), promotions and discounts (41%), the ability to read reviews (35%), ease of return (33%), and quick checkout (30%). Additionally, 33.6% of customers compare prices between online applications and physical stores before purchasing, and 81% conduct thorough online research before making significant purchases.

The e-commerce market is expected to continue growing. According to Nasdaq, by 2040, up to 95% of all purchases will be made online. E-commerce is moving towards personalization through "smart" search and product selection, personal

recommendations, online stylists, and other tools. Artificial intelligence can analyze all your purchases and preferences, making personalized recommendations based on your specific characteristics. Retail networks are already implementing product selections based on genetic tests and basic medical indicators.

An important aspect of designing an intelligent system is the ontological analysis of the subject area, which involves structuring and classifying entities, establishing connections, parameters, and characteristics, and developing a thesaurus. Ontological analysis not only organizes knowledge about the subject area but also enhances the quality of design work.

The literature provides numerous definitions of "ontology." Generally, ontology, as a way of representing knowledge about a fragment of the surrounding world, is a precise specification of a particular subject area. Ontology contains a vocabulary for representing and exchanging knowledge about the subject area and a set of connections established between terms in this vocabulary. Using ontologies as a method of systematizing terms and concepts is a means of describing knowledge that integrates other known models of knowledge representation.

Typically, an ontology appears as a description of declarative knowledge, presented as classes with hierarchical relationships. An ontology is usually a set of elements of five types:

1. Concepts (Classes): Abstract groups or sets of objects. These may include other classes, instances, or a combination of both.
2. Instances (Individuals): Basic, lower-level components. One of the main goals of an ontology is the correct and precise classification of instances.
3. Relations (Predicates): Connections between objects.
4. Attributes: Information about objects.
5. Axioms: Statements for modeling assertions.

Ontologies are widely used across all fields. Their diverse applications necessitated the development of representation methods. Consequently, languages such as Resource Description Framework (RDF Schema), Web Ontology Language

(OWL), and Extensible Markup Language (XML Schema) emerged. HTML describes documents and the relationships between them, whereas RDF, OWL, and XML can describe arbitrary objects, such as people, meetings, or airplane parts. Additionally, numerous editors for creating and editing ontologies have been developed, each tailored to work with specific data formats and possessing unique properties.

These technologies combine to provide descriptions that complement or replace web document content. Thus, content can be represented as descriptive data stored in internet-accessible databases or as markup in documents (e.g., extended HTML (XHTML) with XML elements or, more commonly, purely XML with separate layout or rendering hints). Machine-readable descriptions enable content managers to add meaning to content, describing the knowledge structure we have about this content. Consequently, machines can process the knowledge itself rather than the text, using processes similar to human deductive reasoning and inference, thus yielding more meaningful results and assisting computers in automated information gathering and research.

PhD Бажан С.М., студентка Дубина А.А.

ВСП «Технологічний фаховий коледж ДДТУ»

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ БАНКІВСЬКИХ УСТАНОВ

Сучасні фінансові установи регулярно стикаються з потребою оптимізації своїх процесів для забезпечення високоякісного обслуговування клієнтів та раціонального використання ресурсів. Один з основних аспектів управління банківськими послугами полягає в ефективному керуванні потоками клієнтів, які потребують у виконанні різних операції у відділеннях банку. У цьому контексті виникає актуальна проблема оптимізації процесів обслуговування клієнтів у банківських установах. Імітаційне моделювання відвідувачів банківських установ є потужним інструментом для аналізу та оптимізації таких

процесів. Цей метод дозволяє створювати віртуальні моделі реальних відділень банків та моделювати різні сценарії обслуговування клієнтів для оцінки їхнього впливу на час очікування, завантаження персоналу та інші показники ефективності.

Оптимізація процесів роботи фінансових установ, аналіз ризиків, тестування нових концепцій, оцінка продуктів, оптимізація портфеля, прогнозування та прийняття рішень — все це є факторами, які спонукають використовувати імітаційне моделювання. Крім того, імітаційне моделювання дозволяє банкам оптимізувати розподіл капіталу, збільшуючи прибутковість. Такі моделі також допомагають розробляти та тестувати стратегії управління активами та пасивами, щоб забезпечити оптимальний баланс між доходністю та ризиками. Не менш важливо, що банки, які використовують імітаційне моделювання для стрес-тестування, зазвичай виявляються більш стійкими до стрімких змін у фінансових ринках.

Метою роботи було розробити комп'ютерну імітаційну модель потоків відвідувачів банківської установи для дослідження процесів обслуговування клієнтів, ефективності та вдосконалення сфери банківських послуг.

За допомогою програмного застосунку, який дозволяє користувачам створювати та аналізувати імітаційні моделі різноманітних систем, було розроблено комп'ютерну імітаційну модель реальної фінансової установи (місцевого відділу банку) з відповідною кількістю банківських терміналів, банкоматів, операторів та касових вікон. Під час проведення дослідження було протестовано ефективність різних моделей поведінки та обслуговування потоків відвідувачів банку, де час прибуття клієнтів до системи та обслуговування має експоненційний чи загальний розподіл, а кількість обслуговуючих каналів дорівнює одному чи декільком.

На моделі обслуговування потоків впливають різні фактори. Перш за все, важливо враховувати варіативність вхідного потоку клієнтів, оскільки пікові години або сезонні зміни можуть значно збільшити навантаження на систему.

Якість та швидкість обслуговування також мають велике значення, оскільки вони визначають середній час перебування клієнта в системі. Крім того, кількість обслуговуючого персоналу та використання технологій для управління чергами можуть суттєво вплинути на ефективність обслуговування. Ще один вагомий фактор — це пріоритетність обслуговування різних категорій клієнтів, що впливає на загальну динаміку системи.

Використання загального розподілу дозволяє моделювати системи обслуговування більш точно, відображаючи реальні умови та варіативність. Це важливо для складних систем, де часові параметри не підкоряються експоненціальним або нормальним розподілам. Моделі із загальним розподілом є гнучкішими, але й складнішими для аналізу та розрахунків. Таким чином, загальний розподіл у моделях надає більше реалістичності при моделюванні систем.

Імітаційне моделювання є ефективним інструментом для оптимізації процесів обслуговування клієнтів у банківських установах, дозволяючи тестувати різні сценарії та стратегії управління. Використання різних моделей допомагає банкам знижувати ризики, підвищувати прибутковість та забезпечувати кращий баланс між доходністю та ризиками.

Асп. Вернигора Д.В., к. фіз.-мат. н. Карімов І.К.

Дніпровський державний технічний університет

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ
ЗВАРНИХ ВИРОБІВ З МЕТОЮ РОЗРОБКИ
РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ МІСЦЕВОЇ ТЕРМООБРОБКИ**

При проведенні місцевої термообробки великогабаритних виробів, виготовлених методом електрошлакового зварювання, застосовуються різні схеми організації технологічного процесу. Класичними стали двохзонні та трьохзонні схеми, в яких виділяється різна кількість зон відповідно до умов

підведення/відведення теплоти до поверхні виробу [1]. В двохзонних схемах виділяються зони нагріву (підведення теплоти) і зони охолодження (відведення теплоти); в трьохзонних схемах між цими зонами виділяється ще зона теплоізоляції, яка відповідає ділянкам поверхні, що знаходяться в контакті з футеровкою печі.

Останнім часом в ці схеми вносяться певні зміни, які підвищують ефективність технологічного процесу за тим чи іншим критерієм. Зазвичай при цьому спочатку на основі аналізу фізики процесу формулюється гіпотеза, а потім вона перевіряється і приймається або відкидається залежно від результатів перевірки. Одним із дієвих способів перевірки гіпотез є комп'ютерне моделювання теплового стану виробів, що підлягають термічній обробці.

В даній роботі висунута гіпотеза про підвищення ефективності технологічного процесу місцевої термообробки за рахунок теплоізоляції поверхні виробу в зоні охолодження. Обчислювальний експеримент, проведений за однією з модифікацій алгоритму, описаного в [2], підтвердив гіпотезу. Детальніше про це говориться в доповіді.

Список використаних джерел

1.Компанієць Р. А. Місцева термообробка великогабаритних виробів: застосування та проблеми проектування технології/ Achievements of 21st Century Scientific Community: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference, September 14-15, 2023. Dnipro: FOP Marenichenko V.V., 2023. P. 223-225.

2.Карімов І.К. Комп'ютерно орієнтований алгоритм моделювання місцевого нагріву плитних конструкцій/ І.К. Карімов, Г.І. Карімов, Р.А. Компанієць, О.Ю. Булай // *Наука і техніка сьогодні*. 2024. №1(29). С. 689-700.

Д. фіз.-мат. н. Гарт Л.Л., Бугаєнко А.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ЧИСЛОВІ АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ З ВІЛЬНИМ ПРАВИМ КІНЦЕМ

Методи розв'язання задач оптимального керування, як відомо, можна класифікувати як прямі, так і непрямі [1]. Ці методи відрізняються підходами до пошуку розв'язків задачі оптимального керування. Непрямі методи передбачають розв'язання крайової задачі необхідних умов оптимальності, в той час як прямі методи не вимагають безпосереднього використання необхідних умов та дозволяють будувати мінімізуючу послідовність, на основі якої граничним переходом може бути отримано точний розв'язок задачі керування.

У роботі розглядається задача оптимального керування з вільним правим кінцем, пов'язана з лінійною системою: мінімізувати функціонал

$$J(u) = \frac{1}{2} \int_0^T (x^2(t) + u^2(t)) dt \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{за умов} \\ \dot{x}(t) &= -ax(t) + u(t), \quad 0 \leq t \leq T; \quad x(0) = x_0, \end{aligned} \quad (2)$$

де a, x_0 та $T > 0$ – відомі сталі; $u \equiv u(t)$ та $x \equiv x(t) = x(t, u(t))$ – шукані функції на відрізку $[0, T]$ (керування та стан досліджуваної системи, відповідно); на керування $u(t)$, $0 \leq t \leq T$ не накладено жодних додаткових обмежень. Згідно з результатами [1], функціонал (1) за умов (2) є неперервно диференційованим в $L_2[0, T]$, а його градієнт для будь-якого $u \in L_2[0, T]$ визначається за формулою

$$J'(u) \equiv -\frac{\partial}{\partial u} \left[-\frac{1}{2}(x^2(t) + u^2(t)) + \psi(t)(-ax(t) + u(t)) \right] = u(t) - \psi(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (3)$$

де $\psi(t) \equiv \psi(t, u)$ – розв'язок спряженої диференціальної задачі

$$\dot{\psi}(t) = a\psi(t) + x(t), \quad 0 \leq t \leq T; \quad \psi(T) = 0. \quad (4)$$

Крім того, градієнт (3) задовольняє в $L_2[0, T]$ умову Ліпшиця з константою $L = 2Te^{2T}$. Функціонал (1) за умов (2) є сильно опуклим в $L_2[0, T]$ і досягає свого мінімуму в єдиній точці $u = u^*(t)$, $0 \leq t \leq T$ [1].

Для розв'язання задачі оптимального керування (1), (2) було застосовано два підходи, а саме: непрямий метод, що полягав у застосуванні необхідних умов оптимальності у формі принципу максимуму Л.С. Понтрягіна, та прямий метод, заснований на безпосередній мінімізації цільового функціонала (1) за умов (2) за допомогою градієнтного методу [1]. Під час реалізації непрямого методу було застосовано два способи розв'язання лінійної крайової задачі (2), (4) принципу максимуму Понтрягіна: точний аналітичний метод теорії диференціальних рівнянь та числову схему методу стрільби з використанням методу Рунге-Кутта для розв'язання допоміжних задач Коші. Під час застосування прямого методу було побудовано сіткову апроксимацію вихідної задачі оптимального керування із залученням узагальненої квадратурної формули Сімпсона та реалізовано градієнтний метод мінімізації сіткового функціонала з адаптованим варіантом вибору крокового множника. Зазначені обчислювальні схеми було програмно реалізовано на мові програмування Java; виконано порівняльний аналіз отриманих числових та графічних результатів на прикладі розв'язання конкретних задач; сформульовано відповідні висновки щодо практичної збіжності, точності та алгоритмічної складності реалізованих алгоритмів.

Графічні зображення результатів розв'язання задачі керування (1)–(3) з вхідними даними $a = 3$, $x_0 = 2$, $T = 5$, кроком сітки $h = 0,1$ та точністю обчислень $\varepsilon = 10^{-4}$ подані на рис. 1–3.

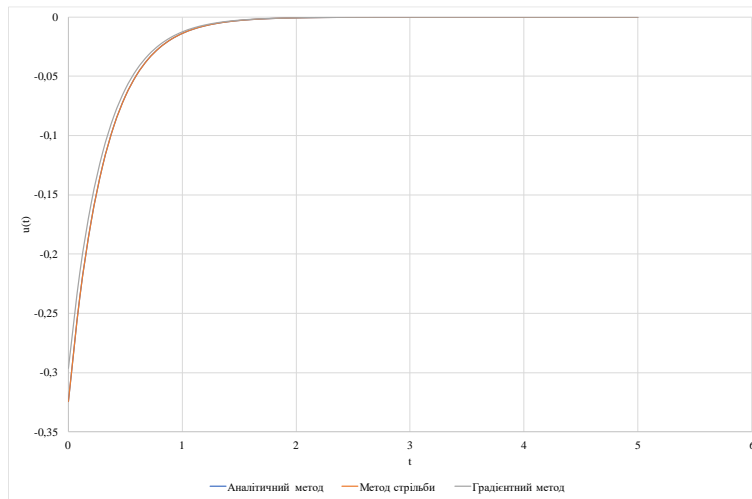


Рис. 1. Графік оптимального керування $u(t)$

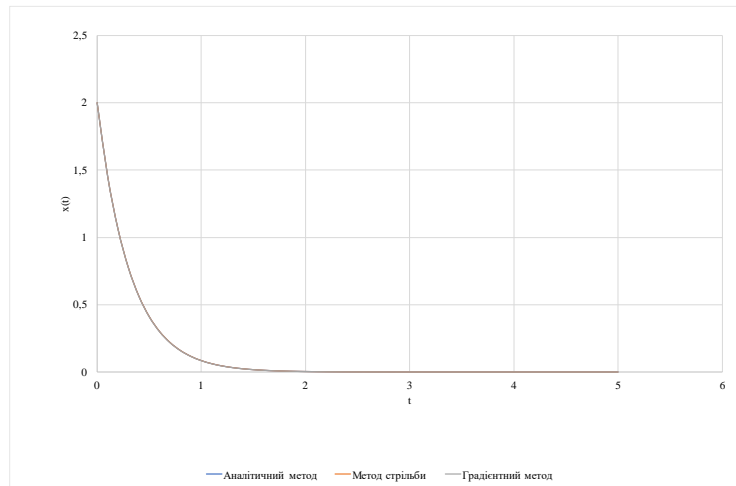


Рис. 2. Графік оптимальної траєкторії $x(t)$

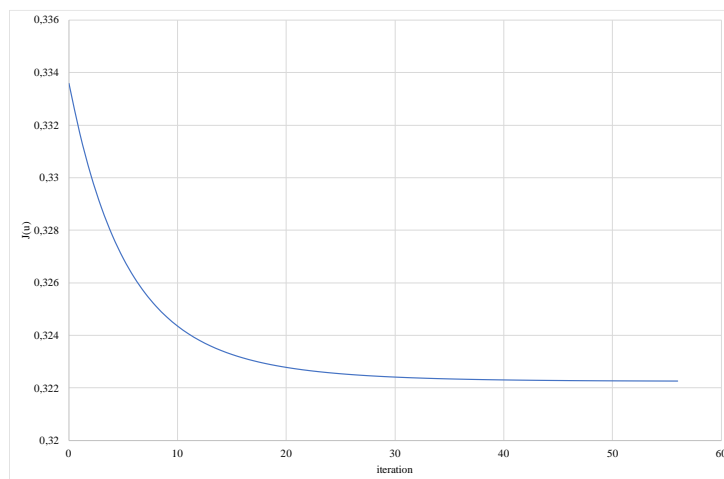


Рис. 3. Графік поведінки функціонала $J(u)$ в процесі ітерацій

Результати проведених досліджень можуть бути використані у подальшій науковій роботі авторів під час побудови числових алгоритмів пришвидшеної збіжності для розв'язання задач оптимального керування процесами, що мають прикладний зміст [2–4].

Список використаних джерел

1. Vasiliev F.P. Lectures on methods for solving extremal problems. MSU Publishing House, 1974. 376 pp.
2. Hart L.L. The application of projection-iteration methods to solving optimal control problems for systems of ordinary differential equations. *Hamburger Beiträge zur Angewandten Mathematik*. Institut für Angewandten Mathematik der Universität Hamburg, 2000. Reihe A. № 152. Pp. 1–17.
3. Hart L.L. Calculating the optimum two-link robot arm with respect to movement time. *Journal of Mathematical Sciences*. 2001. 107(6). Pp. 4458–4463.
4. Hart L.L., Ruzhevych V.O., Diachenko M.A. Indirect computational schemes for solving optimization problems for a dynamic system. *International Congress on Scientific Research*. Adana, Turkey: IKSAD, April 2-4, 2023. Pp. 209–211.

Грищенко А.А., Грищенко С.В.

Дніпровський Державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ Q-НАВЧАННЯ ДЛЯ ІГОР

У наш час дуже актуальною являється проблема розробки штучного інтелекту у ігровій сфері. Гра - це невід'ємна частина людського життя, яка крім іншого може використовуватись для навчання та розвитку інтелектуальних навичок людини. Але найкраще людина буде навчатися, якщо буде грати із сильним суперником у даній грі. У сучасному світі з розвитком технологій ігрові програми стають все більш популярними, і зростає попит на покращення їхнього ігрового досвіду. Запропоновані тези представляють дослідження у галузі машинного навчання та штучного інтелекту. Застосування методу "навчання з підкріпленням" з використанням алгоритму Q-навчання в режимі реального часу дозволяє створювати адаптивніші програми, які здатні

активно вчитися і покращувати свої стратегії, за мінімально відведений проміжок часу. Крім того, комбінований підхід до навчання, який передбачає гру програми як із самою собою, так і з реальними гравцями, є інноваційним методом, що дозволяє програмі адаптуватися до різноманітних стилів гри та переваг гравців. Штучний інтелект зможе навчатися використовувати помилки і стратегії конкретного гравця, що може скоротити процес навчання для цієї програми, і дозволити їй використовувати менше ресурсів та пам'яті комп'ютера. Програма навіть зможе почати використовувати в цілому не виграшні стратегії, але такі, що дадуть змогу виграти швидше саме в цього конкретного гравця і зекономити обчислювальні ресурси. Це відкриває нові перспективи створення персоналізованих ігрових інтерфейсів, здатних ефективно реагувати на індивідуальні потреби користувачів. Такі дослідження мають значний практичний потенціал і можуть призвести до розробки інноваційних ігрових продуктів, здатних утримувати увагу, залучати нових користувачів та поліпшувати процес навчання через ігри.

В сучасному світі розвиток технологій змушує нас активно використовувати комп'ютерні програми та ігрові платформи для розваг та навчання. Напрямок нашого дослідження є розробка і вдосконалення штучного інтелекту в іграх, щоб забезпечити користувачам максимально цікавий та вдосконалений ігровий досвід.

Метод "навчання з підкріпленням", тобто метод де програма вдосконалюється на основі минулого досвіду, і алгоритм Q-навчання відкривають нові можливості для створення ігрових програм, що здатні активно навчатися та покращувати свої стратегії в реальному часі. Це дозволяє створювати адаптивне програмне забезпечення, яке може ефективно реагувати на дії гравців та навчатися на їхніх помилках і успіхах. Такий підхід може значно підвищити рівень захоплення та задоволення від гри, що є важливим для залучення та утримання користувачів. В наш час існує дуже багато різноманітних ігор, і інколи навчання комп'ютерних програм може займати

дуже багато часу. Тому оптимізація навчання штучного інтелекту являється важливим завданням сучасних програмістів. Q-навчання - метод машинного навчання, що застосовується під час розробки штучного інтелекту в рамках агентного підходу. Належить до виду навчання з підкріпленням. На основі одержуваної від середовища винагороди програма формує функцію корисності Q, що згодом дає можливість вже не випадково вибирати стратегію поведінки, а враховувати досвід попередньої взаємодії з гравцем. Як правило при навчанні штучного інтелекту, наприклад, як грати у якусь гру, програма повинна зіграти дуже багато ігор, щоб ознайомитися хоча б з основними стратегіями, які можна використовувати у цій грі, але це може займати багато часу і програма використає багато ресурсів і пам'яті. Оптимізувати це можна навчаючись на конкретних гравцях, використовуючи стратегії, які застосовує цей гравець, але згодом програма повинна розіграти сама з собою ці стратегії, навіть якщо програма заздалегідь знає, що ці стратегії являються програшними. Робиться це для того, щоб зекономити час і пам'ять на навчання, адже програмі відомо, що не дивлячись на те, що стратегії є програшними, вони часто використовуються реальними гравцями, а отже використовуючи помилки гравців, можна зменшити ресурси, що використовуються. Можливо навіть розробити стратегії, які ведуть до програшу проти досвідченого гравця, але являються оптимальними з точки зору часу і ресурсів проти нового гравця який робить помилки у грі. У такому випадку програма ефективно використовує свої обчислювальні ресурси, концентруючись на стратегіях, які найбільш ймовірно приведуть до перемоги проти цільової аудиторії. Розробка таких стратегій може допомогти програмі швидше адаптуватися до нових суперників та швидше вивчати їхні особливості. Штучний інтелект, який здатний швидко визначати оптимальні стратегії з точки зору ефективності ресурсів, може швидше навчатися та адаптуватися до різних стилів гри і стратегій гравців. До того ж помилки в стратегії програми зможуть ефективніше навчати гравців, що використовують цю програму, адже дивлячись на позицію гри з іншої сторони,

люди має більше шансів знайти свої власні помилки, які вона не помітила, коли грала ту ж саму позицію, але з іншого боку.

В результаті, дослідження застосування методу "навчання з підкріпленням" з використанням алгоритму Q-навчання для ігор з повною інформацією є важливим кроком у напрямку створення більш інтелектуальних і адаптивних ігрових систем. Ці дослідження мають великий потенціал у покращенні якості ігрового досвіду користувачів та розвитку нових технологій в галузі машинного навчання.

К. фіз.-мат. н. Карімов І.К., здобувач Чернецький В.М.

Дніпровський державний технічний університет

АПРОКСИМАЦІЯ ФУНКЦІЙ І MS EXCEL: ДЕЯКІ ЗАУВАЖЕННЯ

Популярність табличного процесора MS Excel серед фахівців різних спеціальностей багато в чому зумовлена наявністю стандартних функцій і спеціальних інструментів, які дають можливість досить просто вирішувати важливі для практики задачі. Зокрема, для вирішення задачі апроксимації таблично заданої функції (в т.ч. при обробці експериментальних або статистичних даних) застосовується апарат ліній тренда. В багатьох випадках він дає можливість побудувати за відомими значеннями (x_i, y_i) залежність $y = f(x)$ з прийнятною для практики точністю. Однак, можуть бути і певні проблеми.

Розглянемо наступний приклад. Нехай відома таблиця значень деякої функції $y = f(x)$ для сукупності даних $x_i, i=1, 2, \dots, 10$.

x_i	0,8	1,8	2,2	3,1	3,6	4,8	5,6	6,2	7,4	8,3
y_i	0,16	0,77	-0,4	-2,4	-2,14	-0,39	1,02	0,73	-1,33	-2,61

Використаємо стандартну процедуру побудови лінії тренду в середовищі MS Excel [1]. Порівнюючи різні варіанти функціональної залежності за значенням коефіцієнта детермінації R^2 , оберемо найкращий з можливих (рис.1).

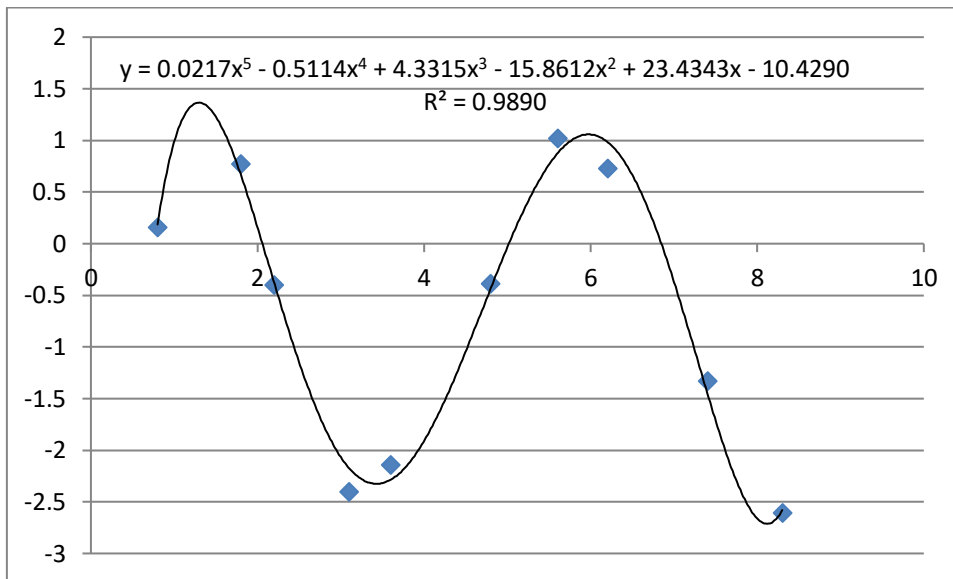


Рис. 1. Поліноміальна залежність

Як бачимо, дані можуть бути представлені залежністю

$$y = 0,0217x^5 - 0,5114x^4 + 4,3315x^3 - 15,8612x^2 + 23,4343x - 10,4290, \quad (1)$$

причому значення коефіцієнта детермінації $R^2=0,989$ свідчить про дуже добре наближення.

Розрахуємо за формулою (1) значення функції y_i^* для відомих значень незалежної змінної x_i і покажемо їх на діаграмі (рис. 2). Виявляється, розрахункові значення можуть відрізнитися від відомих досить сильно, що ставить під сумнів можливість використання формули (1), не зважаючи на досить високе значення R^2 .

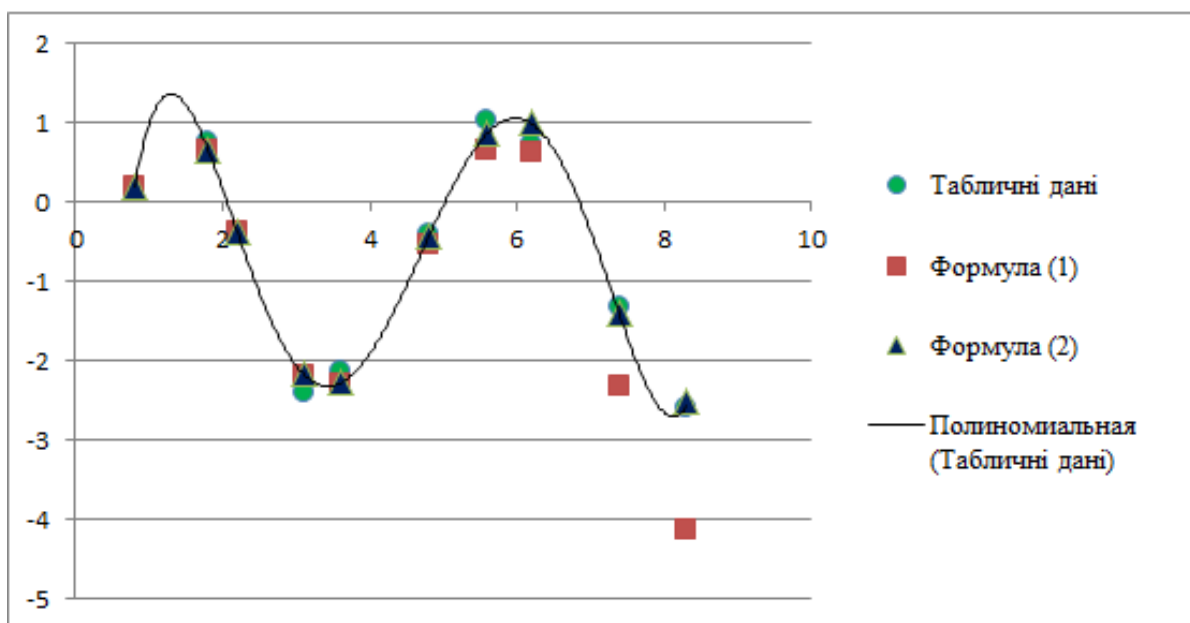


Рис. 2. Порівняння формул (1) і (2)

Пояснюється це тим, що рівняння лінії тренда, яке виводиться на діаграмі, містить не точні коефіцієнти, а округлені до певного знаку (в формулі (1) – до четвертого знаку після коми).

Відформатуємо рівняння лінії тренда (див. рис. 1) так, щоб коефіцієнти виводилися з точністю до п'ятого знаку після коми. Одержимо видозмінену формулу

$$y = 0,02174x^5 - 0,51139x^4 + 4,33152x^3 - 15,86123x^2 + 23,43427x - 10,42903 . \quad (2)$$

Розрахунки за цією формулою також показані на рис. 2, причому вони практично співпадають з відомими значеннями y , отже, формулу (2) можна використовувати в практичних цілях.

Оцінити придатність формул (1)-(2) можна і по-іншому. Для цього необхідно обчислити коефіцієнт детермінації за формулою

$$R^2 = 1 - \frac{S_1}{S_2} , \quad (3)$$

де $S_1 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2$ - сума квадратів відхилень розрахованих значень y від заданих;

$S_2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{cp})^2$ - сума квадратів відхилень заданих значень у від їх середнього

значення; $y_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$.

В наведеному прикладі для формули (1) маємо $R^2=0,7895$; для формули (2) - $R^2=0,9887$ (практично співпадає з коефіцієнтом детермінації, обчисленим при побудові ліній тренда в MS Excel). Зрозуміло, що в практичних цілях повинна використовуватися формула (2).

Таким чином, наведений приклад показує, що легкість використання стандартних інструментів MS Excel не повинна вводити в оману користувачів. За необхідності треба проводити додаткові дослідження для підтвердження одержаних результатів.

Список використаних джерел

1. Карімов І.К. Комп'ютерні методи та засоби розв'язання інженерних задач: навч. посібник. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 283 с.

К.т.н., доц. Качура О.В., асп. Сугаль Є.О.

Дніпровський державний технічний університет

ПРОЕКТУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДОДАТКОВИХ МОДУЛІВ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ SIMULATOR

При проектуванні асинхронних двигунів з індукційним реостатом виникає необхідність у систематизації використовуваних матеріалів і їх властивостей. З цією метою у розроблену систему автоматизованого проектування включено модуль Material Properties, що дозволяє у наочній формі організувати доступ до всіх використовуваних матеріалів.

Даний модуль являє собою автономну програму, після запуску якої користувач може вводити наступну інформацію: найменування застосовуваного матеріалу; електропровідність; магнітну проникність.

Для одержання доступу до магнітних властивостей використовуваних матеріалів розроблена система автоматизованого проектування містить модуль VH Curve. Даний модуль являє собою програму, що дозволяє організувати введення й редагування кривих намагнічування використовуваних матеріалів. Після запуску модуля відкривається основне вікно, у якому користувач може вводити криву намагнічування з каталогу. Після завершення введення інформація може бути збережена на носії через опцію Save пункту меню File. У випадку, якщо виникає необхідність змінити параметри використовуваної кривої, доступ до файлу може бути організований через опцію Open пункту меню File.

Оскільки у розробленій системі автоматизованого проектування використовується крива $\gamma = f(B^2)$, то комплекс VH Curve містить пункт меню Generator, що дозволяє створювати файл даних з необхідною кривою.

Результатом роботи розрахункового модуля розробленої системи автоматизованого проектування є графіки розподілу електромагнітного й теплового поля у перетині індукційного реостату, а також криві перехідних процесів по струму, моменту, швидкості. З метою наочного подання одержування результатів розроблено програмний модуль Plotter, що дозволяє зчитувати необхідну інформацію з розрахункових файлів даних і виводити її на екран персональної електронно-обчислювальної машини.

Для одержання наочних картин розподілу електромагнітних і теплових полів розроблена система автоматизованого проектування включає модуль Surf. Даний модуль являє собою програму, що дозволяє зчитувати розрахункову інформацію в оперативну пам'ять персональної електронно-обчислювальної машини і виводити її на екран у вигляді контурних графіків, двовимірних і тривимірних графіків поверхонь. Подібне подання інформації дозволяє на

стадії проектування індукційних реостатів визначити локальні місця екстремумів електромагнітної індукції й температури. Крім того, модуль включає блок інтерполяції, що дозволяє згладжувати одержувані розрахункові дані. Програма включає розгалужену систему меню, функції імпорту даних, планування й візуалізації результатів.

Програмний продукт буде застосовано до чисельного дослідження електротехнічних задач.

Здобувач Нужна Я.О., к. техн. н. Красніков К.С.

Дніпровський державний технічний університет

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ТА ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЕБ-САЙТУ КАФЕДРИ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

У сучасному світі, де інформаційні технології проникають у всі сфери життя, зокрема в освіту, створення ефективних та зручних інформаційних систем для навчальних закладів стає надзвичайно важливим. Веб-сайт кафедри відіграє ключову роль у забезпеченні доступу до необхідної інформації для студентів і викладачів, покращуючи організацію навчального процесу та комунікацію між усіма учасниками освітнього процесу. Розробка програмного та інформаційного забезпечення веб-сайту кафедри є актуальною задачею, що сприяє підвищенню ефективності освітнього процесу та задоволеності користувачів.

Основною ідеєю роботи є створення інтерактивного та зручного у використанні веб-сайту кафедри, який би забезпечував всі необхідні функції для підтримки навчального процесу. Проект розроблено на мові програмування C# з використанням середовища розробки MS Visual Studio 2019. Веб-сайт включає шість основних сторінок: Головна, Студенти, Дисципліни, Викладачі,

Оцінки та Історія кафедри. Кожна сторінка має свої унікальні функції та можливості, спрямовані на забезпечення потреб користувачів.

Основні сторінки та їх функціональність:

1. **Головна сторінка** - вступна сторінка, що містить основну інформацію про кафедру. Ця сторінка є центральним хабом для навігації по сайту.
2. **Сторінка "Студенти"** - містить список студентів кафедри з можливістю додавання нових студентів, редагування та видалення існуючих. Реалізовано функцію сортування студентів за прізвищем та датою народження, а також пошук за різними критеріями. У деталях можна переглянути, які дисципліни відвідує студент та які оцінки він отримує.
3. **Сторінка "Дисципліни"** - включає інформацію про всі дисципліни, що викладаються на кафедрі. Є можливість додавання нових дисциплін, редагування та видалення існуючих. В деталях дисципліни можна переглянути її загальний опис, список студентів, які навчаються на ній, та їхні оцінки.
4. **Сторінка "Викладачі"** - містить інформацію про викладачів кафедри з фотографіями та описом дисциплін, які вони викладають. Є можливість додавання нових викладачів, редагування та видалення існуючих. Це допомагає студентам краще знайомитися з викладацьким складом.
5. **Сторінка "Оцінки"** - електронний журнал, де студенти можуть переглядати свої оцінки та відвідуваність. Редагування даних доступне лише викладачам.
6. **Сторінка "Історія кафедри"** - містить детальний опис історії кафедри від моменту її заснування до теперішнього часу. Це сприяє формуванню у студентів та викладачів почуття приналежності та гордості за свою кафедру.

Проект реалізовано на мові програмування C# з використанням середовища MS Visual Studio 2019. Вибір цієї платформи зумовлений її потужними можливостями для створення веб-додатків, інтеграції з базами

даних та забезпечення високої продуктивності і стабільності системи. Використано технологію ASP.NET для розробки серверної частини та взаємодії з базою даних, що дозволяє динамічно оновлювати контент сайту. Веб-сайт має зручний інтерфейс для додавання, редагування та видалення студентів, викладачів, дисциплін та оцінок. Реалізовано функції сортування та пошуку, що забезпечують легкість у використанні сайту.

Функціональні можливості сайту:

1. Сортування та пошук

- Реалізовано механізми сортування даних за прізвищем та датою народження, а також функціонал пошуку інформації по різних параметрах, що дозволяє користувачам швидко знаходити необхідну інформацію.

2. Розбиття на сторінки

- Для підвищення зручності навігації, контент сайту розподілено на кілька сторінок з інтерактивною навігацією. Це дозволяє користувачам легко переміщатися між розділами сайту і знаходити необхідну інформацію без перевантаження однієї сторінки.

3. Додавання фотографій викладачів

- Створено функціонал для відображення фотографій викладачів. Це дозволяє студентам легко ідентифікувати своїх викладачів, що сприяє кращій комунікації та створює більш персоналізоване навчальне середовище.

4. Електронний журнал

- Інтегровано електронний журнал, який дозволяє студентам переглядати свої оцінки та відвідуваність. Редагування даних доступне лише викладачам, що забезпечує конфіденційність та точність інформації.

Розроблений веб-сайт кафедри забезпечує сучасний підхід до управління навчальним процесом, покращує комунікацію та доступ до інформації. Використання мови програмування C# та середовища MS Visual Studio 2019

дозволяє створити надійний та ефективний інструмент для потреб навчального закладу. Впроваджені функції сортування, пошуку, розбиття на сторінки, додавання фотографій викладачів та електронного журналу забезпечують високий рівень зручності та ефективності використання сайту. Таким чином, розроблений веб-сайт сприяє покращенню організації навчального процесу, підвищенню рівня комунікації та задоволеності студентів та викладачів, забезпечуючи високий рівень освітніх послуг.

Д.ф.-м.н. Пасічник А. М., асп. Ріпа М. Ю.

Дніпровський державний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ РОЗМІЩЕННЯ ДЖЕРЕЛ ЕКСТРЕНОГО ОПОВІЩЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

Актуальність дослідження обумовлена потребою у покращенні систем екстреного оповіщення населення. Зараз використання звукових сигналів як джерел екстреного оповіщення є одним із ключових елементів систем попередження населення у разі надзвичайних ситуацій. Тому удосконалення існуючих та розробка нових алгоритмів розміщення таких систем інформування населення є досить актуальною задачею.

В роботі запропоновано для побудови територіальних систем екстреного оповіщення та побудова алгоритму оптимального розміщення джерел екстреного оповіщення використання генетичного алгоритму.

Побудова сучасних систем екстреного оповіщення населення передбачає оптимальне розміщення та раціональне використання потужності звукових джерел без шкоди здоров'ю населення. Таким чином, необхідно визначити достатню кількість джерел оповіщення оптимальної потужності та місця їх розміщення для ефективного покриття площі населених пунктів [1].

Для виконання поставленого завдання пропонується застосувати генетичний алгоритм, який є одним із найбільш відомих еволюційних алгоритмів та достатньо ефективно використовується у багатьох галузях [2].

Для комп'ютерного моделювання задачі оптимізації розміщення джерел екстреного оповіщення населення пропонується генетичний алгоритм, що складається з таких кроків:

1) Підготовка мапи населеного пункту де вирішується задача розміщення засобів екстреного оповіщення. Такі дані мають включати такі параметри: конфігурацію та площу населеного пункту, населеність території (чорний колір), можливі місця для розміщення джерел звукових сигналів (білий колір), неможливе розміщення жодних приладів (синій колір) рис. 1. Площа населеного пункту наближено обчислюється як площа найбільш близьких геометричних фігур.

2) Розробка програми генерації множини дозволених комбінацій координат (x, y) , в яких можуть розміщуватися джерела оповіщення. Сукупність таких координат поєднується у генотип, а декілька варіантів генотипу – у популяцію. Таким чином, генотип об'єднує всі точки розміщення джерел оповіщення в один список. За даним алгоритмом найбільш пристосованим представником генотипу буде той, у якого область покриття навколо джерела оповіщення охоплює найбільшу чисельність населення при заданому рівні звукового сигналу (чорні пікселі зображення, рис. 1).

Радіус дії джерел звукового сигналу оповіщення в залежності від різних критеріїв визначається так:

$$r = r_0 * 10^{\frac{p_0 - p - h * k_1 - E * k_2}{20}} \quad (1)$$

де p – це необхідний мінімальний звуковий тиск на границі дії r джерела оповіщення; p_0 – це початковий звуковий тиск, зазвичай 100 – 105дБ; r_0 – початкова відстань, зазвичай 30м; h – висота розташування джерела; k_1 – коефіцієнт впливу висоти; E – потужність енергопостачання; k_2 – коефіцієнт впливу енергопостачання.

3) Обирається вихідна (батьківська) пара з найбільшим параметром пристосованості. Далі застосовується оператор кросовера. Але для просторового зображення застосовується змінена версія кросоверу [2]:

3.1) Обираємо у просторі довільну точку.

3.2) У обох вихідних генотипах обираємо однакові точки за їх координатами центру та радіусом кола.

3.3) У одного генотипу обираємо координати розміщення джерел, які знаходяться всередині кола, у другого – ззовні.

3.4) Поєднуємо обрані точки в одне рішення.

3.5) Змінюємо кількість джерел у нащадку, а саме, видаляємо зайві з найменшою придатністю, або ж додаємо ще не використані точки генотипів, у випадку нестачі.

4) Проводиться остаточна обробка наступного покоління за допомогою оператора успадкування, або ж оператора покращення генотипу.

5) Обираються кращі представники виду для включення до наступного покоління.

Критерій оптимального покриття має такий вигляд:

$$S \leq (S_1 + S_2 + \dots + S_n), \quad (2)$$

де S – площа міста; S_n – площа покриття звуковими сигналами із джерел інформації. У випадку, коли сумарна площа покриття джерелами оповіщення менша ніж площа міста, то перед початком наступного циклу генетичного алгоритму до максимальна кількість джерел збільшується на 1. Якщо ж критерій максимізації територіального покриття системою оповіщення населення буде виконано, а саме пристосованість в одного із представників буде задовільно наближеною до місць проживання – алгоритм завершує роботу, а на графічному зображенні будуть вказані точки з координатами найкращого розміщення джерел, рис. 1.

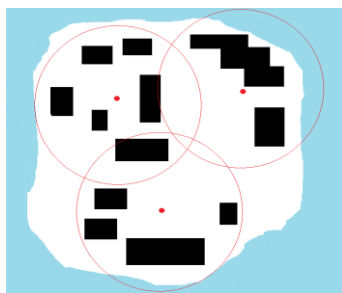


Рис. 1. Схема можливого розміщення джерел оповіщення

Далі, за умови що радіуси дії джерел оповіщення перетинаються – постає ще одна можливість оптимізації, коли можна зменшити радіус дії джерела r шляхом зниження потужності енергопостачання (E), висоти (h) чи інших характеристик джерела. Це допоможе знизити некомфортний рівень звукового тиску зі 100–110 дБ до більш безпечних для людини 85–95 дБ та оптимізувати використання ресурсів.

Список використаних джерел

1. Firdaus G., Ahmad A. (2010). Noise Pollution and Human Health: A Case Study of Municipal Corporation of Delhi. //Indoor and Built Environment. Sage Public, 24–36.
2. Пиріг Я., Климаш М., Пиріг Ю., Лаврів О. (2023). Генетичний алгоритм як засіб розв'язання оптимізаційних задач. //Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія, 95–103.

К. техн. н. Поляков В. О.

Інститут транспортних систем і технологій НАНУ

АЛГОРИТМ ІЄРАРХІЧНОГО ПОБУДУВАННЯ РУХУ МЕХАНІЧНОЇ ПІДСИСТЕМИ МАГНІТОЛЕВІТУЮЧОГО ПОЇЗДА У ПРОСТОРІ ЇЇ СТАНІВ

Транспортна система з магнітолевітуючими поїздами створена для переміщення пасажирів та вантажів. Споживча цінність системи однозначно визначається якістю механічного руху її поїздів. Тому, як кінцева мета вивчення цієї системи, повинна бути обрана побудова необхідної якості рухів її поїздів.

Рухи механічної підсистеми поїзда, які відбуваються під впливом лише природних збурень, – природні рухи – можуть бути описані моделлю

$$a_{\lambda\mu} \cdot \eta^\mu = E_\lambda; \quad a_{\lambda\mu} = c_{\lambda\mu} \cdot p^{(2)} + (C_{\lambda,\mu\nu} \cdot \eta^\nu + \beta_{\lambda\mu}) \cdot p + l_{\lambda\mu}; \quad p = \frac{d}{dt} \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}], \quad (1)$$

де $\eta^\mu \forall \mu \in [\overline{1, L}]$, L – узагальнені координати розрахункової схеми механічної підсистеми поїзда, а також кількість таких координат; $c_{\lambda\mu}, C_{\lambda,\mu\nu} \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}]$ $c_{\lambda\mu}, C_{\lambda,\mu\nu} \forall \lambda, \mu, \nu \in [\overline{1, L}]$ – коваріантний метричний тензор згаданого агрегату, а також його триіндексний символ Крістоффеля 1-го роду; $\beta_{\lambda\mu}, l_{\lambda\mu} \forall \lambda, \mu \in [\overline{1, L}]$ – дисипативні та квазіпружні коефіцієнти наведеної моделі; $E_\lambda \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$ – зовнішні збурення підсистеми.

Для надання рухам необхідних властивостей, моделюючі рівняння повинні бути сумісними з цільовими співвідношеннями, які описують ці властивості. Наприклад, до неї можуть бути прикладені керуючі впливи. Якщо згадана сумісність досягається, то рух підсистеми гарантовано має бажані властивості. Процес переходу від природного до керованого руху називається його побудовою.

Зазвичай, механічна система, яка може бути прийнята як адекватна розрахункова схема механічної підсистеми поїзда, є великою, істотно нелінійною і складною. Крім того, за рідкісним винятком, така система є багатозв'язковою, а її рух відбувається в непередбачуваній зовнішній та внутрішній обстановці. Використання однорівневих регуляторів для побудови рухів описаного типу систем зазвичай веде до незадовільної якості рухів. Виникаюча колізія може бути усунена при їхній ієрархічній побудові, що значно підвищує ефективність пов'язаної з нею переробки та використання великих масивів інформації, а тому – і результуючу якість керованого руху.

Факторами, які впливають на якість руху механічної підсистеми поїзда, є: властивості цієї підсистеми; поточна внутрішня та зовнішня обстановка, в якій він реалізується; особливості регулятора підсистеми. Виходячи з зазначеного, достатньою є трирівнева структура згаданого регулятора: на його низовому

рівні – інтроконтролер, який реалізує необхідний набір патерн рухів механічної підсистеми поїзда, а також їх стійких синергій; на проміжному рівні – адаптер, що пристосовує рух до обстановки; на верхньому рівні – координатор, який вичерпно вирішує, у синтетичній взаємодії з блоками попередніх рівнів, рухове завдання механічної підсистеми. Функціональна глобальність цих блоків зростає в інверсному порядку: координатор є провідним синтезуючим рівнем регулятора; адаптер – проміжним, узгоджуючим; інтроконтролер – фоновим, провайдерним.

Основною завдачею інтроконтролера є «внутрішньосистемне» керування рухом, який створюється, що передбачає вихідну ініціацію його необхідних первинних компонентів, а також їх «внутрішнє» ув'язування.

Синтезований рух підсистеми відбувається в умовах обстановки, яка змінюється, у загальному випадку, непередбачувано. Проте, цей рух має залишатися цілеспрямованим. Тому основним функціональним призначенням проміжного рівня побудови такого руху має стати надання йому властивості пристосовуваності до згаданої обстановки.

Підсумком реалізації руху підсистеми має бути вичерпне вирішення задач, що перед ним стоять. Однак описані рівні побудови зазначеного руху (ні нарізно, ні в сукупності) не мають можливості таке вирішення забезпечити. Це – призначення верхнього рівня регулятора (координатора). Виходячи з глобальних цілей конструйованого руху, цей рівень його побудови повинен, передусім, визначати алгоритм досягнення таких цілей.

Рухові задачі, які підлягають вирішенню (з їх деталізацією до переслідуваних цілей), повинні ставитися перед підсистемою ззовні (наприклад, за допомогою модуля-здатчика) і коригуватися з урахуванням обстановки, що складається (яка оцінюється адаптером). Після виявлення загального алгоритму такого рішення, має визначатися руховий склад задачі (тобто мінімально достатній набір згаданих патерн рухів), ініціюватися запити з їхньої реалізацію (під безпосереднім керуванням інтроконтролера у взаємодії з

адаптером), а також здійснюватися ретельний контроль і коригування цієї реалізації.

Отже, результуючий рух механічної підсистеми поїзда будується у процесі синтетичної взаємодії трьох описаних рівнів регулятора. Провідна роль у такій побудові завжди належить його верхньому рівню – координатору, який, за допомогою синтезованих ним керувань $\Pi_{u\lambda}(t) \forall \lambda \in [\overline{1, L}]$, координує роботу двох нижчих рівнів так, щоб згаданий результуючий рух завжди залишалося цілеспрямованим, тобто, вичерпно вирішуват завдачі, які перед ним стоять. Ці завдачі, з деталізацією до переслідуваних цілей, задаються ззовні наприклад, – за допомогою модуля-здатчика. Базис побудови становлять патерни рухів, а також їх стійкі синергії, конструйовані нижнім рівнем регулятора – інтроконтролером. Нарешті, адаптація руху до обстановки здійснюється під впливом керувань, синтезованих проміжним рівнем регулятора – адаптером, який також коригує рухові завдачі, що підлягають вирішенню, виходячи з результатів оцінки обстановки.

Основна перевага пропонованого алгоритму ієрархічної побудови руху механічної підсистеми магнітолевітуючого поїзда в просторі її станів полягають у можливості точної, адекватної та евристичної декомпозиції глобальної завдачі такої побудови на низку більш простих підзавдач, багато з яких, у значній частині, можуть бути вирішені заздалегідь. Завдяки цьому виникає реальна можливість більш точного вирішення згаданих підзавдач, що, у свою чергу, дозволяє істотно підвищувати якість конструйованого руху без використання складних алгоритмів керування ним.

PhD Firsov A., student Muzychka K.

Dniprovsky State Technical University

**APPLICATION OF BLOCKCHAIN FOR BUILDING A QUALITY
MANAGEMENT SYSTEM IN MANUFACTURING PROCESSES**

Modern manufacturing and technological processes incorporate automatic control and monitoring systems. Aside from the *apparent purposes* of such automation, it is essential to highlight the task of ensuring the quality of the produced goods. According to the definition, quality is a philosophical category that describes a set of properties and attributes of products, goods, services, work, labour and other objects. These properties and attributes determine the ability of an object to satisfy established needs and demands of people as well as to meet its purpose and requirements. From a technical standpoint, quality is ensured through measurable characteristics, and their adherence to a specified range determines whether a product is of high quality. For consumer goods, this approach is quite viable. It does not matter whether the current values for a specific item are near the upper or lower limit of the characteristic parameter. What matters is that any combination of interchangeable parts that meet the specified quality parameters can result in a final product. This product falls within the defined quality range. The consequence of this approach is the ability to make averaged estimates for service life, repair, and maintenance.

As an alternative to this approach, it is possible to use modern information solutions to switch to a different model when dealing with complex and expensive products. In particular, by leveraging blockchain technology, one can move towards tracking not only quality parameters but also the manufacturing trajectories of each item.

Blockchain is a decentralized information storage technology, a distributed database implemented as an ordered chain of blocks. Blocks are numbered and linked by so-called hash sums. They are the result of data processing by a specific function.

Each block in the chain contains two hash values: its own and that of the previous block. With the need to change the information in a single block, it is necessary to modify the data in all subsequent blocks of the chain.

Blocks of information are replicated on numerous computers worldwide, which adds to the complexity of modifying the chain data and enhances data storage reliability.

Decentralization is achieved by creating multiple copies of the database, which are physically stored on different devices and in various geographic regions. However, they are synchronized and collectively add new information to the database. This approach differs from centralized networks, which operate on a client-server model.

Many companies utilize blockchain to monitor the movement of goods between suppliers and buyers. For instance, Amazon employs blockchain technology to authenticate all products sold on the platform. Sellers can trace their global supply chains, enabling participants such as manufacturers, couriers, distributors, end-users, and secondary users to record events in the registry after registering with the certification authority.

Blockchain-based energy companies have developed a trading platform for selling electricity among private individuals. Homeowners with solar panels use this platform to sell extra solar power to their neighbours. The process is nearly fully automated: smart meters create transactions, and the blockchain records them.

Blockchain technologies are designed in such a way to ensure that once a block or transaction is added to the chain, it remains unalterable, providing a high level of security.

With data often stored on thousands of devices in a distributed network of nodes, the system and data are highly resilient to technical failures and malicious attacks.

Blockchain chains, in most cases, have open-source code. That allows developers and users to modify it, which makes things easier. At the same time,

making such changes unnoticed is almost impossible – to do so, one would need to control more than 50% of the network's computational power, which is nearly impossible to achieve.

There is no need to create a data collection and processing center using blockchain technology. Individual transactions have their own confirmation and authorization for communication among participants.

Thus, there is a well-developed tool for building a system for recording parameters and operations performed at each stage of the technological process.

A counterargument to implementing a blockchain-based control and accounting system may be the complexity and high cost of deploying each node. According to the documentation, for example, the Sui project deployment requires a sufficiently powerful computer and an appropriate local network.

Not long ago, solutions emerged offering node deployment on a separate physical device. One such project is Umbrel. It is an operating system designed to run a Bitcoin node, Lightning Network node, and other self-hosted applications on a Raspberry Pi. The cost of this solution is minimal. Accordingly, building and deploying an accounting and control system using a blockchain network can be done at a relatively minimal expense.

Naturally, the following question is how the collected data will be analyzed.

PhD K. Yalova, PhD student M. Veremeichenko,

PhD M. Babenko, N. Lymar

Master's student M. Verbytskyi

Dniprovsky State Technical University

USING SPLINES FOR DESCRIBING COMPLEX SURFACES

The task of describing complex surfaces is a significant scientific and practical challenge, essential for creating images on screens or printed materials, developing solid elements for architectural visualization, modern medical visualization systems, and many contemporary computer games. Describing complex surfaces is also applied in geology, Earth surface studies, engineering practices for geometric modeling of technical object shapes considering their integral characteristics, meteorology for real-time atmosphere and hydrosphere modeling, and weather forecasting.

In modern contexts, the following approaches are used to describe complex surfaces:

1. **Parametric Description:** This approach uses independent variables to identify an element or subset from a set. In geometric tasks, parameters may define a specific object from a collection of similar figures (e.g., specifying the length of a triangle's side and the measures of two adjacent angles uniquely identifies the triangle). It is crucial to consider the parameters' domains during selection (e.g., the numbers representing the lengths of triangle sides must be positive, non-zero, and the sum of any two sides must exceed the third side).

2. **Parametric Bicubic Surfaces:** These surfaces are the simplest among surface forms that ensure the continuity of the composite function and its first derivatives. In other words, a function composed of several adjacent bicubic patches will be continuous and smooth at the joints. Typically, bicubic patches are smooth, curved quadrilaterals.

3. Use of Various Types of Splines: Over the past two decades, splines have taken a leading position in the theory of interpolation and function approximation. A spline is a mathematical function defined over a domain divided into a finite number of intervals, on each of which it coincides with a polynomial. From the perspective of descriptive geometry, a spline is a continuous smooth curve passing through specified points according to a particular analytical rule (equation or system of equations). Generally, a spline $S(x)$ can be described as follows:

$$S(x) = \sum_{i=0}^n \alpha_i \psi_i(x) + R(x)$$

where α_i are coefficients dependent on the values of the function $f(x)$ at control points x_i ;

$\psi_i(x)$ are the basis functions of the spline;

$R(x)$ are some regulatory additions.

Today, the development speed of software significantly surpasses that of hardware systems and complexes. Developing appropriate software to enhance the informativeness in describing complex surfaces has always been and will remain relevant.

At the Department of Software Systems at Dnipro State Technical University, an application has been developed based on algorithms for processing complex surfaces using spline-based methods. To accelerate the construction of splines with a large number of nodes, parallel data processing algorithms are utilized.

Despite the numerous studies and practical applications of splines for describing complex surfaces, the task of constructing three-dimensional models of complex surfaces using splines remains relevant. These models must balance locality properties with high accuracy. Moreover, obtaining such models not only on rectangular grids but also on triangular meshes is a direction for further scientific research.

Секція 4
КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

К. техн. н. Волосова Н.М., здоб. Нестеров Д.

Дніпровський технічний університет

**ДО ПИТАННЯ ІНТЕГРАЦІЇ ЗМІСТУ МАТЕМАТИЧНИХ ДИСЦИПЛІН
У ПІДГОТОВЦІ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
«ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА»**

Проблема диференціації та інтеграції в освіті є логічним наслідком процесів розвитку наукового знання, в якому диференціація змісту наук тісно пов'язана з його інтеграцією. Ці дві тенденції нерозривно пов'язані між собою [1]. На жаль навчальний матеріал в різних навчальних математичних дисциплінах не завжди вдається синхронізувати чи вибудувати лінійний ланцюг з математичних дисциплін з узгодженими темами і прикладними задачами їх застосування. Натомість інтегральною компетентністю фахівця зі спеціальності 113 «Прикладної математика» є здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми прикладної математики у професійній діяльності або у процесі навчання, що передбачає застосування математичних теорій та методів і характеризується комплексністю та невизначеністю умов [2].

Узагальненню та систематизації сукупності отриманих знань та вмінь з математичних дисциплін та опануванню навичок математичного моделювання сприяє система заходів і форм навчання, яка дає студентам можливість самостійно формувати особистісну систему знань, формувати нові міжпредметні зв'язки і набувати загальні та фахові компетентності.

До розробленої системи входять: проведення тижнів математики, математичних олімпіад, конкурсів нестандартних задач та ідей, інтелектуальних ігор та головоломок, під час яких студенти виконують завдання прикладної спрямованості, що формують вміння прогнозувати і

оцінювати результат, оцінювати правильність зроблених висновків та оцінювати їх обґрунтованість.

При проведенні навчальних занять отриманню фундаментальної математичної підготовки та налагодженню міжпредметних зв'язків сприяє комплекс кейс-занять для здобувачів освіти 2-3 курсів, що містить прикладні задачі з різних математичних курсів. Наприклад, при вивченні дисципліни «Рівняння математичної фізики» (IV семестр НПП «Прикладна математика») перед вивченням методу Фур'є, що є ефективним засобом аналітичного розв'язання лінійних задач математичної фізики для диференціальних рівнянь різних типів, були проведені кейс-заняття, на яких розглядалися питання і задачі з раніше вивчених математичних дисциплін, а саме: «Власні значення і власні вектори матриць», «Ортогоналізація і ортонормування системи векторів» з дисципліни «Лінійна алгебра і аналітична геометрія»; «Методи інтегрування функцій», «Ряди Фур'є, розкладання функцій в ряди Фур'є» з курсу «Математичний аналіз»; «Диференціальні рівняння з відокремлюваними змінними», «Лінійні диференціальні рівняння другого порядку зі сталими коефіцієнтами», «Диференціальні рівняння Коші-Ейлера другого порядку» з дисципліни «Диференціальні рівняння». Всі ці питання потрібні при вивченні методу Фур'є і після проведення попередніх кейс-занять відбувається узагальнення і систематизація набутих знань і навичок і формується вміння інтегрувати накопичений досвід для створення математичних моделей задач математичної фізики.

Даний підхід у навчанні ще недостатньо опрацьований, а тому потребує подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Шищенко І., Лукашова Т. Інтеграція змісту фахових математичних дисциплін у професійній підготовці майбутніх учителів математики. Фізико-математична освіта, 2022. Том 34. № 2. С. 55-62. DOI: 10.31110/2413-1571-2022-034-2-009
2. Освітньо-професійна програма «Прикладна математика». ДДТУ. Кам'янське, 2023. 19 с. https://www.dstu.dp.ua/uni/downloads/opp_bak_pm.pdf
3. Душкевич О. Інтегративний підхід до формування поняття про множину дійсних чисел у студентів математичних спеціальностей// Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Випуск 4 (I). С.27-34.

Грищенко А.А., Грищенко С.В.

Дніпровський державний технічний університет

**ІННОВАЦІЙНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТІ: ПЕРСПЕКТИВИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ
ТА НЕЙРОМЕРЕЖ**

У сучасній освіті стає все більш очевидною необхідність впровадження передових комп'ютерних технологій для покращення процесу навчання та забезпечення індивідуалізованого підходу до студентів. Машинне навчання та нейронні мережі надають унікальні можливості для адаптації навчального матеріалу під потреби кожного учня, автоматичної оцінки та аналізу знань, а також створення інтелектуальних освітніх агентів. Ці інноваційні підходи сприяють підвищенню ефективності освітнього процесу, скорочення витрат часу на навчання та покращення загальних результатів навчання. Таким чином, дослідження та застосування машинного навчання та нейромереж у навчальному процесі має величезну актуальність і має потенціал привнести значні зміни до сфери освіти.

У проведеному дослідженні виділено кілька актуальних напрямів досліджень в освіті, пов'язаних з машинним навчанням та нейромережами.

1. Персоналізація навчання за допомогою нейромереж.

У сучасному освіті стає дедалі важливішим створення індивідуалізованих освітніх програм, відповідних до потреб кожного учня. У цьому контексті застосування нейромереж є значним проривом. Нейромережі дозволяють аналізувати унікальні особливості кожного учня на основі його академічної історії, переваг та здібностей. Це відкриває нові перспективи для персоналізації навчального процесу, пропонуючи студентам індивідуальні шляхи навчання, адаптовані під їхні потреби та темп засвоєння матеріалу. Шляхом безперервного аналізу та зворотного зв'язку нейромережі можуть ефективно визначати слабкі місця студентів та пропонувати спеціалізовані навчальні

матеріали або методи навчання для їх усунення. Такий індивідуалізований підхід сприяє підвищенню мотивації та ефективності навчання, роблячи процес освіти більш привабливим та доступним для всіх студентів.

2. Автоматизована оцінка знань.

У сучасній освіті зростає потреба в ефективних методах оцінки знань, які дозволили б більш точно визначити успішність студентів та запропонувати їм індивідуалізовані рекомендації для покращення результатів навчання. Машинне навчання дає потужні інструменти для автоматизації цього процесу. Алгоритми машинного навчання можуть аналізувати великі обсяги даних, включаючи відповіді студентів на тести, завдання та інші освітні матеріали для виявлення загальних тенденцій та індивідуальних особливостей. Це дозволяє створювати більш об'єктивні та надійні критерії оцінки, що враховують різноманітні аспекти успішності студентів. Крім того, автоматизована оцінка знань звільняє час викладачів, дозволяючи їм більш ефективно зосереджуватись на розробці навчальних матеріалів та надання підтримки студентам. Таким чином, застосування методів машинного навчання в оцінці знань обіцяє покращити якість освіти та оптимізувати процеси навчання.

3. Інтелектуальні освітні агенти: роль нейромереж у підтримці та супроводі навчання.

Виникаюча потреба в персоналізованих та ефективних методах навчання призводить до появи інноваційних технологій, таких як інтелектуальні освітні агенти, що базуються на нейромережевих алгоритмах. Ці агенти є віртуальними помічниками, здатними адаптуватися до індивідуальних потреб студентів, надавати персоналізовану підтримку та забезпечувати безперервний супровід у процесі навчання. Розширення можливостей нейромереж дозволяє агентам аналізувати поведінкові дані студентів, виявляти їх потреби, переваги та прогрес у навчанні. Такі агенти можуть пропонувати індивідуальні рекомендації, пояснювати складні концепції, а також створювати інтерактивні навчальні середовища, сприяючи глибшому та ефективному засвоєнню

матеріалу. Таким чином, роль нейромереж у створенні інтелектуальних освітніх агентів стає все більш значущою у підтримці та супроводі навчання, забезпечуючи індивідуалізований та ефективний освітній процес.

4.Глибоке навчання для аналізу освітніх даних: нові можливості розуміння процесів навчання.

Застосування глибокого навчання для аналізу освітніх даних відкриває перед сучасною освітньою системою нові перспективи та можливості. Ці методи дозволяють аналізувати величезні обсяги даних, такі як академічні успіхи студентів, їх поведінкові патерни та взаємодії у навчальному середовищі. Шляхом обробки цих даних глибокі нейронні мережі здатні виявляти приховані закономірності та патерни, що призводить до більш точного розуміння процесів навчання. Аналіз освітніх даних з використанням глибокого навчання дозволяє виявляти фактори, що впливають на навчальний успіх, та пропонувати ефективні стратегії для покращення результатів навчання. Таким чином, глибоке навчання стає потужним інструментом для оптимізації освітнього процесу, створення персоналізованих освітніх підходів та підвищення ефективності навчання загалом.

К. фіз.-мат. н. Карімов І.К.*, к. е. н. Карімов Г.І.*, к. е. н. Нужна С.А.**

**Дніпровський державний технічний університет*

***Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

ЩОДО ВИБОРУ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ БАЗОВОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Вивчення основ програмування є обов'язковим етапом базової комп'ютерної підготовки здобувачів вищої освіти різних спеціальностей. При цьому стосовно спеціальностей, які напряму пов'язані з комп'ютерними науками (освітня галузь 12), питання про вибір мови програмування взагалі не виникає.

Вивчати потрібно ту мову, яка забезпечить найшвидший старт в професії. В 2024 році до таких мов слід віднести C, C++, C#, Python, Java (рис.1).

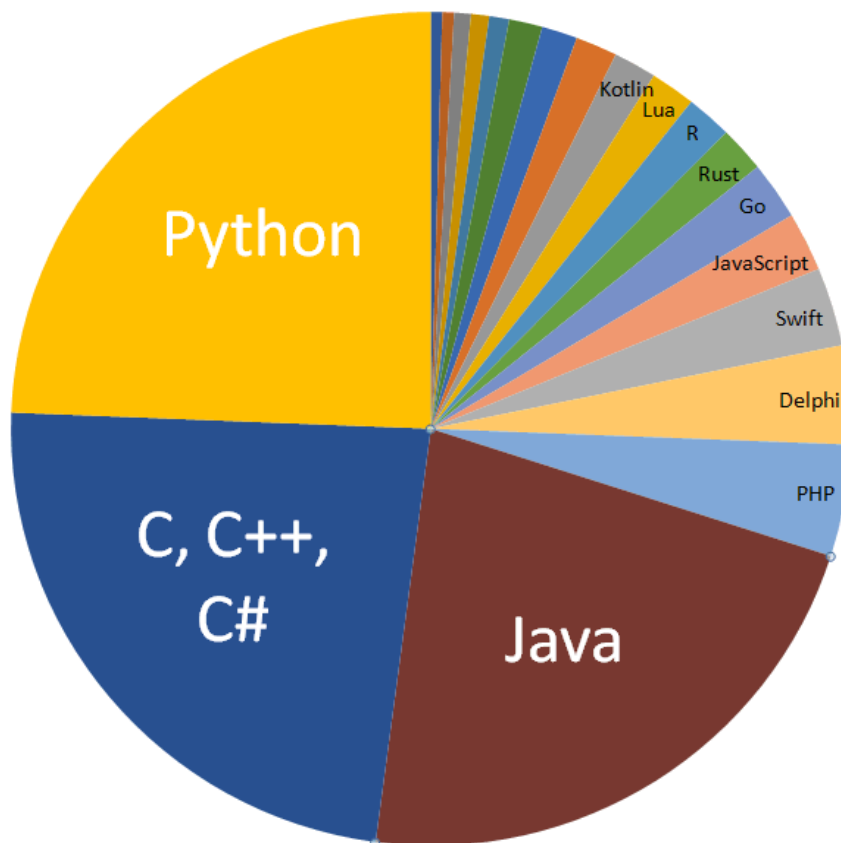


Рис. 1. Найбільш популярні мови програмування в 2024 р. Джерело: [1]

Інша справа – спеціальності, які не пов’язані напряму з програмуванням, зокрема, технічні, хімічні, економічні. Як основний інструмент професійної діяльності мова програмування в цьому випадку не розглядається. Однак, будь-яка діяльність фахівців з вищою освітою потребує вміння логічно мислити, розбиратися в алгоритмах вирішення професійних задач, а можливо і самим створювати нові алгоритми. Саме тому базова комп’ютерна підготовка здобувачів багатьох спеціальностей передбачає вивчення основ алгоритмізації та програмування. Мова програмування при цьому, з одного боку, забезпечує знайомство з процесом самостійного програмування професійних задач, з другого – є засобом перевірки правильності алгоритмів.

Зі сказаного вище витікають специфічні вимоги до вибору мови програмування для базової комп’ютерної підготовки здобувачів вищої освіти.

Мова програмування повинна бути відносно простою, щоб основні конструкції можна було вивчити за той обмежений час, що надається здобувачам-непрограмістам. В той же час вона повинна навчати хорошему стилю програмування і допускати узагальнення та удосконалення написаних програм з врахуванням сучасних тенденцій в програмуванні.

Саме такою є мова програмування Паскаль, яка вже з моменту її розробки відзначалася гнучкістю, надійністю, простотою і ясністю конструкцій; набором різноманітних структур даних (прості змінні, масиви, файли, множини, записи), а також розвиненими засобами створення нових типів даних [2]. Крім того, мова Паскаль повністю відповідала вимогам структурного програмування. Згодом розширена версія мови була реалізована як система професіонального програмування Турбо-Паскаль (Turbo Pascal), одна з особливостей якої полягає в наявності інтегрованого середовища, що забезпечує введення, редагування, зберігання, виконання та налагодження програм в досить комфортних для користувача умовах. За допомогою системи Турбо-Паскаль тривалий час ефективно програмувалися задачі, пов'язані з науковими і інженерними розрахунками; опрацюванням економічної і символічної інформації; керуванням технологічними процесами тощо.

Стрімке впровадження систем програмування C, C++, C#, Python, Java на деякий час призупинило активне використання мови програмування Паскаль. Втім, незабаром з'явилася система програмування PascalABC.NET [3].

Зауважимо, що PascalABC.NET – це система програмування та мова Pascal нового покоління для платформи Microsoft.NET. Мова програмування PascalABC.NET забезпечує можливість використання всіх основних елементів сучасних мов програмування, включаючи модулі, класи, перезавантаження операцій, інтерфейси, виключення, узагальнені класи, збирання сміття, лямбда-вирази, а також деякі засоби паралельності, зокрема, директиви OpenMP.

Платформа програмування Microsoft.NET забезпечує мову програмування PascalABC.NET великою кількістю стандартних бібліотек і дає можливість

досить просто суміщати її з іншими .NET-мовами: C#, Visual Basic.NET, C++, Oxygen тощо. Вона надає такі засоби як єдиний механізм опрацювання виключень; єдиний механізм управління пам'яттю у вигляді збирання сміття; можливість вільного використання класів, успадкування, поліморфізму та інтерфейсів між модулями, написаними на різних .NET-мовах.

При всьому цьому система PascalABC.NET включає в себе просте інтегроване середовище, яке допускає швидке створення програм, не обтяжених інтерфейсом. Таким чином, вона не відволікає фахівця, який не є професіоналом в галузі програмування, від вирішення його основних задач. До того ж, можна використовувати всі переваги класичної мови Паскаль, орієнтованої саме на навчання хорошему стилю програмування. При необхідності доведення програмного продукту до масового використання завжди можна скористатися послугами професіональних програмістів для створення відповідного інтерфейсу.

Таким чином, на сьогодні при виборі мови програмування для базової комп'ютерної освіти здобувачів-непрограмістів слід віддати перевагу системі PascalABC.NET.

Список використаних джерел

1. Мова програмування у 2024 році: з чого почати новачкам? / URL: <https://kiev.itstep.org/blog/programming-language-in-2022-where-to-start-for-beginners> (дата звернення: 2.05.2024)
2. Карімов І.К. Комп'ютерні методи та засоби розв'язання інженерних задач: навч. посібник. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 283 с.
3. Вивчаємо мову програмування Pascal ABC. URL: <http://examples.inf.ua> (дата звернення: 2.05.2024)

К. техн. наук Косухіна О.С.

*Відокремлений структурний підрозділ «Технологічний фаховий коледж
Дніпровського державного технічного університету»*

**ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРОГРАМ ПРИ ВИКЛАДАННІ
ДИСЦИПЛІНИ «ЛІНІЙНА АЛГЕБРА»**

У суспільстві інформаційні технології всебічно припадають на всі сфери життя, і освітній процес вже немислимий без різноманітної комп'ютерної підтримки. Це визначає актуальність впровадження сучасних комп'ютерних технологій в освітній процес на різних етапах навчання здобувачів освіти. Зростання обсягу інформації з одночасним зменшенням часу навчання потребує сьогодні підвищення інтенсивності занять. З цією метою використовується комп'ютерна техніка, що дозволяє наочно та швидко проводити складні обчислення.

Візуалізація сприяє кращому запам'ятовуванню матеріалу. Використання комп'ютерної техніки дозволяє викладачеві частину ілюстративного матеріалу заготовити заздалегідь. Якщо на традиційній дошці інформацію доводиться видаляти, при використанні комп'ютерних технологій з'являється можливість повертатися до написаного раніше без втрати інформації. Використання на лекціях заготовлених заздалегідь фрагментів дозволяє зручніше і зрозуміліше для здобувачів освіти структурувати матеріал, задавати фрагменти опорних конспектів та здійснювати зворотний зв'язок з ними у вигляді коротких питань або тестових завдань.

З дисципліни «Лінійна алгебра» розпочинається математична освіта здобувачів, що навчаються за освітньо-професійним ступенем фаховий молодший бакалавр за спеціальностями «121 Інженерія програмного забезпечення» та «113 Прикладна математика». Знання, отримані у цьому курсі, використовуються в подальшому у математичному аналізі, диференціальних рівняннях, дискретній математиці, математичній логіці, методах оптимізації та

ін. Для успішного засвоєння матеріалу дисципліни «Лінійна алгебра» здобувачі освіти повинні мати математичні знання в рамках шкільної програми. При вивченні лінійної алгебри на практичних заняттях поруч із традиційним паперовим розрахунком можуть бути застосовані такі комп'ютерні програми, як MatLab, MathCAD, Maple. Це дозволить підвищити цікавість до предмету, буде сприяти кращому засвоєнню матеріалу, стимулює здобувачів освіти до самостійного вивчення додаткових матеріалів. Ці програми є зручним інструментом для розв'язання різних прикладних задач, але ці програми вимагають навичок програмування від здобувачів освіти та закупівлі ліцензії від навчального закладу, тому можуть бути запропоновані на самостійне вивчення лише найбільш зацікавленим здобувачам.

Однак працювати з матрицями та визначниками можна не тільки у спеціалізованих математичних пакетах, але й у звичних офісних електронних таблицях. Вивчення дисципліни «Лінійна алгебра» в коледжі зазвичай проводиться на першому курсі. У цей час здобувачі освіти ще тільки знайомляться з коледжем, правилами поведінки в ньому та особливостями розкладу занять. Тому цей час не дуже зручний для вивчення нових великих математичних пакетів. Електронні таблиці набули широкого поширення, вони вивчаються у школах, часто встановлюються і на планшети, і на сучасні телефони, тобто у здобувачів освіти є доступ до них практично завжди. При цьому здобувачі освіти не відчують труднощів під час роботи в електронних таблицях, знаходяться в комфортному психологічному середовищі і можуть повністю зосередитися на новому матеріалі з предмету.

В якості прикладу розглянемо розрахунок систем лінійних рівнянь алгебри методом оберненої матриці в офісній програмі Excel (рис. 1). Важливою особливістю електронних таблиць є миттєвий перерахунок всіх формул та результатів обчислень при зміні вхідних даних. Так, при вивченні дисципліни «Лінійна алгебра» зручно наочно демонструвати здобувачам, як від зміни на невелику величину однієї цифри у вихідних даних змінюється

значення визначників, розв'язання системи лінійних рівнянь тощо. Маючи можливість багаторазово змінювати вихідні дані, студенти починають краще розуміти взаємозв'язок різних факторів.

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the 'Formulas' ribbon selected. The formula bar displays $\{=MMULT(C9:E11;G3:G5)\}$. The spreadsheet contains the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2			Матриця системи А				Стовпчик вільних членів В		
3			3,00	4,00	2,00		8		
4			2,00	-4,00	-3,00		-1		
5			1,00	5,00	1,00		0		
6									
7			Обернена матриця				Розв'язок X=		
8							2		
9			0,268293	0,15	-0,10		-1		
10			-0,12	0,02	0,32		3		
11			0,34	-0,27	-0,49				
12									

Рис.1 Приклад

При роботі з електронними таблицями у здобувачів освіти є можливість у будь-який момент часу змінити обрану функцію на іншу, якщо це не суперечить вихідним даним.

Впровадження у навчальний процес роботи з електронними таблицями дало позитивну динаміку результатів вивчення здобувачами освіти лінійної алгебри. Заняття із застосуванням комп'ютерів викликають зацікавленість у них, дозволяють одразу перевірити свої розрахунки. Здобувачі, звичні до використання комп'ютерних технологій, перебувають у комфортному для себе психологічному середовищі, що покращує результат навчальної діяльності особливо під час дистанційної роботи.

Д. пед.н. Крилова Т.В.

Дніпровський державний технічний університет

DEVELOPMENT OF EDUCATION IN UKRAINE IN THE XVI-XVII CENTURIES

"Education is the process and result of a person's assimilation of a certain system of sciences, knowledge, practical abilities and skills and related to them one or another level of development of his mental, cognitive and creative activity, as well as moral and aesthetic culture, which in their totality determine the social face and individuality of this person.

Education is the broadest of pedagogical categories, which has a holistic, multifunctional and multi-meaning structure".

Education has three more important functions: creative, technological and humanistic.

These functions are combined with the educational, developmental and educational function. They are considered in their unity and interrelationship.

The concept of "education" has several aspects, namely: a process that is a holistic unity of learning, education, development, self-development; preservation of cultural norms with orientation to the future state of culture; creation of conditions for the full realization of an individual's internal potential and his formation as an integrated member of society, performing the function of the succession of generations.

The content of education and its level determine the requirements of production and are determined by social relations, the state of science, technology, culture, and the level of development of school affairs and pedagogical science. Teaching methods aimed at solving certain educational goals are closely related to the content of education.

In the second half of the 16th century, there were changes in the state-administrative situation of a large part of Ukrainian lands. In the second half of the

16th century, and especially in the third half of the 17th century, cities in Ukraine were further developed as centers of craft and trade, economic ties between individual lands were strengthened, and the prerequisites for the formation of a single internal, i.e., national market arose. The process of development of the Ukrainian nation continued, the national consciousness of the Ukrainian people grew, and Ukrainian culture developed.

In order to fight against foreign oppression, national and religious pressures, the urban and partly rural population organized themselves into brotherhoods in the 16th and 17th centuries. These brotherhoods opened schools, printing houses, around which cultural forces united. At the end of the 16th and beginning of the 17th centuries, fraternal schools were established in 1585 in Lviv, in 1615 in Kyiv, in 1620 in Lutsk, Vinnytsia, Nemyrov, Kamianets-Podilskyi and some other cities. Teaching in these educational institutions was conducted in the native language. Considerable attention was paid to the study of Greek, and later Latin and Polish languages, grammar, rhetoric, as well as arithmetic, astronomy, music and theology were studied.

In the second half of the 16th century, the spread of education contributed to the emergence of book printing in Ukraine. The first printing house was opened by Ivan Fedorov in Lviv, where "Apostol" and "Bukvar" were published in 1574. In 1578, the Ostroz printing house was founded, then its equipment was transferred to the Lviv brotherly printing house. By the middle of the 17th century, there were 25 printing houses in 17 cities and villages in Ukraine: in Kyiv - the Kyiv-Pechersk printing house, the printing houses of T. Verbytskyi and S. Sobol; in Lviv - M. Slezky and F. Zhelyborskyi; Chernihiv Typography.

The Lviv Assumption Brotherhood was known for continuing the traditions of Ivan Fedorov. It developed book printing and ensured the distribution of books in Ukraine and abroad. In 1585, the brotherhood founded a school, which was to eventually turn into an educational institution.

In 1632, the first higher educational institution in Ukraine was established - the Kyiv-Mohyla College. It was created by merging the Kyiv Fraternal School and the Lavra School. The school was attended mainly by the children of the Ukrainian nobility, elders, clergy, rich burghers and Cossacks. Fraternal schools played a progressive role in the spread of education and the development of Ukrainian culture. This event marked the beginning of the development of higher education institutions in Ukraine.

Д. пед. н. Крилова Т.В., к. фіз.-мат. н. Карімов І.К.

Дніпровський державний технічний університет

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

В ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІНИ

«ПЕДАГОГІКА ТА МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ У ВИЩІЙ ШКОЛІ»

Дисципліна «Педагогіка та методика викладання у вищій школі» є обов'язковою дисципліною підготовки здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 113 «Прикладна математика». Мета вивчення дисципліни полягає в підготовці майбутніх фахівців до ведення навчального процесу з математичних дисциплін. В реаліях сьогодення така діяльність нерозривно пов'язана з застосуванням засобів комп'ютерної техніки та сучасних інформаційних технологій [1, 2]. Саме тому програмою дисципліни «Педагогіка та методика викладання у вищій школі» передбачене вивчення відповідного теоретичного матеріалу та проведення спеціального практичного заняття «Використання інформаційно-комунікаційних технологій при проведенні занять з математики».

Основні теоретичні питання, що розглядаються:

1. Комп'ютерна математика, її роль в математичній підготовці здобувачів освіти.

2. Основні можливості і пріоритети застосування системи MathCad при навчанні здобувачів вищої освіти.

3. Підсистема символічної математики MathCad та її застосування при вивченні диференціального та інтегрального числення.

4. Стандартні функції і інструменти MS Excel та їх використання при вивченні класичної математики.

5. Застосування MS Excel для демонстрації теоретичних положень математики.

6. Можливості MS Excel для розв'язання задач оптимізації.

Практична робота полягає в розробці проекту практичного заняття з застосуванням комп'ютерних технологій вирішення математичних задач.

Приклади задач, що можуть бути основою проекту, наведені нижче.

1. Обчислити похідну функції $f(x) = x^3 \ln \sin x$ та $\int \frac{\cos x dx}{3 + 2 \sin x}$.

2. Визначити наближене значення кореня рівняння

$$2x - 3 \sin 2x - 1 = 0$$

3. Розв'язати задачу Коші для диференціального рівняння

$$y'' - 4y' + 3y = x^3 + 5x^2$$

на інтервалі $[0;1]$ при початковій умові $y(0) = 0$, $y'(0) = 2$.

4. Розв'язати систему рівнянь

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 - 5x_3 + x_4 = -4 \\ x_1 - 3x_2 - 6x_4 = -7 \\ 2x_2 - x_3 + 2x_4 = 2 \\ x_1 + 4x_2 - 7x_3 + 6x_4 = -2 \end{cases}$$

5. Деяке підприємство може випускати продукцію n видів, використовуючи при цьому сировину m видів. Відомі норми витрати i -ої сировини на одиницю продукції j -го виду c_{ij} , запаси i -ої сировини a_i , собівартість s_j та оптова ціна z_j одиниці j -ої продукції. Потрібно скласти такий

план випуску продукції, щоб сумарний прибуток від її реалізації був найбільшим.

Звітність по роботі передбачає опис технології вирішення задачі за допомогою конкретних програмних засобів; захист проекту проводиться в присутності всіх слухачів даної дисципліни на основі спеціально підготовленої презентації.

Список використаних джерел

1. Карімов І.К. Комп'ютерні технології в навчальному процесі технічного університету: монографія / І.К. Карімов, Г.І. Карімов. – Кам'янське : ДДТУ, 2020. – 168 с.
2. Методологічні питання математичної підготовки в технічному університеті: монографія/ Н.М. Волосова, Є.В. Дерезь, І.К. Карімов та інші – Кам'янське: ДДТУ, 2020. – 178 с.

К.е.н. Нужна С. А.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Здобувач Нужна Я. О.

Університет митної справи та фінансів

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЬЮТОРСЬКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО НАВЧАННЯ ЗДОБУВАЧІВ

У сучасному світі освіта є однією з найважливіших сфер, що визначає розвиток суспільства та економіки. З розвитком інформаційних технологій та штучного інтелекту виникають нові можливості для покращення освітнього процесу, зокрема через персоналізоване навчання. Персоналізація навчання дозволяє враховувати індивідуальні особливості, потреби та рівень знань кожного студента, що сприяє підвищенню ефективності навчального процесу та мотивації здобувачів.

Інтелектуальні тьюторські системи (ІТС) є однією з найперспективніших технологій у цьому напрямку. Вони базуються на алгоритмах машинного навчання та великих даних, що дозволяє автоматизовано аналізувати поведінку здобувачів, їхні успіхи та проблеми, а також адаптувати навчальний контент

відповідно до їхніх потреб. ІТС сприяють підвищенню успішності здобувачів завдяки індивідуальному підходу до навчання. Персоналізовані рекомендації дозволяють здобувачам краще зрозуміти навчальний матеріал, підвищують їхню мотивацію та залученість у навчальний процес. Здобувачі, які користуються інтелектуальними тьюторами, демонструють вищі результати в навчанні порівняно з тими, хто навчається традиційними методами.

Архітектура ІТС складається з декількох ключових компонентів, кожен з яких виконує важливу роль у забезпеченні персоналізованого навчання: модуль збору даних, модуль обробки даних та модуль рекомендацій.

Модуль збору даних збирає інформацію про студента, включаючи його навчальні досягнення, відповіді на завдання, результати тестів та іншу активність у навчальній системі. Використовує різні джерела даних, такі як електронні навчальні платформи, онлайн-курси та соціальні мережі. Модуль обробки даних аналізує зібрані дані за допомогою алгоритмів машинного навчання та великих даних. Визначає індивідуальні особливості кожного студента, його сильні та слабкі сторони, а також прогнози щодо майбутніх навчальних результатів. Останній модуль (модуль рекомендацій) на основі аналізу даних генерує персоналізовані рекомендації для студентів щодо навчальних матеріалів, завдань та стратегій навчання, забезпечує адаптацію навчального контенту відповідно до потреб та рівня підготовки кожного студента. Не менш важливим є модуль взаємодії з користувачем, який забезпечує інтерфейс для взаємодії зі студентами та викладачами. Надає зворотний зв'язок у реальному часі та підтримує комунікацію між здобувачем та системою.

ІТС автоматизують багато рутинних завдань, таких як перевірка завдань, тестування та надання зворотного зв'язку. Це дозволяє викладачам зосередитися на більш складних та творчих аспектах навчання, таких як розробка нових навчальних матеріалів, проведення досліджень та індивідуальна робота зі здобувачами. Зменшення навантаження на викладачів також сприяє покращенню якості освіти загалом.

На сьогоднішній день існує кілька успішних прикладів впровадження інтелектуальних тьюторських систем у навчальних закладах по всьому світу. Наприклад, Carnegie Learning's MATHia, Knewton, Smart Sparrow та інші.

Carnegie Learning's MATHia - ІТС, розроблена для навчання математики. Вона використовує адаптивні алгоритми для надання персоналізованих завдань та рекомендацій здобувачам, що дозволяє покращити їхні математичні навички. *Knewton* - адаптивна навчальна платформа, що використовує технології штучного інтелекту для аналізу навчальних даних здобувачів створення індивідуалізованих навчальних планів. Платформа застосовується в різних дисциплінах, від математики до гуманітарних наук. *Smart Sparrow* - платформа, що дозволяє викладачам створювати адаптивні навчальні матеріали з використанням штучного інтелекту. Вона забезпечує індивідуальний підхід до навчання, враховуючи рівень підготовки та потреби кожного здобувача.

Активно впроваджують ІТС для підвищення якості навчання і в українських закладах освіти. Один з проєктів, який варто відзначити, це використання платформи *EdX* (Київський національний університет імені Тараса Шевченка) у поєднанні з адаптивними навчальними модулями, розробленими на основі машинного навчання. Здобувачі отримують персоналізовані завдання та рекомендації, що дозволяє покращити їхні навчальні результати та знизити рівень академічної неуспішності. Проєкт "*Розумне навчання*" у Київському політехнічному інституті (КПІ) використовує технології штучного інтелекту для аналізу прогресу здобувачів та надання індивідуальних рекомендацій. Система допомагає виявляти слабкі місця в знаннях здобувачів та пропонує додаткові матеріали для їх покращення. Проєкт "*Інтелектуальне навчання*" (Харківський національний університет радіоелектроніки) використовує алгоритми машинного навчання для створення персоналізованих навчальних траєкторій для здобувачів. Система аналізує результати тестів та завдань, надаючи рекомендації щодо подальшого навчання та розвитку навичок. Львівський національний університет імені Івана Франка активно використовує інтелектуальні тьюторські системи (платформа *Coursera*) для покращення навчання здобувачів-гуманітаріїв.

Розвиток штучного інтелекту відкриває нові горизонти для вдосконалення інтелектуальних тьюторських систем. А саме, поглиблене персоналізоване навчання, інтерактивні та багатовимірні середовища навчання, розширені можливості взаємодії, інтеграція інтелектуальних тьюторів з іншими освітніми технологіями, аналітика навчання, мобільне навчання та багато іншого.

Отже, інтелектуальні тьюторські системи можуть відігравати ключову роль у реформуванні освіти, забезпечуючи більш індивідуалізований та ефективний навчальний процес. Вони сприяють розвитку компетентностей 21-го століття, таких як критичне мислення, проблемне вирішення та самостійне навчання. У майбутньому ІТС можуть стати невід'ємною частиною освітніх систем, забезпечуючи якісну та доступну освіту для всіх.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	
<i>1. Дерезь О.Л., Садовой О.В., Дерезь С.О.</i> Дослідження оптимізованого за швидкодією електропривода в умовах варіювання параметрів.....	3
<i>2. Дерезь О.Л., Садовой О.В., Дерезь С.О.</i> Синтез систем третього порядку із аперіодичним входженням у ковзним режимом.....	6
<i>3. Костиця М.В., Кошель М.Д., Костиця В.В.</i> Математичне моделювання процесів струмоутворення та аналіз ефективності роботи пористих оксидно-нікелевих електродів.....	9
<i>4. Kruglyak I.V., Sereda D.B., Zuzin E.P.</i> Modeling improving the thermal stability of carbon-carbon composite materials using functionally active charges	12
<i>5. Nadryhailo T., Morhun Y.</i> Metal refining methods to optimization production and improvement of steel quality.....	14
<i>6. Пасічник А. М., Худа Ж.В., Балясний О.М.</i> Розв’язання оптимізаційних задач паралельного упорядкування з аномальними випадками.....	16
<i>7. Сасов О.О., Свистун А.М.</i> Методи математичного моделювання раціональних режимів роботи міських автобусів на маршрутах.....	19
<i>8. Sereda B.P., Udod A.M.</i> Thermodynamic modeling of protective chrome coatings on elastomeric materials.....	22

9. <i>Sereda D.B., Bilozor I.V., Kiforuk D.M.</i> Mathematical modeling of gas phase composition in functionally active charges.....	24
10. <i>Сохацький А.В, Дреус А.Ю.</i> Обчислювальні технології в аеродинаміці надводних літальних апаратів.....	27
11. <i>Строева В.О., Жигалева С.П.</i> Study of some combinatorial optimization problems.....	30
12. <i>Строева В.О., Садова Л.П.</i> Дослідження методів експертних оцінок, як інструментів системного аналізу деяких систем.....	31
СЕКЦІЯ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ	
13. <i>Авраменко В. І.</i> Модель неоднорідного джерела випадкових променів над площиною.....	34
14. <i>Бажан С.М.</i> Знаходження максимального значення для швидко осцилюючих функцій.....	36
15. <i>Балацький К.В., Красніков К.С.</i> Нечітке моделювання роботи теплообмінного котла.....	39
16. <i>Білоус О.І., Танцюра Г.І., Чепурко В.К., Хохотва А.О.</i> Математична модель напружено-деформованого стану гумотросової стрічки конвеєра.....	41

17. <i>Волосова Н.М., Гноєвой Д.В.</i> Mathematical modeling of the development of the hotel business enterprise by means of the method of analysis of hierarchies...	44
18. <i>Довгий С.О., Довгий Б.Т., Копійка О.В., Моїсеєнко С.В., Редчиць Д.О., Тучина У.М.</i> Чисельне моделювання фізичних процесів вибіркового лазерного плавлення металевих порошків.....	47
19. <i>Зайцев М.О., Клімов Р.О.</i> Моделювання процесів гідродинамічного отримання емульсій	50
20. <i>Кириченко Ю.Л., Клімов Р.О.</i> Дослідження циклів роботи систем водяного підлогового опалення	51
21. <i>Малий О.М., Красніков К.С.</i> Нечітке моделювання процесу гри на музичному інструменті.....	52
22. <i>Пасічник А. М., Лебідь І. Г., Худа Ж.В.</i> Математична модель та алгоритм оптимізації функціонування пункту пропуску митного кордону...	54
23. <i>Пасічник А. М., Циба. В. В.</i> Математична модель прямої та оберненої задачі балістичної траєкторії польоту твердого тіла сферичної форми.....	57
24. <i>Пасічник А. М., Чумак М. С.</i> Математична модель оптимізаційної задачі кластерної організації виробничих процесів	59
25. <i>Погорелий К.Ю., Клімов Р.О.</i> Коефіцієнт компактності як фактор оптимізації конструкції підігрівачів.....	61

26. Попруга В.О., Красніков К.С. Нечітка модель прогнозування результату шашкової партії.....	64
27. Редчиць Д.О., Тарасов М.С. Моделювання динаміки n-роторів дар'є з урахуванням змінності поточних чисел Рейнольдса.....	65
28. Sereda V.P., Udod A.M., Skrebkov K.O., Gulyaev K.V. Simulation and enhancement of chromium-alloy coatings production under shs conditions.....	68
29. Sereda V.P., Syslov I.V., Komendarov K.M. Modeling formation of titanium coatings in the conditions of self-propagating high-temperature synthesis.....	70
30. Скосар В.Ю., Ворошилов О.С., Бурилов С.В., Дзензерський В.О. Моделювання ефективності рейкотрона.....	72
31. Скосар В.Ю., Бурилова Н.В., Камінський В.Р., Бурилов С.В. Моделювання винахідницького процесу на прикладі паливного елемента...	75
32. Стеблюк Н.Ф., Волосова Н.М. Application of the canvas model for determining the strategy for optimal management of enterprises.....	77
33. Строева В.О., Богданенко О.С. Імітаційне моделювання складних систем.....	80
34. Surhanova Yu., Mikhlin Yu. Stability of nonlinear normal modes in the system of coupled pendulums in a magnetic field.....	82
35. Тогобицька Д.М., Кисляков В.Г., Молчанов Л.С. Фізико-хімічна модель спільного видалення S, SI, P із чавуну способом високотемпературного моделювання.....	85

35. Шматко Д.З., Власенко А.Є. Математична модель маршрутної системи міських автобусів великої місткості.....	88
36. Югай В.Т., Клімов Р.О. Вплив розвинених поверхонь нагріву на об'єм підігрівача	91
СЕКЦІЯ 3. АЛГОРИТМИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	
37. Андрєєв І.В., Надригайло Т.Ж. Сучасні засоби комп'ютерного моделювання прикладних задач за допомогою нейронних мереж.....	94
38. Андрєєв О.В., Надригайло Т.Ж. Алгоритми та методи афінних перетворень для реалізації 2D-трансформацій в графічних веб-редакторах	97
39. Babenko M., Babenko Y., Kompaniets R. Ensuring the integrity and availability of video information resources in information and communication systems.....	100
40. Babenko M., Shevchenko I. Steganographic hiding of information in FB2 format files.....	102
41. Babenko M., Yakymenko V. Using ontological tools in creating intelligent systems in e-commerce	105
42. Бажан С.М., Дубина А.А. Імітаційне моделювання роботи банківських установ.....	107

43. <i>Вернигора Д.В., Карімов І.К.</i> Комп'ютерне моделювання теплового стану зварних виробів з метою розробки раціональних схем місцевої термообробки	109
44. <i>Гарт Л.Л., Бугаєнко А.О.</i> Числові алгоритми розв'язання задачі оптимального керування з вільним правим кінцем.....	111
45. <i>Грищенко А.А., Грищенко С.В.</i> Дослідження застосування методу навчання з підкріпленням з використанням алгоритму Q-навчання для ігор.	114
46. <i>Карімов І.К., Чернецький В.М.</i> Апроксимація функцій і MS Excel: деякі зауваження.....	117
47. <i>Качура О.В., Сугаль Є.О.</i> Проектування асинхронних двигунів з використанням додаткових модулів у програмному комплексі Simulator....	120
48. <i>Нужна Я.О., Красніков К.С.</i> Розробка програмного та інформаційного забезпечення веб-сайту кафедри навчального закладу.....	122
49. <i>Пасічник А. М., Ріпа М. Ю.</i> Застосування генетичного алгоритму розміщення джерел екстреного оповіщення населення	125
50. <i>Поляков В. О.</i> Алгоритм ієрархічного побудування руху механічної підсистеми магнітолевітуючого поїзда у просторі її станів.....	128
51. <i>Firsov A., Muzychka K.</i> Application of blockchain for building a quality management system in manufacturing processes.....	132
52. <i>Yalova K., Veremeichenko M., Babenko M., Lyman N., Verbytskyi M.</i> Using splines for describing complex surfaces.....	135

СЕКЦІЯ 4. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ	
53. <i>Волосова Н.М., Нестєров Д. Д.</i> До питання інтеграції змісту математичних дисциплін у підготовці здобувачів вищої освіти спеціальності «Прикладна математика».....	137
54. <i>Грищенко А.А., Грищенко С.В.</i> Інноваційні аспекти застосування комп'ютерних технологій в освіті: перспективи машинного навчання та нейромереж.....	139
55. <i>Карімов І.К., Карімов Г.І., Нужна С.А.</i> Щодо вибору мови програмування для базової комп'ютерної підготовки здобувачів вищої освіти.....	142
56. <i>Косухіна О.С.</i> Застосування комп'ютерних програм при викладанні дисципліни «Лінійна алгебра».....	145
57. <i>Крилова Т.В.</i> Development of education in ukraine in the XVI-XVII centuries.....	148
58. <i>Крилова Т.В., Карімов І.К.</i> Сучасні інформаційні технології в вивченні дисципліни «Педагогіка та методика викладання у вищій школі».....	150
59. <i>Нужна С.А., Нужна Я. О.</i> Використання інтелектуальних тьюторських систем для персоналізованого навчання здобувачів.....	152

Н а у к о в е в и д а н н я

Мови видання: українська, англійська

ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції
(22-24 травня 2024 року м. Кам'янське)

Доповіді друкуються в авторській редакції

За точність викладеного матеріалу відповідальність покладається на авторів

Учений секретар Волосова Н.М.
Комп'ютерна верстка Волосова Н.М.