

**МАТЕРІАЛИ  
Всеукраїнської  
науково-методичної конференції**

# **ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

**Кам'янське  
24-26 травня 2023 р.**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Дніпровський державний технічний університет

# **ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції  
(24-26 травня 2023 року, м. Кам'янське)

Кам'янське  
ДДТУ  
2023

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

*Голова організаційного комітету:*

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

*Заступники голови організаційного комітету:*

Іван Карімов, к. ф.-м. н., доцент, завідувач кафедри прикладної та вищої математики ДДТУ

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

*Члени організаційного комітету:*

Вікторія Строева, к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедри прикладної та вищої математики ДДТУ

Тетяна Надригайло, к. т. н., доцент, доцент кафедри прикладної та вищої математики ДДТУ

*Учений секретар:*

Наталія Волосова к.т.н., доцент, доцент кафедри прикладної та вищої математики ДДТУ

Проблеми математичного моделювання: матеріали Всеукр. наук.-метод. конф., 24-26 трав. 2023 р. Кам'янське: ДДТУ, 2023, 125 с.

У збірнику надруковано матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції, яка відбулася 24-26 травня 2023 р. у Дніпровському державному технічному університеті.

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

## Секція 1

# МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

К. техн. н. Дерещ О.Л.<sup>1</sup>, д. техн. н. Садовой О.В.<sup>2</sup>, асп. Дерещ С.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

<sup>2</sup>Національний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро

## АЛГОРИТМ СИНТЕЗУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ МЕТОДУ N-і ПЕРЕМИКАНЬ

Метод N-і перемикачів [1, 2] ефективним інструментом синтезу систем підпорядкованого керування, утворених каскадом з N релейних регуляторів, де N – порядок об'єкта керування. Він ґрунтується на прогнозі траєкторій руху систем, які виконують стабілізацію проміжних координат на відомих рівнях.

Електропривод з безінерційним силовим перетворювачем має порядок N=2 і описується [2] системою диференціальних рівнянь

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

де  $i$  — струм якоря,  $i_c$  — статичний струм,  $u$  — напруга якірної кола,  $\omega$  — кутова швидкість вала двигуна,  $L, R$  — індуктивність та активний опір якірної кола,  $c = k\Phi$  — коефіцієнт, який є константою при сталому магнітному потоці,  $J$  — момент інерції електромеханічної системи, який визначається сумою моментів інерції якоря та приведених до вала двигуна моментів інерції редуктора й робочого органа,  $p = d/dt$  — символ диференціювання за часом.

За методом N-і перемикачів для керування динамічним об'єктом (1) необхідно застосувати [1] каскад релейних регуляторів

$$\left. \begin{aligned} u_{R1} = u_{R\omega} = \varepsilon^* &= \varepsilon_{max} \cdot \text{sign}(\omega^* - \omega - K_{\omega\varepsilon} \cdot \varepsilon) \\ u_{R2} = u_{R\varepsilon} = u^* &= u_{max} \cdot \text{sign}(\varepsilon^* - \varepsilon) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де  $\omega, \varepsilon$  — відповідно кутові швидкість та прискорення вала двигуна, символом «\*» позначено задані значення; індексами «max» позначено рівні обмеження

координат стану;  $K_{\omega\varepsilon}$  – коефіцієнт зворотного зв'язку регулятора швидкості за прискоренням,  $u_{R\omega}, u_{R\varepsilon}$  – сигнали регуляторів швидкості та прискорення.

Разом зі встановленням амплітуд сигналів регуляторів (2) на рівнях

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

умовою оптимізації системи (1), (2) є визначення  $K_{\omega\varepsilon}$  за формулою

$$K_{\omega\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{max}}{2 \cdot a_{max}}. \quad (4)$$

Синтез оптимального керування є простим порівняно з застосуванням інших методів завдяки спрощувальному допущенню про сталість ривка на інтервалах стабілізації керуючої напруги

$$u(t) = const \Rightarrow a(t) = const, \quad (5)$$

яке дозволяє розглядати об'єкт керування як нейтрально стійкий

$$p\omega = \varepsilon, \quad p\varepsilon = p^2\omega = a, \quad (6)$$

що суттєво спрощує форму (рис.1, а) розрахункової оптимальної траєкторії та

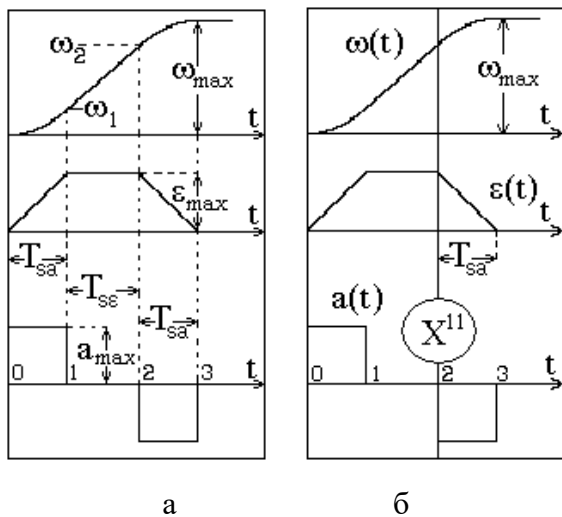


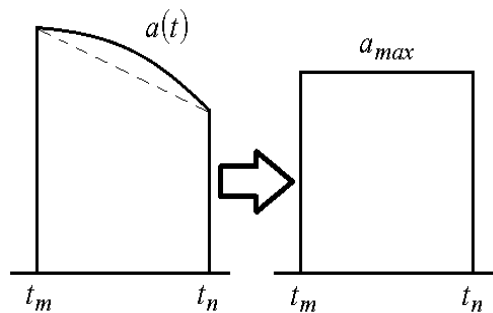
Рис. 1. Ділянка оптимальної траєкторії (а) та характерна точка (б) системи

уніфікує її для різних об'єктів. Це зводить синтез  $K_{\omega\varepsilon}$  до прив'язки моменту одиничного перемикання регулятора до точки траєкторії  $X^{11}$  (рис.1, б).

В дійсності допущення (5) ніколи не виконується, що робить формули (3), (4) наближеними і спричиняє відхилення руху систем (1), (2) з параметрами (3), (4) від розрахункової

траєкторії. Це не дозволяє вважати такі системи строго оптимальними за швидкодією і вимагає вдосконалення математичного апарату метода N–і перемикань. Без відмови від допущення (5) розв'язання проблеми можливе

завдяки уточненню значення  $a_{max}$ . З врахуванням внутрішніх зворотних зв'язків об'єкта керування (1) слід побудувати (рис.2) реальну форму часової діаграми ривка  $a(t)$  на інтервалі сталості напруги перетворювача  $t_m - t_n$  і замінити її еквівалентною кусково-сталою функцією. Заміна виконується на



підставі рівності площ трапеції та прямокутника під реальною та розрахунковою діаграмами ривка (рис.2), якщо

$$a_{max} = (a_{max}(t_m) + a_{max}(t_n)) / 2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{J} \cdot \frac{1}{L} \cdot |u(t_m) - R \cdot i(t_m) - c \cdot \omega(t_m) + u(t_n) - R \cdot i(t_n) - c \cdot \omega(t_n)|. \quad (7)$$

Рис. 2. Апроксимація реальної часової діаграми ривка константою

Формулу (7) отримано з другого рівняння

системи (1) підстановкою розрахункових значень координат на інтервалі сталості напруги наприкінці розгону привода. Вона є наближеною, як і друга формула з системи (3), але дає значно меншу похибку визначення  $a_{max}$ . Якщо співвіднести моменти часу  $t_m, t_n$  на рис.2 та 2,3 на рис.1, можна знайти значення для підстановки в формулу (7)

$$|u(t_m) = u(t_n) = u_{max}, i(t_m) = i_{max}, i(t_n) = 0, \omega(t_m) = \omega_{max}|. \quad (8)$$

Пропонована методика має логічне коло, оскільки для визначення  $a_{max}$  за виразами (7), (8) необхідно знати  $\omega_1 = 0,5 \varepsilon_{max}^2 / a_{max}$  [2], залежне від  $a_{max}$ . Оскільки йдеться про наближені обчислення, коло можна розірвати,

застосувавши ітераційний алгоритм (рис.3), де першим наближенням  $a_{max}$  для (8) є значення, отримане з другої формули системи (3).

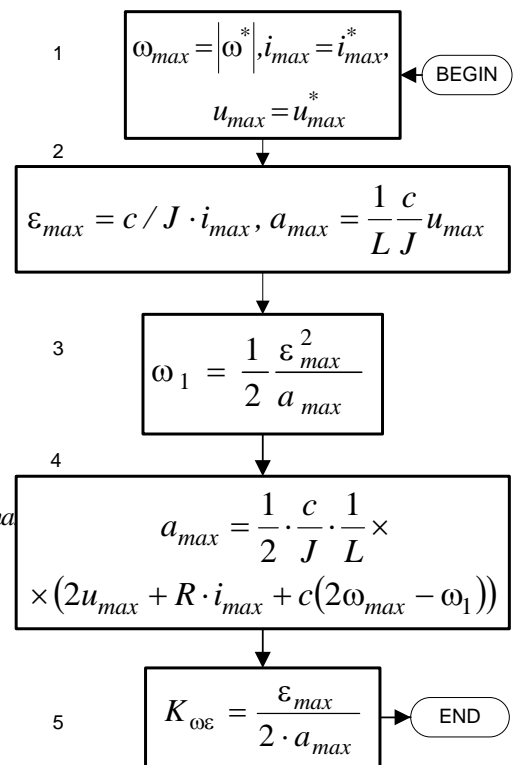


Рис. 3. Алгоритм синтезу

Застосування вдосконаленого алгоритму при синтезі системи керування (1), (2) забезпечує суттєве покращення перехідних процесів і максимальне їх наближення до оптимальних за швидкодією.

#### **Список використаних джерел**

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

**Магістрант Жевакін В.О., к.т.н. Красніков К.С.**

*Дніпровський державний технічний університет*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СПІКАННЯ ШИХТИ СТРІЧКОВОАГЛОМЕРАЦІЙНОЇ МАШИНИ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ**

**Актуальність.** На металургійних підприємствах розповсюджено використання агломераційних машин. Агломераційна машина складається з палетів, в які насипається шихта (кульки), - вуглець, залізо, карбонат і т. д. Нагрівання природним газом є дороговартісним процесом.

**Постановка проблеми.** Проблема підтримки оптимальної температури в середині шихти - кульки, за недотримки оптимальної температури є наступна проблема - перевищення температури провокує надмірне спікання шихти і зменшення пористість що зменшую якість агломерату.

**Постановка задачі.** З метою уникання означеної проблеми використовуються лічильники подачі газу застосовується математична модель. Облік витрат газу за допомогою лічильників використовується для раціонального використання (економії).

Таблиця 1. Параметри різновидів агломераційних машин

№	Довжина L, м	Ширина W, м	Товщина шару шихти h, м	Швидкість стрічки М/хв, v
№1	25	2	0,25	1,1-4,36
№2	30	2,5	0,275	1,5-4,5
№3	42	2,5	0,3	1,5-6
№4	34	2,5	0,325	1,5-6
№5	78	4	0,35+	1,5-7,5

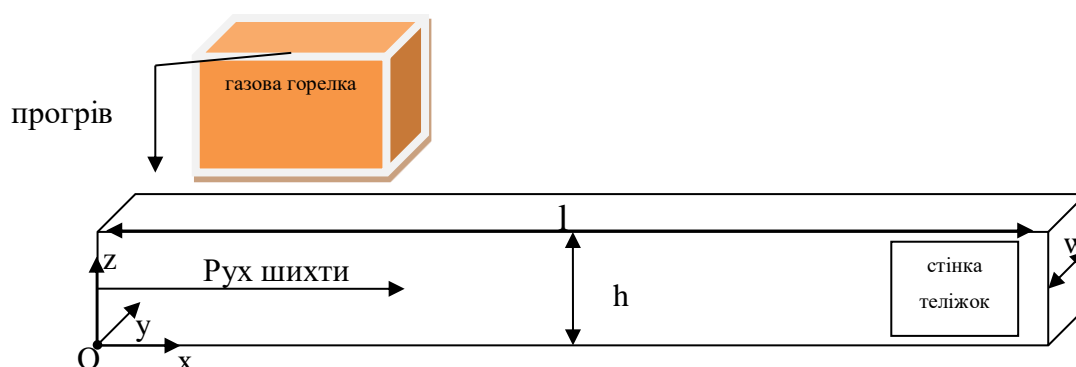


Рис. 1. Геометрія розрахункової області

Припустимо, що температура шихти змінюється за законами

1. Фур'є

$$F = k_1 \Delta T_1$$

2. Ріхмана

$$N = \alpha_1 (T_1 - T_{outside})$$

3. Перенесення

$$V = v \nabla T$$

Рівняння теплопровідності для шихти

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = F + N + V + Q$$

$k_1$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м<sup>2</sup>К)

$\alpha_1$  - коефіцієнт тепловіддачі

$v$  - швидкість стрічки

$\rho$  - густина щільність шихти (принято  $1400 \text{ кг/м}^3$ )

$c$  - теплоємність шихти (принято  $1.6 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$  при температурі,  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$Q$  - зовнішній тепловий потік (джерело тепла від газових горілок)

Рівняння доповнюється граничними умовами .

1. Верхня границя (матеріал/шихта)

2. Задана температура на поверхні, встановлюємо граничні умови Робіна:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=h} = k(x)(T - T_0(x)) \forall x \in \partial\Omega$$

$C$  – тепловий потік від газового пальника

Встановлюємо граничні умови Робіна на стінках теліжок

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{y=0, w} = k(T - T_0)$$

Встановлюємо граничні умови Неймана на нижню поверхню шару шихти

$$\left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = E(v_e)$$

$v_e$  - вертикальна швидкість повітря через шар шихти

**Висновок.** Запропоновано математичну модель спікання руди на стрічковій агломераційній машині. Враховано тепловий потік від газових горілок, тепловіддача від стінок, вертикальна швидкість повітря скрізь шар шихти. Майбутній напрямок розвитку комп'ютерне програмування моделі реалізація означеної моделі.

#### Список використаних джерел

1. Координати Stewart, James B.; Redlin, Lothar; Watson, Saleem (2008). College Algebra (5th ed.). Brooks Cole. pp. 13–19. ISBN 978-0-495-56521 5
2. Список літературних джерел (<https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/23/5-23-kl57.pdf>) (дата звернення: 01.05.23)
3. Russell L. Herman Introduction Topartial Differential Equations 2015 ([https://www.academia.edu/40310968/PDE\\_Main\\_textbook](https://www.academia.edu/40310968/PDE_Main_textbook)) (дата звернення: 02.05.23)

**Здобувач Іванченко В. О., д. техн. наук Дранишников Л.В.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО ПІДХОДУ В ЗАДАЧАХ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ**

У медичній діагностиці однією з найбільших проблем є забезпечення точності діагнозу. Іноді лікарі помиляються або не мають достатньо досвіду, щоб правильно визначити певні захворювання. Постановка діагнозу пацієнту може зайняти багато часу, що затримує лікування. Ось чому нам потрібно розробляти автоматизовані методи, які можуть швидко і точно оцінювати медичні дані.

Наприклад, рак - одна з основних причин смертності в усьому світі. Він є причиною близько 10 мільйонів смертей щороку, тобто майже кожної шостої смерті. Але, якщо рак виявити на ранній стадії, його часто можна вилікувати.

Основна мета цього дослідження - використовувати нейронні мережі у медичній діагностиці, щоб зробити цей процес більш точним, швидким та ефективним.

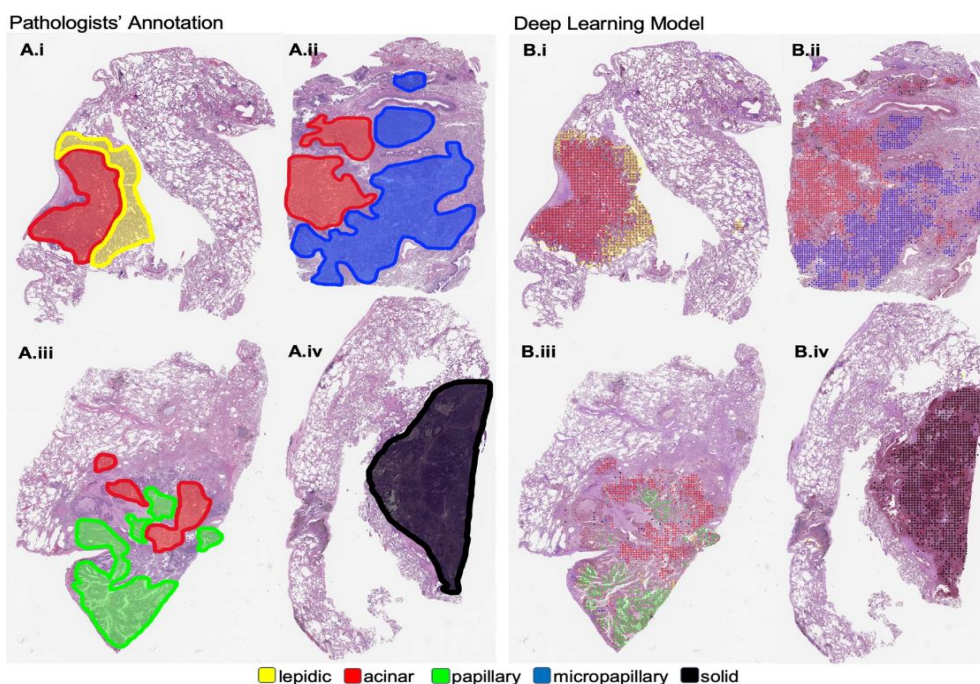
Нейромережі можна використовувати для прогнозування розвитку захворювань, які впливають на жіноче здоров'я, діабету, серцево-судинних захворювань та інших хвороб. Нейромережі також можуть допомогти визначити найкраще лікування та спрогнозувати, як розвиватимуться події.

Завдання полягає в тому, щоб навчити нейромережу, використовуючи великий набір медичних даних, таких як зображення, сигнали та клінічна інформація. Це допоможе автоматично класифікувати речі, знаходити будь-які відхилення, прогнозувати захворювання або допомагати лікарям приймати рішення. Одним з прикладів успішного застосування нейромереж у медичній діагностиці є розпізнавання патологічних зображень, таких як ракові утворення на знімках мозку, судин або легень. Нейромережі можуть навчитись

розпізнавати аномалії на зображеннях з високою точністю, допомагаючи лікарям виявляти і локалізувати патологічні ділянки (рис. 1).

Одна з головних проблем - це нестача належної кількості якісних медичних даних для навчання нейромереж. Зібрати великий набір даних, необхідний для навчання моделі, може бути викликом, особливо коли мова йде про рідкісні захворювання або складні клінічні сценарії.

Нарешті, однією з головних проблем у використанні нейромереж у медичній діагностиці є необхідність підтвердження точності та надійності діагнозу, що ставить питання про переконливість результатів, отриманих за допомогою нейромереж. Одним із варіантів розв'язання цієї проблеми може виступати застосування **нечіткої логіки** в нейронних мережах.



*Рис. 1. Оцінка одних і тих самих гістологічних зрізів професійними медиками (ліворуч) і нейромережею (праворуч)*

**Нечітка логіка та нейронні мережі** - це два різних, але взаємодоповнюючих методи, які можна поєднати для покращення медичної діагностики. Нечітка логіка забезпечує основу для роботи з невизначеністю і неточністю, у той час як нейронні мережі пропонують потужні можливості розпізнавання образів. Інтегруючи нечітку логіку з нейронними мережами,

можна вдосконалити медичну діагностику для обробки складних і невизначених медичних даних.

Розглянемо приклад застосування нечіткої логіки на основі нейронної мережі в медицині. Задамо декілька правил для бази нечіткості:

Якщо температура висока, а кашель сильний, ставте діагноз "бронхіт". Якщо температура помірною, а кашель слабкий, то діагноз - застуда. Якщо температура висока, а біль у грудях сильний, то діагноз - інфаркт міокарда. Якщо температура низька, а кашель слабкий, то діагноз - алергія. Якщо температура помірною, біль у грудях помірний, то діагноз - біль у скелетно-м'язовій системі.

Тепер, припустивши, що у нас є пацієнт з високою температурою, сильним кашлем і помірним болем у грудях, давайте знову пройдемо через процес висновку:

Нечіткість: висока температура, сильний кашель і помірний біль у грудях перетворюються на нечіткі змінні: "висока температура", "сильний кашель" та "помірний біль у грудях".

Висновок нейронної мережі: навчена нейронна мережа обробляє нечіткі змінні і видає результати, що представляють імовірність різних діагнозів. Для цього прикладу припустимо, що нейронна мережа присвоює найбільшу ймовірність бронхіту на основі вхідних симптомів.

Нечіткий логічний висновок: Система нечіткої логіки поєднує вихід нейронної мережі з нечіткими правилами для обчислення остаточного діагнозу. У цьому випадку, оскільки найбільша ймовірність пов'язана з бронхітом згідно з нейронною мережею, і на основі переглянутого нечіткого правила 1, діагноз буде "бронхіт".

Таким чином, у цьому переглянутому прикладі комбінований підхід нечіткої логіки та нейронної мережі діагностує у пацієнта бронхіт на основі вхідних симптомів високої температури, сильного кашлю та помірною болю в грудях. Нечітка логіка забезпечує чіткість, визначаючи правила діагностики, тоді як нейронна мережа підвищує точність діагнозу, вивчаючи закономірності на основі навчальних даних.

К. техн. н. Качура О.В., д. техн. н. С'янов О.М., Макаров О.С.

*Дніпровський державний технічний університет*

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КРИТИЧНИХ ТЕРМОРЕЗИСТОРІВ НА ОСНОВІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУР ДІОКСИДА ВАНАДІЯ**

Виникнення значних пускових струмів при ввімкненні електронних пристроїв до мережі живлення призводить до роботи їх у критичних режимах, що у багатьох випадках закінчується виходом з ладу. З метою запобігання даним процесам вдаються до застосування різноманітних засобів захисту, що дозволяє знизити пускові струми та подовжити терміни експлуатації обладнання. До сучасних пристроїв захисту висувається ряд вимог, головними з яких є простота, надійність при експлуатації, дешевизна. Серед різноманітних засобів захисту, що відповідають вказаним вимогам, знаходять застосування структури на основі діоксиду ванадію  $VO_2$ , які вмикаються послідовно з пристроєм. Для даних цілей найбільш ефективними є критичні терморезистори (критезистори).

Діоксид ванадію відноситься до оксидів перехідних металів. У робочому стані у ньому утворюється фазовий перехід напівпровідник-метал при температурі  $T=340$  К. При цьому стрибком змінюються термодинамічні характеристики речовини, насамперед опір. Це дозволяє синтезувати матеріали і виготовляти на їх основі різноманітні захисні пристрої, такі як перемикаючі елементи та критичні терморезистори.

Для математичного опису процесів, що протікають у структурі  $VO_2$ , скористаємося теоремою Гауса, яка виражає взаємозв'язок між вектором електричного зміщення та величиною заряду в інтегральній формі:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{s} = \sum q, \quad (1)$$

де  $\vec{D}$  – вектор електричного зміщення;  $q$  – величина заряду;  $S$  – площа замкненої поверхні.

У диференційній формі теорема Гауса має вигляд:

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho, \quad (2)$$

де  $\rho$  - об'ємна щільність заряду.

У тому випадку, коли середовище однорідне і ізотропне ( $\varepsilon_a = \text{const}$ ) рівняння (2) можна записати як:

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_a}, \quad (3)$$

де  $\varepsilon_a$  – абсолютна діелектрична проникність.

Враховуючи той факт, що напруженість електричного поля може бути представлена як  $\vec{E} = -\operatorname{grad}(\varphi)$ , рівняння (3) набуває вигляду:

$$\operatorname{div} \operatorname{grad}(\varphi) = -\frac{\rho}{\varepsilon_a}. \quad (4)$$

У загальноприйнятій формі запису рівняння (4) можна представити як:

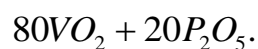
$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon_a}. \quad (5)$$

У декартовій системі координат рівняння (5) записують наступним чином:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \varepsilon_a \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \varepsilon_a \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \varepsilon_a \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = -\rho. \quad (6)$$

Вирішення рівняння (6) пов'язане з дослідженням тривимірної польової задачі. Коефіцієнти  $\varepsilon_a$  та  $\rho$  є нелінійними, залежать від частоти струму, що протікає в об'ємі структури терморезистора, і температури [1, 2].

Елементи на основі VO<sub>2</sub> можуть виготовлятися за керамічною технологією з матеріалу складу (ваг %) [3]:



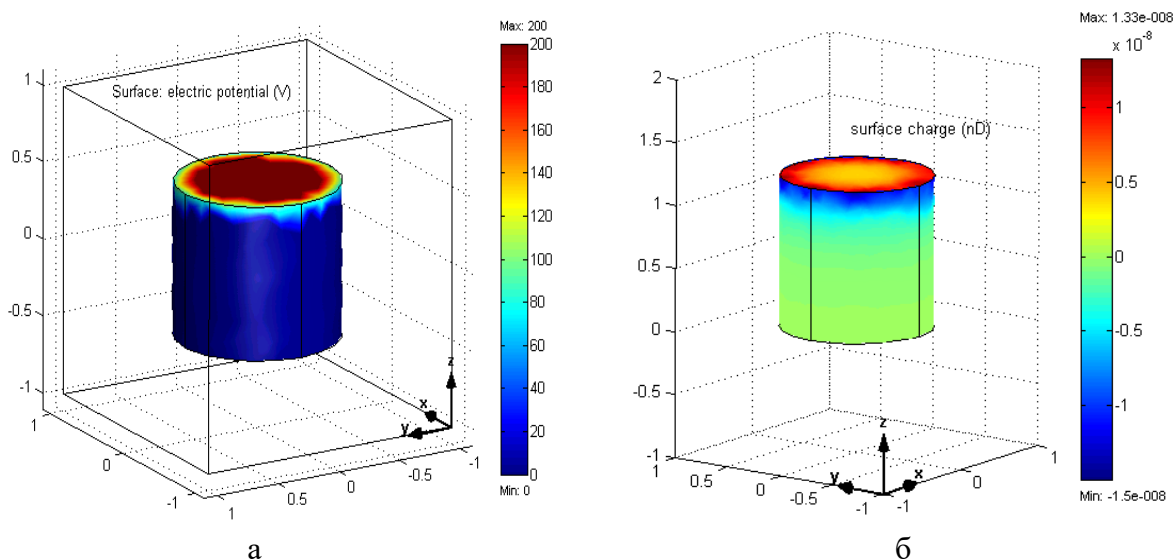
Дослідні зразки терморезисторів, як правило, мають циліндричну форму діаметром 10-12 мм, висотою 1-10 мм. Контакти наносяться на торцеву основу шляхом втиранням індій-галієвої евтектики.

Для вирішення (6) скористаємося методом кінцевих елементів [4].

Розрахунок виконано для постійної напруги величиною 200 В, що прикладена до торцевих поверхонь терморезистора.

У результаті розрахунку отримано графіки розподілу електричного потенціалу (рис. 1, а) і поверхневого заряду в об'ємі зразка (рис. 1, б).

У роботі створено тривимірну математичну модель, яка дозволяє досліджувати електростатичні параметри напівпровідникової структури на основі VO<sub>2</sub>. Розроблена модель дозволяє враховувати нелінійний характер зміни як діелектричної проникності, так і електричного заряду у структурі напівпровідника.



**Рис. 1. Графік розподілу електричного потенціалу (а) і поверхневого заряду (б) в об'ємі зразка**

Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що електричний заряд концентрується всередині об'єму терморезистора і практично відсутній на бічній поверхні. Даний факт підтверджує припущення про формування каналу струму всередині об'єму структури. Розраховані значення електричного потенціалу і об'ємного розподілу заряду можуть бути використані для розрахунку термічних процесів у терморезисторах.

### Список використаних джерел

1. Mansingh A., Singh R., Sayer M. Phys. Status Solidi (a) 1978. V. 49. P. 773-779.
2. Диэлектрические свойства диоксида ванадия и перспективы использования сэндвич структур на основе VO<sub>2</sub> в сенсорной технике / Пергамент А.Л., Кулдин Н.А., Стефанович Г.Б., Величко А. А. Современные проблемы науки и образования, No 5, 2014.
3. Устройство защиты ламп накаливания от пускового тока: декларационный патент на изобретение №49195 А от 16.09.2002.
4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 352 с.

**К. техн. н. Надригайло Т.Ж., здобувач Жорнік Є.В.,  
здобувач Грінченко К.М.**

*Дніпровський державний технічний університет*

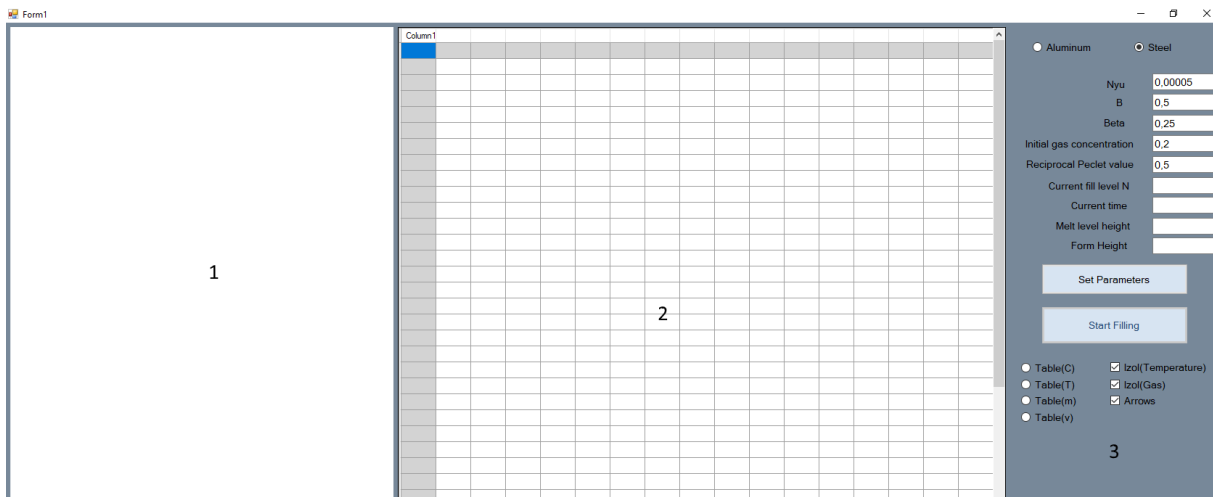
## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТВЕРДНЕННЯ РОЗПЛАВУ СТАЛІ У ВИЛИВНИЦІ**

У даній роботі розроблено математичну модель наповнення виливниці струменем розплаву сталі зверху з урахуванням газозахоплення. Для розв'язання рівнянь моделі було використано метод розщеплення за фізичними факторами для несолейдального руху [1] і явну різницеву схему для рівняння теплопереносу. З метою доведення адекватності даного методу, були проведені розрахункові експерименти.

На основі математичної моделі виконано комп'ютерну реалізацію на мові програмування C# у середовищі MS Visual Studio 2019.

Інтерфейс користувача програми зображений на рисунку 1. Інтерфейс можна умовно поділити на три частини:

- 1) Зображення, яке є візуалізацією процесу заповнення виливниці згори.
- 2) Таблиця, яка дозволяє користувачу бачити ті чи інші дані, в залежності від вибору налаштувань, представлених у пункті 3.



*Рис. 1. Інтерфейс користувача.*

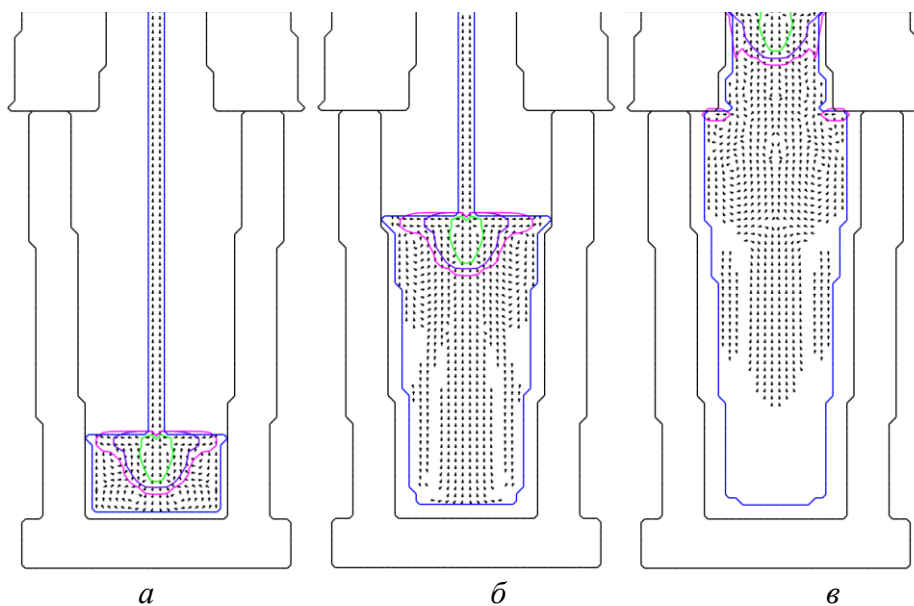
**1 – PictureBox, 2 – DataGridView, 3 – Налаштування програми**

3) В цій частині можна змінити тип розплаву, змінити значення деяких величин, які впливають на перебіг процесу заповнення форми, вибрати, що саме відображає таблиця, і відключити деякі візуальні ефекти.

У нашій моделі вільна поверхня рідини вважається такою, на якій відсутні нерівності (тобто менші ніж крок розрахункової сітки) та хвилі, що доцільно вважати починаючи з деякого початкового рівня наповнення виливниці. Відповідно до математичної моделі проведено розрахунок на початковому етапі заповнення виливниці, задані початкові значення таких величин як положення коркового шару, значення температур та швидкостей. За початковий рівень для подальших розрахунків приймається значення 0.4м. Для проведення обчислень розрахункова область поділена на  $24 \times 82$  однакових квадратних комірок розміром  $\Delta r = \Delta z = 0,003\text{м}$ . Час, за який розплав заповнює весь внутрішній об'єм форми складає 5 хвилин, відповідно до цього обчислюється швидкість струменя. Коефіцієнт газозахоплення (об'ємна частка газу) залежить від характеристик потоку рідини, зокрема швидкості струменя. У даній моделі виливниця заповнюється в ламінарному режимі, спокійним струменем, розрахунки проводяться для декількох значень коефіцієнта  $\alpha$ , для виявлення залежності перебігу теплофізичних процесів. На рисунку 2 зображені поля

швидкостей і концентрацій газу в об'ємі виливниці у різні моменти її наповнення для  $\alpha = 0,2$ .

При наявності пазирів газу у розплаві виникає підйомна сила, яка діє у протилежному до руху струменя напрямку, тобто вгору. Внаслідок цього, струмінь, що вливається в розплав, уповільнюється, і його глибина проникнення зменшується, в його околі з'являються рухомі вгору потоки середовища. Пузири газу, що спричиняють цей рух, з часом покидають розплав при досягненні вільної поверхні, а захоплений ними розплав продовжує рух по заокругленій траєкторії – вздовж дзеркала металу в напрямку стінок форми, вздовж стінок форми вниз. Зображені на рисунку 2 результати моделювання відповідають гідродинаміці руху з газозахопленням. Стрілки вказують напрям швидкостей розплаву сталі.



*Рис. 2. Поля швидкостей розплаву сталі і концентрації газу при  $\alpha = 0,2$ .  
Лнії ізоконцентрацій:  $\alpha = 0,1$ – зелена,  $\alpha = 0,003$ – фіолетова,  $\alpha = 0,0001$  – рожева.  
Синьою лінією відображено розплав сталі*

Звернемо увагу на концентрацію газових включень у момент остаточного заповнення виливниці (рис. 2) в області під прибутковою надставкою помітне певне скупчення газу. Дана модель враховує вищеповисаний взаємний рух газової фази відносно рідкої, тому це скупчення можна пояснити рухом газових включень назустріч струменю металу – спливанням газу, а також його

тороноїдальним вихором. Сформований таким чином вихор захоплює газ з осьової області форми під прибуткову надставку, де він і накопичується.

Чисельні дослідження показали, що характер розподілу тепла аналогічний гідродинамічній картині. В цілому, картина перебігу гідродинамічних та теплофізичних процесів відповідає розрахункам, які представлені в [2].

#### **Список використаних джерел**

1. Огурцов А.П. Математичне моделювання теплофізичних процесів у багатофазних середовищах / Огурцов А.П., Самохвалов С.Є. // К.: Наукова думка, 2001. 412 с.
2. Самохвалов С.Є. Комп'ютерне моделювання багатофазних середовищ у зливку / Самохвалов С.Є., Надригайло Т.Ж. // Дніпродзержинськ, видавництво ДДТУ, 2009. 144 с.

**Д. фіз.-мат. наук Пасічник А. М.**

*Дніпровський державний технічний університет*

### **АСИМПТОТИЧНИЙ МЕТОД ПОБУДОВИ РІВНОМІРНО ПРИДАТНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ НЕЛІНІЙНИХ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ ДИНАМІКИ**

У сучасному машинобудуванні застосування конструктивних елементів у вигляді пластин та стрижневих систем зі складними умовами закріплення контуру ставить підвищені вимоги до їх міцності, а відповідно і до подальшого удосконалення методів розрахунку динамічних характеристик таких систем.

Задачі динаміки при малих значеннях коефіцієнту нелінійності ( $\alpha \ll 1$ ) ефективно розв'язуються методом збурень. У випадку суттєво нелінійного характеру крайових умов ( $\alpha \sim 1$ ) пропонується для побудови розв'язку застосувати метод збурення та апроксимації Паде. У відповідності з методом збурення малий параметр вводиться в показник степені нелінійності а потім реалізується процедура асимптотичного інтегрування.

Методологія застосування запропонованого підходу розглядається на модельній крайовій задачі поздовжніх коливань стрижня з урахуванням

нелінійності умов його закріплення. Крайова задача в даному випадку запишеться так:

$$u_{tt} = u_{xx}, \quad (1)$$

$$u(0, t) = 0, \quad (2)$$

$$u_x(l, t) + u(l, t) + u^3(l, t) = 0. \quad (3)$$

Для застосування асимптотичного розкладення за малим параметром введемо його в показник степеня нелінійного члена в крайових умовах (3):

$$u^3(l, t) = u^{1+2\delta}. \quad (4)$$

Введемо заміну змінної часу  $t = \tau/\omega$  та представимо розв'язок крайової задачі (1)–(3) у вигляді асимптотичних рядів по степеням параметра  $\delta$ :

$$u = \sum_{k=0}^{\infty} \delta^k u_k; \quad \omega^2 = \omega_0^2 \left( 1 + \sum_{i=1}^{\infty} \alpha_i \delta^i \right); \quad (5)$$

$$u^3 = u^{1+2\delta} = u [1 + \delta (\ln(u^2)) + \delta/2 (\ln(u^2))^2 + \dots]. \quad (6)$$

Тут  $\alpha_i$  – невідомі коефіцієнти розкладення, які визначаються із умови існування розв'язку задачі.

У відповідності з методологією асимптотичного підходу співвідношення (4) – (6) підставимо у крайову задачу (1) – (3) і виконуючи розщеплення за параметром  $\delta$  отримаємо таку рекурентну послідовність крайових задач:

$$u_{0tt} = u_{0xx}, \quad (7)$$

$$u_i(0, t) = 0, \quad i=1, 2, 3, \dots, \quad (8)$$

$$u_{itt} = u_{ixx} - \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_{i(n-p)} u_{ptt}, \quad i=1, 2, 3, \dots, \quad \alpha_0=0, \quad (9)$$

$$\text{при } x = l \quad u_{0x} + 2u_0 = 0,$$

$$u_{1x} + 2u_1 = -u_0 \ln(u_0^2), \quad (10)$$

$$u_{2x} + 2u_2 = -u_1 \ln(u_0^2) - 2u_1 - 0.5 u_0 [\ln(u_0^2)]^2. \quad (11)$$

Розв'язок крайової задачі (7), (8), (10) в нульовому наближенні покладаємо в такому вигляді

$$u_0 = A \sin(\omega_0 x) \sin(\omega_0 t), \quad (12)$$

де частота  $\omega_0$  визначається із трансцендентного рівняння

$$-\omega_0/(2\pi) = \operatorname{tg} \omega_0. \quad (13)$$

Розв'язок трансцендентного рівняння (13) при  $k \rightarrow \infty$  має вигляд

$$\omega_0^{(k)} \rightarrow \pi/2 (2k + 1). \quad (14)$$

З урахуванням отриманого розв'язку нульового наближення крайова задача першого наближення запишеться так:

$$u_{1xx} - u_{1tt} = \alpha_1 A \omega_0^2 \sin(\omega_0 x) \sin(\omega_0 t), \quad (15)$$

$$u_1(0, t) = 0, \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{при } x = l \quad u_{1x} + 2u_1 &= A \sin \omega_0 \sin(\omega_0 t) \ln(A^2 \sin^2 \omega_0) - \\ &- A \sin \omega_0 \sin(\omega_0 t) \ln(\sin^2 \omega_0). \end{aligned} \quad (17)$$

Загальний розв'язок задачі першого наближення складається із частинного розв'язку рівняння (15) та розв'язку відповідного однорідного рівняння.

$$u_1 = u_1^{(1)} + u_1^{(2)}. \quad (18)$$

$$u_1^{(1)} = \alpha_1 x A \sin(\omega_0 x) \sin(\omega_0 t). \quad (19)$$

$$u_1^{(2)} = A_1 \sum_{k=2}^{\infty} T_k^{(1)} \sin(k\omega_0 x) \sin(k\omega_0 t), \quad (20)$$

де коефіцієнт  $\alpha_1$  визначається із умови компенсації резонансної складової

$$\alpha_1 = \frac{\ln(A^2 \sin^2 \omega_0) + 0.5 - \ln 2}{(6 + \omega_0^2)}, \quad T_k^{(1)} = \frac{T_k}{k \omega_0 \cos(k\omega_0) + 2 \sin(k\omega_0)}. \quad (21)$$

Аналогічно отримуємо розв'язок другого наближення:

$$\begin{aligned} u_2^{(1)} &= \alpha_2 A \omega_0^2 x \cos(\omega_0 x) \sin(\omega_0 t) + \\ &+ \alpha_1^2 A \omega_0^3 x^2 \cos(\omega_0 x) \sin(\omega_0 t) - \alpha_1^2 A \omega_0^2 x \sin(\omega_0 x) \sin(\omega_0 t) = \\ &= A \sin(\omega_0 t) \omega_0^2 [\alpha_2 x \cos(\omega_0 x) + \alpha_1^2 x(x \omega_0 \cos(\omega_0 x) - \sin(\omega_0 x))]. \end{aligned} \quad (22)$$

де коефіцієнт  $\alpha_2$  визначається із умови виключення резонансних членів:

$$\alpha_2 = \frac{R_2 - \alpha_1^2 \omega_0 (9 + \omega_0^2)}{\omega_0 (6 + \omega_0^2)} . \quad (23)$$

В результаті, з точністю до членів третього порядку малості частота коливань визначається у вигляді наступного розкладення по параметру  $\delta$  :

$$\omega \cong \omega_0 \sqrt{1 + \alpha_1 \delta + \alpha_2 \delta^2} . \quad (24)$$

Для підвищення точності та розширення області застосування розкладення (25) перебудуємо з використанням дробово-раціонального перетворення Паде:

$$1 + \alpha_1 \delta + \alpha_2 \delta^2 = (a_0 + a_1 \delta + a_2 \delta^2) / (b_0 + b_1 \delta + b_2 \delta^2) . \quad (24)$$

В результаті уточнений розв'язок задачі матиме такий вигляд:

$$\omega \cong \omega_0 \sqrt{\frac{\alpha_1 + (\alpha_1^2 - \alpha_2) \delta}{\alpha_1 - \alpha_2 \delta}} . \quad (26)$$

Таким чином, застосування методу малого параметра та апроксимації Паде дозволяє побудувати асимптотичний розв'язок задачі подовжніх коливань стрижня, який дає рівномірно придатні результати для низьких значень частоти коливань.

**Д. техн. н. Самохвалов С. Є.**

*Інститут чорної металургії НАН України*

## **ГЕОМЕТРИЧНИЙ СМИСЛ $\lambda$ - ПЕРЕНЕСЕННЯ**

Феноменом простору Ейнштейна є відсутність девіації об'ємів при геодезичних перенесеннях [1]. Такі перенесення в певній мірі відповідають  $\lambda$ -перенесенням, принаймні умова  $\det \lambda = 1$  в другому порядку по зміщенням еквівалентна умові  $R_{mn} = 0$  [2], отже приводить до Річчі-плоского простору, що є простором Ейнштейна, коли зовнішні джерела гравітаційного поля відсутні.

Ціль роботи – прояснити геометричний смисл  $\lambda$ -перенесень з надією прояснити в подальшому геометричний смисл фазової симетрії теорії гравітації.

Будемо розглядати лише *канонічні групи трансляцій*, для яких трансляції, що виходять з точки  $x$ , визначаються одиничним вектором  $\tau_x$ , що вказує напрямок трансляції, і довжиною трансляції  $s$  в даному напрямку (натуральним, або афінним параметром трансляції):  $t_x = s\tau_x$ . Крива

$$x'(s) = x + K_x(s\tau_x) \quad (1)$$

– геодезична, що виходить з точки  $x = x'(0)$  в напрямку  $\tau_x$ . Хай тепер  $\bar{x}'(\bar{s})$  – інша геодезична, що виходить з тієї ж точки  $x$  в напрямку  $\bar{\tau}_x$ :  $\bar{t}_x = \bar{s}\bar{\tau}_x$ . Кут  $\omega$  виходу геодезичних визначається різницею  $\theta_x = \bar{\tau}_x - \tau_x$ . Вважатимемо його малим. Якщо довжини геодезичних  $s$  і  $s'$  є величинами одного порядку, малою буде і різниця параметрів групи трансляцій  $\xi_x = \bar{t}_x - t_x$ . Отже  $\lambda$  - перенесення дає можливість порівняти  $\xi_x$  з вектором  $\xi_{x'}^{\parallel} = \bar{t}_x - \tilde{t}_x$ , що характеризує відстань між геодезичними. Дійсно,

$$\xi_{x'}^{\parallel} = K_x(t_x + \xi_x) - \tilde{t}_x \cong \partial K_x(t_x)^\circ \xi_x, \quad (2)$$

отже

$$\lambda_x^{-1}(t_x) = h_{x'}^\circ \partial K_x(t_x). \quad (3)$$

Таким чином,  $\lambda$ -перенесення порівнює вектор  $\xi_x$ , який з'єднує прями в дотичному просторі, що відповідають двом геодезичним, які виходять з точки  $x$ , з вектором  $\xi_{x'}^{\parallel}$ , що з'єднує ці геодезичні. Для інфінітезимальних зрушень  $\tilde{t}_x = x' - x$  вектор  $\xi_{x'}^{\parallel}$  є паралельно перенесеним з точки  $x$  у точку  $x'$  вектором  $\xi_x$ . Але при кінцевих зрушеннях він таким не є. При  $s = \bar{s}$  вектор  $\xi_x$  характеризує кут  $\omega$  між прямими, а  $\xi_{x'}^{\parallel}$  – девійований внаслідок викривленості простору кут. Отже в матриці  $\lambda_x(t_x)$  є вся інформація про кривизну простору.

Порівняємо довжини векторів  $\xi_x$  та  $\xi_{x'}^{\parallel}$ :

$$\langle \xi_{x'}^{\parallel}, \xi_{x'}^{\parallel} \rangle = G_x(t_x) \langle \xi_x, \xi_x \rangle, \quad (4)$$

де

$$G_x(s\tau_x) := g_{x'} \langle \partial K_x(s\tau_x), \partial K_x(s\tau_x) \rangle = \langle \lambda_x^{-1}(s\tau_x), \lambda_x^{-1}(s\tau_x) \rangle. \quad (5)$$

Ця матриця показує, як змінюється довжина вектора між 2-ма геодезичними (відстань), що виходять з однієї точки  $x$ , по мірі віддалення  $s$  від цієї точки в напрямку  $\tau_x$ . Вона, можливо більш природно, вказує, як змінюється видимий кут  $\omega'(s) = \xi_{x'(s)}^{\parallel}/s$  в кривому просторі при віддаленні  $s$  від точки спостереження  $x$ . В плоскому просторі він, очевидно, незмінний.

Далі будемо працювати в координатній формі. Латинські індекси відносяться до параметрів деформованої групи (до дотичного простору), а грецькі – координатні. Тоді

$$G_{mn} = g'_{\mu\nu} \partial_m K^\mu \partial_n K^\nu, \quad (6)$$

де  $\partial_m := \partial/\partial t^m$ ,  $\partial_\mu := \partial/\partial x^\mu$ , а штрих означає, що змінна береться в точці  $x'$ . Залежність як самої матриці  $G_{mn}$ , так і функцій деформації  $K^\mu$  від  $x$  та  $t$  для прозорості формул тут і далі не покажемо.

Знайдемо розклад матриці  $G_{mn}$  по зміщенням  $t$  з точністю до 2-го порядку. Для першої похідної маємо:

$$\partial_l G_{mn} = \partial_\lambda g'_{\mu\nu} \partial_l K^\lambda \partial_m K^\mu \partial_n K^\nu + \{g'_{\mu\nu} \partial_{lm}^2 K^\mu \partial_n K^\nu + (m \leftrightarrow n)\}. \quad (7)$$

При  $t^m = 0$ , з урахуванням *умови метричності*

$$\partial_\lambda g_{\mu\nu} = \Gamma_{\mu\lambda\nu} + (\mu \leftrightarrow \nu), \quad (8)$$

з (7) слідує:

$$\partial_l G_{mn} = 0. \quad (9)$$

Другу похідну від  $G_{mn}$  знайдемо при  $t^m = 0$  в системі координат, в якій в точці  $x$  коефіцієнти Крістофеля  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda = 0$ , отже розклад функцій деформації  $K^\mu$  має вигляд:

$$K^\mu = h_m^\mu t^m + \frac{1}{6} \Delta_{klm}^\mu t^k t^l t^m + \dots, \quad (10)$$

$$\partial_{kl}^2 G_{mn} = \partial_{\kappa\lambda}^2 g_{\mu\nu} h_k^\kappa h_l^\lambda h_m^\mu h_n^\nu + \{g_{\mu\nu} \Delta_{klm}^\mu h_n^\nu + (m \leftrightarrow n)\}. \quad (11)$$

Другу похідну від метрики знайдемо за умови метричності (8), отже:

$$\partial_{\kappa\lambda}^2 g_{\mu\nu} = \frac{1}{2} (g_{\mu\sigma} \partial_\kappa \Gamma_{\lambda\nu}^\sigma + g_{\mu\sigma} \partial_\lambda \Gamma_{\kappa\nu}^\sigma) + (\mu \leftrightarrow \nu). \quad (12)$$

Для знаходження  $\Delta_{klm}^\mu$  використаємо *умову канонічності*, що дає:

$$\Delta_{kln}^\mu = -\partial_{\{v} \Gamma_{\kappa\lambda\}}^\mu h_n^\nu h_k^\kappa h_l^\lambda. \quad (13)$$

Підставляючи тепер вирази (12) і (13) в формулу (11), одержуємо:

$$\partial_{kl}^2 G_{mn} = \frac{1}{3} (R_{mkln} + R_{mlkn}) = \frac{2}{3} R_{m\{kl\}n}. \quad (14)$$

Таким чином, з точністю до другого порядку малості по зміщенням маємо:

$$G_{mn} = \eta_{mn} - \frac{1}{9} R_{mknl} t^k t^l + \dots. \quad (15)$$

Звідси слідує розклад:

$$\det G = -\det \lambda^{-2} = -\left(1 + \frac{1}{9} R_{kl} t^k t^l\right) + \dots, \quad (16)$$

який свідчить про те, що з *точністю до третього порядку малості по зміщенням  $t$  в Річчі плоскому просторі (просторі Ейнштейна)*

$$\det \lambda = -\det G \cong 1, \quad (17)$$

*отже при -перенесеннях з цією ж точністю об'єми і тілесні кути не змінюються.*

Вперше цей результат було одержано в роботі [2] теоретико-груповим методом з використанням властивостей деформованих груп  $DT$ . Тут ми надали йому пряму геометричну інтерпретацію.

#### Список використаних джерел:

1. *Loveridge Lee C.* Physical and geometric interpretations of the Riemann tensor, Ricci tensor and scalar curvature //arXiv:gr-qc/0401099.
2. *Самохвалов С.Є.* Фундаментальна група простору Ейнштейна // Математичне моделювання, № 2(19), 2008. – С. 15-19.

**Д. техн. н. Сохацький А.В.**

*Університет митної справи та фінансів*

*Інститут транспортних систем та технологій НАН України*

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ MAGLEV**

Створення високошвидкісного масового наземного транспорту є однією з найбільш актуальних проблем технічного прогресу. Найбільш перспективним напрямком розвитку є створення транспортних систем з використанням магнітної левітації. Однією з складних проблем створення такого транспортного засобу є забезпечення відповідних аеродинамічних характеристик. Математичне моделювання турбулентних течій і на сьогодні залишається відкритою проблемою обчислювальної аеродинаміки.

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 наземних транспортних засобів, оскільки при високих швидкостях руху тільки на подолання опору повітря може припадати до 90% загальних енергетичних витрат. 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.

Класичні вихоророзрізняючі підходи є найбільш досконаліми. Це пряме числове моделювання турбулентності - DNS і метод моделювання великих вихорів - LES. Метод DNS базується на безпосередньому прямому числовому розв'язуванні тривимірних нестационарних рівнянь Нав'є-Стоксу з розрізненням усіх просторово-часових масштабів турбулентності. У рамках методу LES ті ж 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.

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. Одним з найпоширеніших гібридних підходів став метод моделювання від'єднаних вихорів ( Detached Eddy Simulation або DES).

На сьогодні, принаймні, поширені декілька десятків таких моделей. Їх подальшому удосконаленню і розвитку присвячено величезне число робіт. DES тримав подальший розвиток - Delayed Detached Eddy Simulation (DDES). Це свідчить про позитивні сторони ідеї, що лежить в основі гібридних моделей. Проте з іншої сторони, і на сьогодні, не має повної задоволеності вже існуючими моделями такого типу.

Загальна концепція, що лежить в основі гібридних моделей, відбивається в їх назві. Вона полягає в спробі побудови комбінованих моделей, які функціонували б як RANS в одних і як LES в інших областях течії. Така можливість відкривається завдяки формальній схожості рівнянь Рейнольдса і рівнянь для LES. Проте шляхи реалізації цієї можливості можуть бути абсолютно різноманітними. Це пояснюється відмінністю різних форм гібридних моделей.

В першу чергу до широко розповсюджених гібридних RANS – LES моделей слід віднести згаданий вище історично перший гібридний метод DES. Він був запропонований як альтернатива RANS і LES методам при розрахунку течій з великими відривними зонами. Відомо, що RANS моделі не здатні забезпечити прийнятну для практики точність розрахунку таких течій. LES підхід вимагає надмірно великих обчислювальних витрат, лєвова частка яких пов'язана з розрахунком пристінної частини приєднаних примежових шарів, які містять енергонесучі вихори малих розмірів.

Таким чином у рамках DES "точно" розрізняються лише "від'єднанні" вихори, які містяться у відривній зоні, Відносно дрібні вихори, що формуються у приєднаному примежовому шарі, описуються звичайними напівемпіричними RANS моделями. Ще одна важлива особливість DES полягає в тому, що у рамках цього підходу у RANS і LES областях використовується одна і та ж "базова" модель турбулентності, яка функціонує як RANS модель у середині пристінного примежового шару і як її підсітковий аналог далеко від твердих стінок. При цьому межа між областями RANS і LES визначається в процесі розрахунку автоматично і залежить від кроків використовуваної обчислювальної сітки, від відстані від даної точки потоку до обтічної поверхні і, взагалі кажучи, від локальних параметрів потоку.

Виходячи з можливостей обчислювальної техніки, гібридний підхід було обрано для створення програмного комплексу з проведення обчислювальних експериментів для дослідження аеродинаміки транспортних апаратів. Для математичного моделювання аеродинамічних процесів автором розроблено методика, алгоритми та комплекс програм на мові програмування Fortran-95. Систему осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса записано в криволінійній системі координат. Для замикання системи рівнянь використано модель турбулентності Спаларта-Аллмараса в реалізації відокремлених вихорів.

Розроблений комплекс програм протестовано на стандартних задачах обчислювальної аеродинаміки: обтікання поперечно розміщеного колового циліндра, крилового профілю та кулі. Представлено розрахунок обтікання турбулентним потоком ряду конфігурацій швидкісних транспортних засобів.

**К. фіз.-мат. н. Строева В.О., асп. Пузік А.О., асп. Тарасюк О.С.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

Головна функція зрошувальних систем – поставляти воду (в обумовлений термін і в певній кількості) із джерела зрошення на зрошувані землі та доцільно розподіляючи її, забезпечувати на полях оптимальну для даної фази росту рослин вологість ґрунту, кількість поживних речовин та засобів попередження хвороб. В залежності від джерела живлення, кліматичних умов і виду зрошуваних культур зрошення поділяють на регулярне та разове. Регулярно діюче зрошення характеризується можливістю подачі необхідної кількості води, поживних речовин чи засобів попередження хвороб на зрошувані землі кожного разу, як в цьому виникає потреба.

Виходячи із природних умов, що визначаються рельєфом, рівнями ґрунтових вод, ступенем дренажності, відстанню до джерела зрошення, типом ґрунтів, а також, керуючись економічними передумовами та видом культури, що буде вирощуватись, застосовують наступні способи поливу: поверхневий (напуском по смугах, полив по борознах, затопленням рисових чеків, лиманне зрошення), дощування, мікрозрошення, аерозольний або підґрунтовий спосіб (напірне підґрунтове зрошення, адсорбційне) [1].

Незалежно від типів та способів зрошення, важливим питанням є оптимальне розбиття зрошуваної області в залежності від розташування станцій з водою, поживними речовинами чи засобами попередження хвороб, з

метою дотримання норм раціонального використання природоресурсів, задля мінімізації витрат на поставку необхідних ресурсів від станції до зрошувальної території.

У роботі досліджується задача, в якій необхідно оптимально розбити задану територію на області зрошення  $n$  станціями зрошення, на кожній з яких можуть використовуватись такі ресурси, як вода, поживні речовини для розвитку рослин та засоби попередження хвороб. Необхідно мінімізувати сумарні витрати на доставку ресурсів від станції до області, а також витрати на будівництво та експлуатацію станцій зрошування. Задачу зведено до неперервної лінійної багатопродуктової задачі оптимального розбиття множини на підмножини з заданими центрами при обмеженнях [2-3].

Необхідно розбити область  $\Omega$  на зони зрошення  $\Omega_i^j$   $N$  станціями зрошення (СЗ) окремо по кожному виду ресурсів так, щоб

$$\bigcup_{i=1}^N \Omega_i^j = \Omega, \quad j=1, M, \quad \text{mes}(\Omega_i^j \cap \Omega_k^j) = 0, \quad i \neq k, \quad i, k = 1, \dots, N, \quad j=1, M \quad (1)$$

мінімізувавши функціонал сумарних витрат на транспортування ресурсів в кожную область:

$$F(\{\Omega_1^1, \dots, \Omega_N^1; \dots; \Omega_1^M, \dots, \Omega_N^M\}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\{ \iint_{\Omega_i^j} c^j(x, y, \tau_i) \rho^j(x, y) dx dy + \varphi_i^j \left( \iint_{\Omega_i^j} \rho^j(x, y) dx dy \right) \right\} \quad (2)$$

Потужність  $i$ -ої СЗ по всім видам ресурсів визначається сумарним попитом точок зрошення, які належать  $\Omega_i^j$  та не повинна перевищувати існуючі потужності, визначені відповідними обмеженнями:

$$\sum_{j=1}^M \int_{\Omega_i^j} \rho^j(x) dx = b_i, \quad i = p + 1, \dots, N \quad \sum_{j=1}^M \int_{\Omega_i^j} \rho^j(x) dx \leq b_i, \quad i = 1, \dots, p \quad (3)$$

При цьому виконуються умови розв'язності задачі:

$$S = \int_{\Omega} \sum_{j=1}^M \rho^j(x) dx \leq \sum_{i=1}^N b_i, \quad 0 \leq b_i \leq S, \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

### Список використаних джерел

1. Жернов І.Є., Солдак А.Г., Куш П.Ю., Гриза О.О. Меліоративна гідрогеологія. К.: Вища школа, 1972. – 332 с.
2. Stroieva V.O., Kosenko A.R., Kiselyova O.M., Stroieva H.V. On the optimal resources allocation problems during the epidemic. Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2020): XVIII міжнар. наук.-практ. конф., 18-20 лист., 2020 р.: тези допов. – Дніпро, 2020. – С. 136-137
3. Stroieva V.O. Numerical research of models of optimal resource allocation during an epidemic.// V.O. Stroieva, O.M. Kiselyova, H.V. Stroieva, A.R. Kosenko/ Питання прикладної математики і математичного моделювання: збірник наукових праць. – Дніпро: ДНУ, 2020. – С. 74-82.

**Д.техн.н. С'янов О.М., к.техн.н. Косухіна О.С., Житкевич Н.Ю.**

*Дніпровський державний технічний університет*

### **NUMERICAL MODELING OF DYNAMIC MODES OF OPERATION OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR WITH OUTER CIRCLES**

Most modern models of solid rotor induction motor (SRIM) are built in nonlinear field environment, but without accounting external circuits. In this paper, a mathematical model of the SRIM in the field environment was developed with considering external circuits and rotor rotation. This approach enables to control the operating conditions of the induction motor (IM) with the given physical parameters of the external circuitry and thus examine the transients in the IM during the reverse, the failure of one of phases or the change in the frequency of the supply voltage.

It is assumed that developing of a mathematical model one can consider the IM in the 2D view and the end parts are not considered. Field mathematical model is based on using of geometric parameters of the IM and external circuits. The electromagnetic field in the cross section of IM is described by the field equations with respect to the vector magnetic potential of the following form:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( v \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( v \frac{\partial A}{\partial y} \right) = \sigma \left( v_x \frac{\partial A}{\partial x} - v_y \frac{\partial A}{\partial y} \right) - \sigma \frac{\partial A}{\partial t} - \sigma \operatorname{grad} \phi + J, \quad (1)$$

where,  $\nu$ - magnetic resistance of the material,  $A$ - vector magnetic potential,  $\sigma$ - electrical conductivity of the material,  $v_x$  i  $v_y$  – speed of rotation of the rotor,  $\phi$  - electrical potential,  $J$ - current density.

For some parts of the motor (SRIM) the equation (1) can be expressed as:

$$-\nabla(\nu\nabla A)=\begin{cases} 0, & \text{air gap} \\ 0, & \text{stator core} \\ \frac{W i_{01}}{\Omega}, & \text{stator slot} \\ -\sigma \frac{\partial A}{\partial t} + \sigma \left( v_x \frac{\partial A}{\partial x} - v_y \frac{\partial A}{\partial y} \right), & \text{rotor core} \end{cases} \quad (2)$$

where,  $W$  – turning number phase winding;  $i_{01}$ – stator winding current;  $\Omega$ – slot area that winding occupied.

Stator winding current density can be calculated as:

$$J = \frac{W i_{01}}{\Omega}. \quad (3)$$

The balance equation of the phase voltage of the stator winding can be presented as:

$$u_{01} = r_{01} i_{01} + \frac{d\Psi}{dt}, \quad (4)$$

where,  $u_{01}$ - instant value of phase voltage in the stator winding;  $r_{01}$  - active resistance of the phase of the stator winding;  $i_{01}$  - current in the stator winding;  $\Psi$  - full flow-linkage of the phase of the stator winding.

We represent the complete flow-linkage of the phase of the stator winding in equation (4) in terms of the magnetic potential vector. Since the equation (2) does not allow to consider the magnetic field of the frontal parts of the inductive motor, we take into consideration the inductance of the frontal parts. The equation (4) can be expressed:

$$u_{01} = r_{01} i_{01} + \frac{Wl}{\Omega} \int_{\Omega} \frac{\partial A}{\partial t} d\Omega + L_f \frac{di_{01}}{dt}, \quad (5)$$

where,  $L_f$  – inductance of scattered frontal parts the phase of the stator winding.

Electromagnetic torque is can be calculated as:

$$M = \frac{dW(\theta, i)}{d\theta}, \quad (6)$$

where,  $M$  – electromagnetic torque rotor shaft;  $W$  – electromagnetic energy;  $\theta$ – rotor steering angle.

The finite element method implemented in the Ansoft Maxwell software is applied to calculate and study the properties of induction motors. This allowed us to design and explore 2D and 3D motor models and count precisely static, quasi-static fields, as well as transitional processes in field problems.

The program algorithm can generate automatically a mesh of triangular elements, but it is better to do it directly, because it effects on the precision calculations of the electromagnetic field distribution, the precision of temperature characteristics and etc.

As a result of the simulated IM in short-circuit conditions (SC) quasi-static characteristics in the form of the distribution of equal level lines and the current in the stator winding and the motor shaft torque were obtained in a view of time characteristics.

In the paper, the model for unbalanced operation, that has only one generator-counter, was considered. In this case, in the field problem the IM is accelerated to its nominal speed, at a certain time at the output of the control generator-counter appears a "logical zero", which causes the unlocking of the power key, through which the IM is fed one of the phases. Thus, unexpected the phase break or an unbalanced operation of the SRIM is implemented in the model, an.

### References

1. Alexander M. Syanov, Elena S. Kosuhina, Roman M. Polyakov Mathematical modeling of dynamical operations of induction motor with external circuits// Journal of new technologies in environmental science №2, 2018. Kielce University of Technology P. 90-97

**Циба В.В., к. техн. н. Надригайло Т.Ж.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШЛАКОУТВОРЮЮЧИХ СУМІШЕЙ**

Для стабілізації процесу лиття заготовок та підвищення якості вихідної продукції використовують різні шлакоутворюючі суміші, які призначені для застосування в проміжному ківші та в кристалізаторі.

У процесі безперервного розливання сталі шлакоутворюючі суміші виконують такі основні функції [1]:

- дзеркало металу не піддається повторному окисленню, контактуючи з атмосферою;

- в разі зменшує рівень неметалевих включення, що знаходяться у рідкому металі;

- теплоізолюють дзеркало металу в кристалізаторі та запобігають надмірному охолодженню;

- дозволяють тримати під контролем рівень тепловтрат, від утвореної кірки до кристалізатору;

- знижує рівень адгезії (сил тертя) заготовлі та стін кристалізатора.

При взаємодії шлакоутворюючі суміші із рідкою сталлю на меніску утворюється 3 шари: шар рідкого шлаку, частково спечений шар та шар неспеченої порошкоподібної шлакоутворюючої суміші. Рідкий шлак із нижнього шару переходить у простір між кіркою, що твердне, та стінкою кристалізатора. Мастильний шар, що утворюється в результаті, має низьке тертя. Шар шлаку, розташований між формою та розплавом, виконує дві основні функції: підтримує однорідну змащувальну плівку з потрібною в'язкістю, а також забезпечує достатню і рівномірну теплопередачу між розплавом та формою. Ступінь і рівномірність теплопередачі від зливка до кристалізатора через шар шлаку істотно впливає як на зростання кірки зливка і допустиму швидкість розливу, так і на якість поверхні злитка і формування тріщини.

Для виконання зазначених вище функцій шлакоутворююча суміш повинна мати певні властивості та характеристики. До найважливіших властивостей шлакоутворюючої суміші відносяться: температура їхнього плавлення, швидкість плавлення, в'язкість розплавленої шлакоутворюючої суміші в інтервалі температур 1200-1400 °С.

У роботі [2] наведено результати дослідження плавлення декількох шлакоутворюючих сумішей, отриманих, в основному, з одних і тих самих вихідних компонентів: цементу, силікатної брили, кварцового піску та плавикового шпату. Хімічний склад шлакоутворювальних сумішей та певні температурні інтервали їх плавлення представлені у таблиці 1.

*Таблиця 1. Хімічний склад шлакоутворюючих сумішей, температура початку плавлення ( $t_n$ ) і повного розплавлення ( $t_p$ )*

Номер зразка	Склад, мас. %						Температура, °С	
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	D	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	$t_n$	$t_p$
1	38,68	36,22	2,22	1,44	9,84	5,42	1159	1172
2	39,79	36,37	3,21	2,14	9,00	8,23	1135	1179
3	41,82	37,09	3,18	2,06	7,60	3,31	1126	1186
4	41,56	34,58	3,34	2,39	5,30	6,87	1042	1123
5	42,90	34,29	2,81	1,82	8,90	3,51	1104	1170
6	43,60	35,14	3,75	2,65	7,90	4,78	1171	1189
7	50,84	31,68	4,95	3,72	3,05	0,65	1244	1297
8	50,80	26,90	8,10	4,09	0,04	2,46	1389	1421

Як зазначалося вище, фізичні процеси сильно залежать від температури розплаву та складу шлакоутворюючої суміші. Тому виникає необхідність створення точних чисельних моделей, які описуватимуть плавлення шлакоутворюючої суміші з урахуванням гідродинамічних та тепломасопереносних процесів у ківші.

#### Список використаних джерел

1. Казачков Е.А. Экспериментальное определение и прогнозирование свойств шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали / Казачков Е.А., Остроушко А.В., Живило С.В. // Вісник Приазов. 2003. Вип. 13. С. 37-41.
2. Хаазе Р. Современные шлакообразующие смеси для непрерывной разливки стали / Хаазе Р., Шарф Г. // Труды пятого конгресса сталеплавильщиков. М.: Изд-во АО «Черметинформация». 1999. С. 426-429.

## Секція 2

# МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ

К. техн. н. Авраменко В. І.

*Дніпровський державний технічний університет*

### ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ ПРОМЕНІВ ВІД ДЖЕРЕЛ, РОЗПОДІЛЕНИХ НА ПОВЕРХНІ ДИСКУ

Щільність закону розподілу координат перетину випадкових променів з точкового джерела з площиною  $XOY$  в циліндричній системі координат  $(r, \alpha, z)$  при абсолютно прозорому середовищі задається щільністю [1]

$$f(r, \alpha) = \frac{h}{2\pi} \frac{1}{(\sqrt{r^2 + h^2})^3} \quad 0 < r < \infty, \quad 0 < \alpha < 2\pi$$

де  $h$  - відстань джерела від площини.

Розглянемо модель, коли точкові джерела випромінювання рівномірно розподілені на площині кола радіусом  $t$ , паралельного площині  $XOY$  з центром в точці  $(0, 0, h)$ . Тоді щільність розподілу координат перетину променів моделі з площиною  $XOY$  виражається формулою  $g(r, \alpha) = C_{t,h} \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^t f(r-s, \alpha) ds$ , де  $s$  – поточна точка на площині диску радіусом  $t$ . Після інтегрування отримуємо

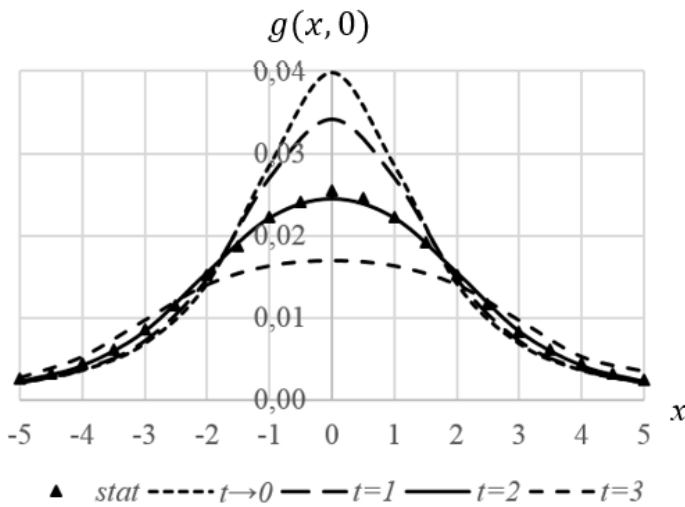
$$g(r, \alpha) = C_{t,h} \left( \frac{r+t}{\sqrt{(r+t)^2 + h^2}} - \frac{r-t}{\sqrt{(r-t)^2 + h^2}} \right) \quad (1)$$

Множник  $C_{t,h}$  шукається з умови  $C_{t,h} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty g(r, \alpha) r dr d\alpha = 1$ , як результат

$$C_{t,h} = \frac{1}{\pi \left( 2 \cdot t \cdot \sqrt{t^2 + h^2} + h^2 \cdot \ln \frac{\sqrt{t^2 + h^2} + t}{\sqrt{t^2 + h^2} - t} \right)} \quad (2)$$

Щільність розподілу на площині  $XOY$  описується виразом

$$g(x, y) = C_{t,h} \left( \frac{\sqrt{x^2 + y^2} + t}{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2} + t)^2 + h^2}} - \frac{\sqrt{x^2 + y^2} - t}{\sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2} - t)^2 + h^2}} \right) \quad (3)$$



**Мал. 1. Графіки осьових перетинів щільності**

На малюнку 1 наведені графіки  $g(x, 0)$  осьових перетинів щільності для різних значень радіусу  $t$  диску випромінювання (параметр  $h \equiv 2$ ). При  $t \rightarrow 0$  розподіл  $g(x, 0)$  співпадає з розподілом  $f(x, 0)$  від точкового джерела з таким

же параметром  $h$ . Точками позначено значення відносних частот для моделі  $h=2, t=2$ , отримані методом статистичного моделювання. При збільшенні радіусу  $t$  розподіли стають більш плосковершинними, максимальні значення  $g(0,0)$  зменшуються. Оцінити їх пропонується у вигляді виразу  $g(0,0) = f(0,0) \cdot K_{t,h}$ , де  $f(0,0) = h^2/2\pi$  – максимальне значення щільності для точкового джерела,  $K_{t,h}$  – коригуючий множник. Показано, що при використанні в якості аргументу відношення  $t/h$  результати для різних  $h$  дуже близькі між собою і з коефіцієнтом детермінації  $R^2 > 0,99$  емпірична регресія має вигляд  $K_{t,h} = (1 + t^2/h^2)^{-0,75}$ . Отже емпірична формула має вид

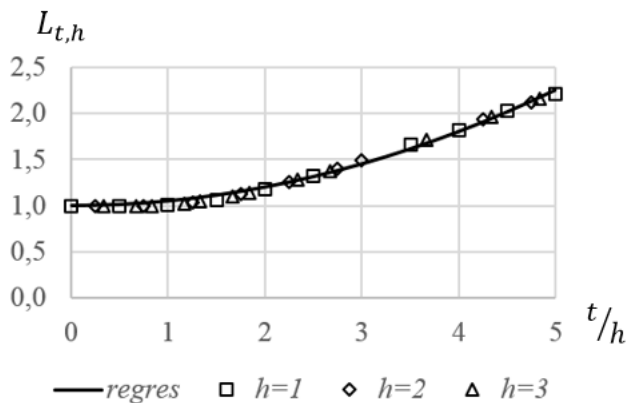
$$g(0,0) = \frac{\sqrt{h}}{2\pi \cdot (h^2 + t^2)^{0,75}}$$

Центр розподілу має місце в точці  $x = 0, y = 0$ , математичне сподівання, а отже і дисперсія, не визначені. В таких випадках в якості міри розсіювання можна використовувати пів широту розподілу, як параметр, для якого інтегральна функція розподілу дорівнює 0,50. Відшукаємо вираз інтегральної функції розподілу

$$G(r, \alpha) = C_{t,h} \int_0^{2\pi} d\alpha \int_0^r g(\rho, \alpha) \rho d\rho =$$

$$= 1 - \pi \cdot C_{t,h} \left[ (r-t)\sqrt{(r+t)^2 + h^2} - (r+t)\sqrt{(r-t)^2 + h^2} - \frac{h^2}{2} \left( \ln \frac{\sqrt{(r+t)^2 + h^2} + (r+t)}{\sqrt{(r+t)^2 + h^2} - (r+t)} - \ln \frac{\sqrt{(r-t)^2 + h^2} + (r-t)}{\sqrt{(r-t)^2 + h^2} - (r-t)} \right) \right] \quad (4)$$

Поверхня  $G(r, \alpha)$  є конусом обертання, тому її лінії рівня є концентричними колами, отже слід визначити радіус кола, в середину якого ймовірність попадання променів дорівнює 0,5. Для точкового джерела  $r_{0,5} =$



Мал. 2. Результати обчислення коефіцієнта  $L_{t,h}$

1,73h. Для розподіленого джерела  $\rho_{0,5}$  будемо шукати у вигляді  $\rho_{0,5} = r_{0,5} \cdot L_{t,h}$ , де  $L_{t,h}$  – коефіцієнт. Як показано на малюнку 2, при розв’язуванні рівнянь  $G(r, \alpha) = 0,5$  значення множника  $L_{t,h}$  не залежать від  $h$ , якщо аргументом є відношення  $t/h$  і задовільно апроксимуються регресією

$L_{t,h} = 1 + 0,05 \cdot \left(\frac{t}{h}\right)^2$ , тому пів широта розподілу може бути оцінена емпіричною формулою  $\rho_{0,5} = 1,73 \cdot h \cdot (1 + 0,05 \cdot t^2/h^2)$ . Отже, при збільшенні  $t$  пів широта розподілу нелінійно збільшується.

При аналізі розподілів важливим є визначення інтервалів надійності (для розподілів на площині – областей надійностей). Будемо оцінювати радіуси кіл на площині  $XOY$ , які обмежують області, ймовірність влучення до яких дорівнює заданій величині  $\gamma$ . Часто розглядається рівень значущості  $\beta = 1 - \gamma$ . Для оцінки радіусів  $\rho_\beta$  областей надійності рівняння  $G(r, \alpha) = 1 - \beta$  розв’язувались числовими методами. Результати представлені у вигляді  $\rho_\beta = r_\beta \cdot M_{t,h,\beta}$ , де радіус надійності для точкового джерела  $r_\beta = h \cdot \sqrt{\beta^{-2} - 1}$  [1]. Величина  $M_{t,h,\beta}$  визначається значенням відношення  $t/h$  та рівнем значущості  $\beta$  (дивись таблицю 1).

Значення множника  $M_{t,h,\beta}$  для різних рівнів значущості  $\beta$ 

$\beta$	$r_\beta$	$t/h$				
		0	2	4	7	10
0,10	9,95·h	1	0,711	0,612	0,773	1,021
0,05	19,97·h	1	0,685	0,485	0,466	0,560
0,02	49,99·h	1	0,682	0,442	0,313	0,296
0,01	99,99·h	1	0,674	0,438	0,271	0,231

Внаслідок особливостей розподілу  $G(r, \alpha)$  залежність множника  $M_{t,h,\beta}$  від аргументу  $t/h$  не є монотонною і радіус надійності для розподіленого джерела може бути меншим, ніж для точкового джерела.

#### Список використаних джерел

1. Авраменко В. І. Дослідження закону розподілу променів від розподіленого джерела. //Modern research in world science. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International scientific and practical conference. SPC "Sci-conf.com.ua". Lviv, Ukraine. 2023. Pp. 503-509

**Анісімов Д.О., к. техн. н. Клімов Р.О.,**

*Дніпровський державний технічний університет*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ЧАСТКИ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ В СУШАРКАХ**

Процеси сушки вимагають для свого проведення досить великих витрат енергетичних ресурсів на підготовку сушильного агента потрібної якості. Основним показником ефективності роботи сушильної установки, як і будь-якого виду теплотехнічного та теплотехнологічного устаткування, є коефіцієнт корисної дії. Одним з головних способів зниження витрати палива на підготовку таких сушильних агентів як повітря, водяна пара, продукти згоряння, є використання рециркуляції відпрацьованого агента. При збільшенні ступеня рециркуляції ККД зростає. При збільшенні ступеня рециркуляції

зменшуються втрати на виході, але зростає вологість первинного потоку, який змішується з навколишнім повітрям.

Одним з прогресивних способів зниження витрати енергії на сушку є використання теплових насосів. Тепловий насос може бути ефективно застосований як засіб видалення вологи з відхідних газів сушарок і при цьому можна збільшувати частку їх рециркуляції.

Проведено дослідження того, як впливає встановлення теплового насосу або їх групи на процеси тепловологісної обробки матеріалу та витрату енергетичних ресурсів на цей процес. Для дослідження впливу теплового насосу на осушення відхідних газів з сушарки була прийнята для розрахунку сушарка в якій висушується мінеральне добриво.

Потужність теплового насосу не може приймати однакове значення для різних ступенів рециркуляції відпрацьованого повітря. Регулювання потужності пов'язане зі зростанням подачі первинного повітря і відповідній зміні кількості відпрацьованого повітря. Як правило теплові насоси розраховані на деякий діапазон зміни витрати газоподібного середовища. Корегування потужності теплових насосів у визначеному діапазоні витрат (або послідовне їх включення) дає якісно нові чисельні результати по оптимальному завантаженню обладнання через рециркуляцію.

Розрахунки проведені за допомогою рівнянь теплового балансу сушарки та процесів які відбуваються в ній. ККД системи підкоряється звичайним законам теплових насосів, коефіцієнт перетворення теплового насосу залежить від різниці температур випаровування і конденсації. Зниження різниці температур зазвичай досягається в сушарках з камерою змішування, де охолоджене повітря з насиченою парою змішується з неохолодженим перед входом в конденсатор.

В сушарках можна застосовувати і звичайні системи відновлення тепла. Вони можуть грати і роль зневоднювальних пристроїв. Визначення оптимальної частки теплонасосних і звичайних систем відновлення тепла можна рекомендувати в якості корисного впровадження.

Як показали розрахунки рециркуляція відхідного вологого повітря з сушарки призводить до деякого збільшення необхідної кількості повітря для сушки внаслідок того, що зростає вологовміст первинного повітря яке надходить до сушарки. Для прийнятої сушарки найбільшу ефективність від використання теплового насосу можна отримати при коефіцієнті рециркуляції рівному 0,41. При інших значеннях рециркуляції економія від використання теплового насосу, в порівнянні зі звичайною рециркуляцією, також буде, але в менших межах. Тобто використання теплового насосу в теплотехнічному аспекті є завжди ефективним.

Використання теплового насосу для підсушування відхідного вологого газу та повернення його в цикл дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії сушарки на 3,1 %, але при цьому витрачається енергія на привід компресора теплового насосу. Відповідно до цього, також знижується витрата первинного палива для отримання необхідної кількості теплової енергії на підігрів.

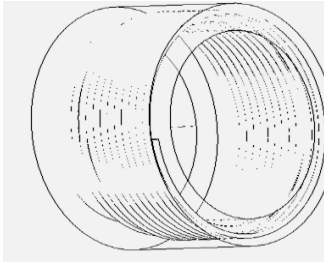
Розроблена методика дозволяє визначити оптимальну частку рециркуляції відпрацьованого повітря в сушарках для досягнення найбільшої економії первинного палива в порівнянні зі звичайною рециркуляцією.

**Д. техн. н. Бельмас І.В., Зубко Д.Е.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТА АРМУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ШИНИ**

Гумові камери коліс безрейкового транспорту поміщають в гумові шини та заповнюють стиснутим повітрям. Під тиском повітря шина деформується. Для забезпечення достатньої міцності її армують дротом. Суцільному дроту попередньо надають форму яку можна уявити як декілька спіралей рівного кроку, різного радіусу та спільною віссю (рис. 1).



**Рис. 1. Металевий корд**

Під дією внутрішнього тиску радіус шини зростає, зростають радіуси спіралей, довжина дроту. В ньому виникає внутрішня сила розтягу. На кінцях дроту вона відсутня. Витки спіралі в шині з'єднані гумою. Змінна по довжині сила розтягу дроту зумовлює взаємний зсув суміжних витків спіралі, появу дотичних напружень в гумі. Вони забезпечують рівновагу дроту армування та

впливають на розподіл внутрішніх сил розтягу поміж витками дроту. Математична модель дозволяє врахувати особливості напружено-деформованого стану елемента армування та, в процесі розробки шин, обирати раціональні його параметри.

Розглянемо взаємодії елемента армування та гуми шини. Прийнемо що спіралі мають однакову - цілу кількість витків та однаковий крок  $a$ . Крізь кінцеві точки криволінійної осі дроту та вісь спіралей проведемо площину. Нею, умовно, розріжемо спіралі. Отриманим відтинкам дроту надамо нульову кривизну та рівну (середню) довжину  $L$ . Отримаємо систему паралельно розташованих в шарах з кроком  $a$  стрижнів. Кількість шарів відповідає кількості спіралей  $N$ . Шари укладені з кроком  $b$  який дорівнює різниці радіусів суміжних спіралей. Шарам надамо номери  $j$  (від одиниці до  $N$ ). В кожному шарі –  $M$  стрижнів з номерами  $i$  (від одиниці до  $M$ ). Кількість стрижнів шару дорівнює кількості витків спіралей. Стрижні, пружним на зсув середовищем, з'єднані в єдине пружне тіло. Воно має форму близьку до похилої призми. Середній кут нахилу дорівнює середньому куту нахилу гвинтових ліній осі дроту. Ці кути малі. Знехтуємо ними. Прийнемо що форма утвореного тіла відповідає прямій призмі. Для зручності, величини що стосуються стрижнів, наділимо індексами. В індекси внесемо потокові значення їх номерів в шарі  $i$  та номеру шару  $j$ . Спрямуємо вісь координат  $z$  вздовж стрижнів. Початок осі

координат сумісно з перерізом кінця першого ( $i=1$ ) відтинку дроту армування першого шару ( $j=1$ ). Умова рівноваги відтинку довільного  $ij$ -того стрижня безмежно малої довжини в переміщеннях, після ряду перетворень, має вигляд.

$$\frac{d^2 u_{i,j}}{dz^2} + \frac{G}{EF} \left( \frac{k_{G_a} a}{b-d} (u_{i-1,j} - 2u_{i,j} + u_{i+1,j}) + \frac{k_{G_b} b}{a-d} (u_{i,j-1} - 2u_{i,j} + u_{i,j+1}) + \right. \\ \left. + u_{i-1,j-1} - 4u_{i,j} + u_{i+1,j+1} + u_{i-1,j+1} + u_{i+1,j-1} \right) = 0 \quad (1)$$

де  $G$  - модуль зсуву гуми;  $k_{G_a}$ ,  $k_{G_b}$  - коефіцієнти впливу форми гуми в шарах та поміж шарами на її жорсткість на зсув;  $EF$  - жорсткість на розтяг дроту армування шини.

Розв'язок системи однорідних рівнянь (1) будемо шукати у формі добутку функцій з розділеними змінними - залежних лише від координати  $z$  та функцій номерів  $i, j$ .

$$u_{i,j} = \left( \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} (A_{m,n} e^{\beta_{m,n} z} + B_{m,n} e^{-\beta_{m,n} z}) c(\mu_m, i) c(\chi_n, j) + \right. \\ \left. + \sum_{m=1}^{M-1} (A m_m e^{\beta m_m z} + B m_m e^{-\beta m_m z}) c(\mu_m, i) + \right. \\ \left. + \sum_{n=1}^{N-1} (A n_n e^{\beta n_n z} + B n_n e^{-\beta n_n z}) c(\chi_n, j) \right) + \frac{P z}{EF}, \quad (2)$$

де  $A_{m,n}$ ,  $B_{m,n}$ ,  $A m_m$ ,  $B m_m$ ,  $A n_n$ ,  $B n_n$  - масиви сталих коефіцієнтів;  $\mu_m = \frac{\pi m}{M}$ ;

$\chi_n = \frac{\pi n}{N}$ ;  $c(\mu_m, i) = \cos(\mu_m (i + 0,5))$ ;  $P$  - середні навантаження витків спіралей;

$$\beta m_m = \pm \sqrt{\frac{2 G}{EF} (1 - \cos(\mu_m)) \left( \frac{k_{G_a} a}{b-d} + 1 \right)}; \beta n_n = \pm \sqrt{\frac{2 G}{EF} (1 - \cos(\chi_n)) \left( \frac{k_{G_b} b}{a-d} + 1 \right)};$$

$$\beta_{m,n} = \pm \sqrt{\beta m_m^2 + \beta n_n^2}.$$

Відомі переміщення (2) та закон Гука дозволяють визначати розподіл сил поміж умовними стрижнями.

$$p_{i,j} = EF \left( \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{n=1}^{N-1} (A_{m,n} e^{\beta_{m,n} z} - B_{m,n} e^{-\beta_{m,n} z}) \beta_{m,n} c(\mu_m, i) c(\chi_n, j) + \sum_{m=1}^{M-1} (A_{m,m} e^{\beta_{m,m} z} - B_{m,m} e^{-\beta_{m,m} z}) \beta_{m,m} c(\mu_m, i) + \sum_{n=1}^{N-1} (A_{n,n} e^{\beta_{n,n} z} - B_{n,n} e^{-\beta_{n,n} z}) \beta_{n,n} c(\chi_n, j) \right) + P. \quad (3)$$

Напружений стан системи стрижнів розглянемо як складений з двох станів. Перший - усі стрижні навантажені рівними силами розтягу  $P$ . Другий – до двох стрижнів, кінці яких є кінцями спіралі, прикладемо по силі стиску  $-P$ . Кінці інших стрижнів уявні. Кінці стрижнів перерізу  $z=0$  в спіралі з'єднані з кінцями суміжних стрижнів кожного шару в перерізі  $z=L$ . Крайні з'єднані зі стрижнями нижчого шару – найближчої спіралі меншого радіусу. В наслідок нерозривності дроту сили навантажень в перерізах з'єднань рівні, переміщення рівні та протилежно спрямовані. Сформулюємо наведене у формі граничних умов та умов сумісності деформування умовних кінців відтинків неперервного дроту армування шини у формі співвісних спіралей.

$$\text{Коли } z=0 \ p_{1,1} = -P, \text{ коли } z=L \ p_{M,N} = -P, \quad (4)$$

$$u_{i,j}(z=L) = - \begin{cases} u_{i+1,j}(z=0) & 1 \leq i < M \wedge j = 1,3,5,\dots,N-1 \\ u_{i-1,j}(z=0) & 2 \leq i \leq M \wedge j = 1,3,5,\dots,N-1 \end{cases}, \quad (5)$$

$$p_{i,j}(z=L) = \begin{cases} p_{i+1,j}(z=0) & 1 \leq i < M \wedge j = 1,3,5,\dots,N-1 \\ p_{i-1,j}(z=0) & 2 \leq i \leq M \wedge j = 1,3,5,\dots,N-1 \end{cases},$$

$$u_{1,1}(z=0) = u_{M,N}(z=L) = 0.$$

Граничні умови (4) та умови сумісності деформування (5), разом з виразами переміщень (2) та сил (3), становлять собою шукану модель деформованого стану дроту армування автомобільної шини. Її застосування, в процесі проектування, дозволяє обґрунтовано приймати раціональні параметри дроту армування шини та схему його укладання.

**К. фіз.-мат. н. Карімов І.К., Вернигора Д.В., Компанієць Р.А.**

*Дніпровський державний технічний університет*

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ  
ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВИРОБІВ З МЕТОЮ ПРОЕКТУВАННЯ  
РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ  
МІСЦЕВОЇ ТЕРМООБРОБКИ В ГАЗОВИХ ПЕЧАХ**

Місцева термообробка великогабаритних виробів, виготовлених методом електрошлакового зварювання, є прогресивним ресурсозберігаючим процесом. Прогресивність зумовлена, перш за все, місцевим характером термообробки. Використання відносно невеликих газових печей, які забезпечують термообробку локальної зони навколо зварного шва, суттєво скорочує витрати енергоресурсів та ресурсів, необхідних для побудови та обслуговування традиційних термічних печей, здатних охопити весь виріб в цілому. В той же час організація місцевої термообробки потребує не тільки додержання технологічного режиму процесу, а й врахування локального характеру підведення теплоти, який вивчений ще недостатньо [1,2].

Технологічний режим термообробки задається температурним графіком, додержання якого і забезпечує досягнення основної мети – зняття термічних напружень, що виникли в процесі зварювання окремих деталей в одне ціле. В загальному випадку такий графік включає в себе стадії нагріву, витримки та охолодження виробу. На стадіях нагріву і охолодження регламентується швидкість зміни температури в зоні зварного шва ( $C_H$  і  $C_{Ox}$ , відповідно), на стадії витримки регламентується час проведення цієї стадії  $\tau_B$ . Традиційно технологи задають вказані параметри, виходячи з необхідності забезпечення перепаду температур в межах заданої зони відносно центру шва, який не перевищував би певну величину  $\Delta T$ . На практиці досить часто при визначенні умов зовнішнього теплообміну швидкість процесів нагріву і охолодження занижується настільки, щоб гарантовано не перевищити регламентовану

графіком швидкість. Як наслідок – невиправдані перевитрати енергоносіїв та сповільнення ритму роботи, часто – досить суттєве. Виходом з цього становища є побудова таких алгоритмів керування процесом термообробки, які б забезпечували точне додержання графіку термообробки (з врахуванням похибок приладів керування) [2].

Розв'язання подібних задач за допомогою аналітичних методів пов'язане з принциповими математичними труднощами, призводить до спрощення математичних моделей і суттєвого зниження практичної цінності одержаних результатів. В роботі [2]. використовується спеціальна методика, заснована на застосуванні універсальних різницевих схем з використанням модифікованого методу елементарних теплових балансів для одержання розрахункових формул для визначення параметрів керування процесом. Як параметр управління використана щільність теплового потоку в зоні зварного шва. В даній роботі описаний підхід поширений на випадок керування процесом термообробки за рахунок зміни температури продуктів згорання та за рахунок змін в організації конвективного теплообміну в робочому просторі печі. Виведені відповідні розрахункові формули та сформульовані алгоритми комп'ютерної реалізації.

#### **Список використаних джерел**

1. Манусов І.Н. Моделювання місцевого нагріву плитних конструкцій у режимі непрямого теплообміну/ І.Н. Манусов, І.К. Карімов // Ювілейний збірник науково-технічних праць. - Дніпродзержинськ, ДДГУ, 1995 - С. 322-328.
2. Карімов І.К. Комп'ютерно орієнтований алгоритм керування процесом місцевої термообробки великогабаритних деталей/ І.К. Карімов // Математичне моделювання.- 2015.- №1(32).- С.45-48.

**К. техн. н. Клімов Р.О., Гарустович О.В.**

*Дніпровський державний технічний університет*

### **ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ КОНТАКТНИХ ТЕПЛОБМІННИКІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ ВИДІВ НАСАДОК**

В паливно-енергетичному комплексі України та всього світу найбільшим споживанням енергетичних ресурсів відрізняються промислові підприємства та теплові електричні станції. Використання палива на цих об'єктах залежить від

коефіцієнту корисної дії агрегатів та установок з яких вони складаються. Як відомо, коефіцієнт корисної дії показує співвідношення корисної енергії до витраченої, тобто прямо характеризує втрати енергії на шляху її перетворення. На потужних теплових електростанціях або котельнях ККД найбільшою мірою залежить від витраченої кількості теплоти з охолодженням конденсаторів турбін, відхідними газами які мають високу температуру, систем маслоохолодження і т.д. Кожен вид таких втрат це великий невикористаний енергетичний потенціал, тобто вторинний енергоресурс, який можливо використовувати. При цьому використання вторинних ресурсів та викидів виробництв покращить екологічну обстановку регіонів, а це завжди було актуальною задачею.

При роботі основних видів теплотехнічних агрегатів, таких як парові та водогрійні котли, нагрівальні та термічні печі, втрати з відхідними газами є основною часткою витратної частини теплового балансу. Як правило, втрати теплових вторинних енергетичних ресурсів в котлах зменшують шляхом встановлення економайзерів та повітропідігрівачів. Контактні типи теплообмінників з робочим об'ємом заповненим насадками відрізняються найкращими показниками роботи. Кожен з видів насадки має свої переваги та недоліки, які в основному визначаються поверхнево-геометричними характеристиками по розташуванню в об'ємі економайзерного простору та гідравлічному опору який створює простір з насадкою при проходженні через нього продуктів згорання.

Проведено моделювання роботи контактної економайзера встановленого після парового котла з метою визначення поверхневого коефіцієнту тепловіддачі при використанні таких видів насадок як кільця Рашига  $15 \times 15 \times 2$  мм,  $25 \times 25 \times 3$  мм, кільця Мебіуса, насадка Інжехім 24 та кільця Палля.

Поверхневий коефіцієнт тепловіддачі залежить від багатьох параметрів

$$k_s = f(u, \omega, v, s, \lambda_{c2}, \rho_{c2}, \nu_{c2}, \nu_g), \quad (1)$$

де  $u$  — щільність зрошування,  $\text{м}^3/(\text{м}^2\text{с})$ ;  $\omega$  — швидкість газу у вільному перетині,  $\text{м/с}$ ;  $v$  — вільний об'єм насадки,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $s$  — питома поверхня насадки,

$\text{м}^2/\text{м}^3$ ;  $\lambda_{с2}$  — коефіцієнт теплопровідності сухого газу,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $\rho_{с2}$  — густина сухого газу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\nu_{с2}$  — кінематична в'язкість сухого газу,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\nu_в$  — кінематична в'язкість води,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Отримані в результаті розрахунку дані представлені на рис. 1.

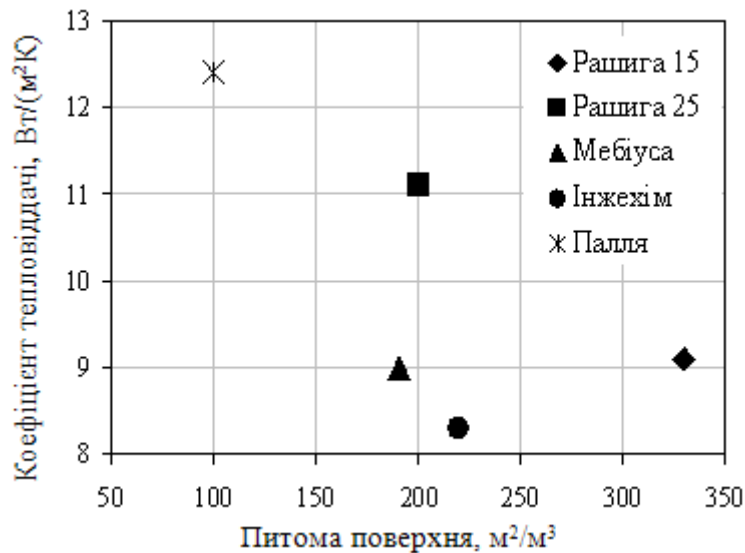


Рис. 1. Залежність коефіцієнту тепловіддачі від питомої поверхні насадок

При використанні насадки Палля коефіцієнт тепловіддачі для прийнятих умов проектування найбільший. На це в першу чергу впливає значення питомої поверхні, яка для такого типу насадки має мінімальне значення. Але ж є і зворотна сторона цього. Таким чином за коефіцієнт тепловіддачі насадка Палля для розглянутого випадку має переваги по відношенню до інших типів насадок.

**К. техн. н. Клімов Р.О., Жевжик В.Д.**

*Дніпровський державний технічний університет*

### **ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОБМІННИКІВ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ ОРЕБРЕННЯ ТРУБЧАСТОЇ СИСТЕМИ**

Залежно від мети створення апарату в якості критерію оптимальності можуть бути прийняті різні величини. Основна вимога до критерію оптимальності полягає в тому, що це повинна бути єдина величина, яка, по

можливості, найбільш повно відповідає поставленій меті створення апарату. При проведенні дослідження необхідно експериментально простежити, як змінюються характеристики моделі при зміні факторів, що впливають на неї. Отримана при цьому інформація є вихідним матеріалом для побудови шуканої залежності. Основна вимога до критерію оптимальності полягає в тому, що це повинна бути єдина величина, яка, по можливості, найбільш повно відповідає поставленій меті створення апарату.

Метою роботи є визначення впливу таких факторів як довжина однієї оребреної трубки, несучий діаметр оребрення трубки та коефіцієнт оребрення на оптимальне конструктивне виконання підігрівача стисненого повітря за показником мінімальної довжини трубної системи. У дослідженні приймаємо підігрівач стисненого повітря з трирядним шаховим компонованням трубчастої оребреної системи, яке є найбільш раціональним для заданих умов проектування.

З метою раціональної постановки експерименту з вивчення процесу побудування оптимальної конструкції теплообмінного апарату за критерієм мінімальної довжини трубчастої системи та визначення стаціонарної області в умовах зміни факторів впливу обрано центральний композиційний план другого порядку  $k = 3$ .

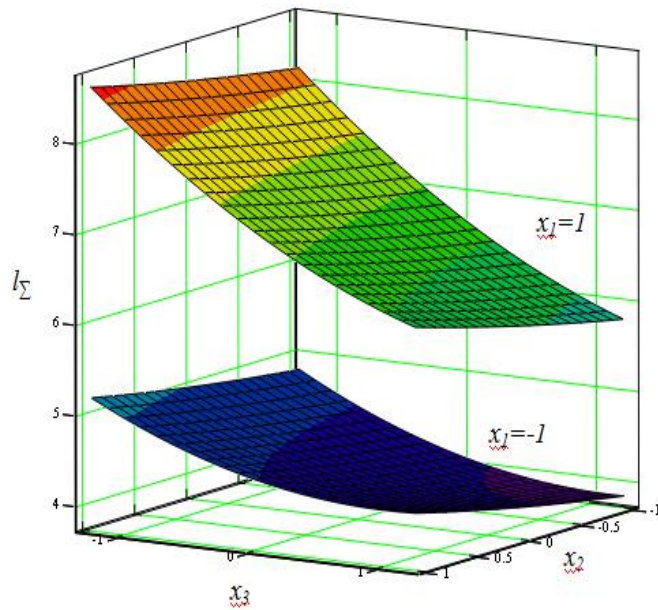
Отримано математичну модель досліджуваного процесу яка після перевірки значущості коефіцієнтів має вигляд

$$\hat{y}_1 = 5,812 + 1,344x_1 + 0,245x_2 - 0,634x_3 - 0,275x_1x_3 - 0,203x_1^2 + 0,166x_3^2, \quad (1)$$

де  $x_1$  – довжина однієї трубки;  $x_2$  – несучий діаметр оребрення;  $x_3$  – коефіцієнт оребрення.

Порівняння розрахункового та табличного значень критерію Фішера  $F < F_{cr}$  показує, що рівняння моделі (1) адекватне істинній залежності з довірчою ймовірністю 95 %.

Загальний вигляд отриманої моделі наведено на рис. 1.



*Рис. 1. Залежність загальної довжини трубок теплообмінника від факторів  $x_2$  та  $x_3$  при  $x_1 = -1$  та  $x_1 = +1$*

Аналізуючи отримане рівняння (1) видно, що найбільший вплив на загальну довжину труб теплообмінника має фактор  $x_1$ , тобто довжина однієї трубки поперек потоку повітря. Вторинне значення на загальну довжину трубок має коефіцієнт оребрення, а знак вказує на те, що зі збільшенням коефіцієнту оребрення загальна довжина буде зменшуватися. Останнє місце за впливом на значення шуканої функції є несучий діаметр оребрення. Це також видно з рис. 1: різниця між двома приведеними функціями найбільша для зміни  $x_1$ . Дані про вплив досліджуваних факторів  $x_1$ ,  $x_2$  та  $x_3$  на сумарну довжину використаних трубок також видно з рис. 1. Так при  $x_1 = -1$  можливе досягнення мінімуму загальної довжини при значенні  $x_3 = 1.006$ .

**К. техн. н. Клімов Р.О., Луста Д.О.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ УТИЛІЗАТОРІВ ТЕПЛОТИ ПРИ ЧАСТКОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ КОТЛІВ**

Враховуючи долю споживання енергетичних ресурсів потужними промисловими підприємствами у загальному балансі споживання світу, видно, що на даному етапі розвитку техніки, первинна енергія використовується не достатньо ефективно. Цей вторинний ресурс має суттєвий енергетичний потенціал, але ж його утилізація та використання поверненої енергії в цикл виробництва, як правило, стикаються з деякими обмеженнями. Підвищення рівня використання вторинних енергетичних ресурсів дозволяє знизити споживання первинних, вартість яких невпинно зростає, та вирішити питання покращення екологічної обстановки в місцях встановлення великих підприємств. Тобто можна одночасно вирішити як матеріальний бік проблеми, так і екологічний.

При роботі теплотехнічних агрегатів та установок утворюється велика кількість вторинних енергоресурсів, як теплових, так і горючих, що залежить від типу та ефективності обладнання. Основними є втрати з відхідними продуктами згоряння. Їх кінцева температура обмежується можливістю конденсації водяної пари при досягненні точки роси димових газів. У таких енергетичних об'єктах температура відхідних газів, як правило, становить понад 110 °С і в першу чергу залежить від типу використовуваного палива. Розглядаючи тенденції зменшення теплових викидів, слід зазначити досяжну температуру охолодження продуктів згоряння в теплотехнічних агрегатах. Використовуючи лише енергетичні баланси не можна точно вказати це значення, а застосовуючи ексергетичні баланси можна назвати оптимальне значення лише на рівні 40 °С, при прийнятному значенні температури навколишнього середовища.

В основному величезні втрати теплових вторинних енергоресурсів

зменшують шляхом встановлення хвостових поверхонь нагріву, якими є економайзери та підігрівачі повітря. Це рекуперативні або регенеративні типи теплообмінників, а, як відомо, найкращою ефективністю в роботі відрізняється контактний тип. Найпоширенішим контактним типом економайзера є ЕК-БМ у якому для розвинення поверхні тепломасообміну використовують різні типи насадок.

Робота котельного агрегату характеризується змінами його основних параметрів у часі, які значною мірою залежать від ступеня навантаження котла. Робота теплових утилізаторів при цьому може характеризуватися зміною енергетичних показників використання теплоти відхідних газів в широких межах. Ступінь завантаження економайзера відбивається на ефективності його роботи. Визначення параметрів спільної роботи теплових утилізаторів та котельного агрегату при зміні його теплопродуктивності (паропродуктивності) дозволить визначити найбільш раціональні режими роботи системи з погляду економії палива.

Проведено дослідження сумісної роботи котельного агрегату ТП-150 при різних ступенях його навантаження, з теплоутилізаторами встановленими в необхідній кількості, для отримання найбільш ефективних режимів роботи системи. Як показали результати розрахунків температура газів на виході з контактного теплоутилізатора не однакова на всіх режимах роботи котла, це обумовлено різною кількістю підключених економайзерів. Чим більший рівень навантаження котла, тим до меншої температури можна охолоджувати відхідні газу. Так для навантаження 50 % це майже 46 °С, а для повного навантаження – 40 °С. Це, у свою чергу, як відомо з основних принципів розгляду роботи котельних агрегатів, безпосередньо впливає на загальну теплову економічність установки та витрату первинного палива. Враховуючи вартість палива, можна показати, що протягом року це значна економія. Зниження температури відхідних газів також впливає на рівень теплового забруднення навколишнього середовища, а зниження витрати палива на котел – на рівень викидів забруднюючих речовин у ґрунт, повітря, воду.

**Д. фіз.-мат. наук Пасічник А. М.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОБУДОВИ ІНФРАСТРУКТУРИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ В УКРАЇНІ**

Застосування логістичних методів під час доставки та проміжного зберігання товарів у зовнішньоекономічному торговому обігу передбачає використання ефективної транспортно-логістичної інфраструктури. Основу якої становлять транспортні шляхи та загальнодержавна мережа транспортно-логістичних комплексів (ТЛК).

Проблема створення транспортно-логістичної інфраструктури нерозривно пов'язана з питаннями визначення оптимальної кількості ТЛК в регіонах країни та їх взаємного розташування в залежності від цілого ряду факторів. Тому питання створення математичних моделей і методик визначення місць розташування логістичних транспортних комплексів є достатньо актуальним.

В даній роботі для розрахунку параметрів створення логістичної інфраструктури запропоновано методику багатofакторної оптимізації на основі реально допустимих варіантів, яка ґрунтується на визначенні оптимальних місць для розміщення від 1 до  $n$  транспортно-логістичних комплексів.

Запропонована модель дозволяє визначити приведений комплексний коефіцієнт факторно-рейтингової оптимізації, за формулою:

$$K_i = (k_{i_1}q_{i_1} + k_{i_2}q_{i_2} + \dots + k_{i_j}q_{i_j} + \dots + k_{i_m}q_{i_m})/m, \quad (1)$$

де  $K_i$  – значення комплексного коефіцієнта факторно-рейтингової оптимізації для  $i$ -ого населеного пункту;

$q_{ij}$  – значення фактору для  $i$ -ого населеного пункту;  $j$  – кількість факторів, що розглядаються;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $q_{ij} = 1$  при наявності відповідного фактору;  $q_{ij} = 0$  при відсутності фактору;

$k_{ij}$  – ваговий коефіцієнт впливу  $j$ -ого фактору на рейтингову оцінку населеного пункту;  $0 < k_{ij} \leq 1$ ; для розглянутого випадку приймається рівним 1; в

реальних прикладних задачах дозволяє більш точно врахувати експертну оцінку впливу фактора на значення комплексного коефіцієнта.

При проведенні розрахунку факторно-рейтингової оцінки обраних міст для розміщення ТЛК за формулою (1) пропонується враховувати такі три групи факторів:

Перша група – транспортні фактори, які характеризують рівень транспортної доступності регіонів, серед них: наявність в регіоні великих пунктів пропуску через митний кордон; близькість до міжнародних транспортних коридорів; кількість ефективно-працюючих видів транспорту в регіоні; можливості розвитку транспортної інфраструктури.

Сучасна транспортно-логістична система повинна вирішувати як оперативні задачі з координації роботи всіх учасників транспортного процесу в рамках існуючої транспортної системи, мережі міжнародних транспортних коридорів, так і стратегічні задачі при модернізації транспортної системи, створення сучасної транспортно-комунікаційного каркасу.

Друга група – економічні фактори, серед яких: близькість ринку; інвестиційна привабливість регіону; наявність та вартість земельних ділянок; вартість будівництва складського комплексу.

Ця група критеріїв характеризує перспективи економічного розвитку регіону. Зазначимо, що на відміну від таких країн, як США, Німеччина та Франція, Україна і досі немає єдиної, загальновизнаної методики оцінки реального інвестиційного середовища, а відповідно рівень інвестиційної привабливості України є невисоким. У дослідженні Світового Банку «Doing business 2018» Україна посідає 76-е місце серед 190-ти країн, що свідчить про невисоку привабливість країни для прямих іноземних інвестицій. Тому ступінь присутності міжнародних компаній на ринку України є низьким.

Третя група – «адміністративні фактори»: отримання дозволів на планування та ведення будівництва транспортно-логістичних комплексів; можливість залучення до роботи в складі ТЛК контрольних служб (митних, санітарних, радіологічних, епідеміологічних та інш.); наявність затверджених на місцевому рівні концепцій розвитку та планування розташування промислових та транспортних об'єктів.

Ця група факторів впливає на оперативність створення ТЛК (рівень затрат та період окупності) та обсяг послуг, які такий комплекс зможе надавати в процесі свого функціонування, а відповідно і його привабливість для споживачів.

Оптимальним варіантом розміщення транспортно-логістичних комплексів, в такому випадку, буде населений пункт для якого виконується умова:

$$A_{i,\text{заг}} = \sum(A_{i,1} + A_{i,2} + A_{i,3} + A_{i,4} + A_{i,5} + A_{i,6} + \dots + A_{i,165}) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $A_{i,j}$  – скоригована транспортна робота для кожного конкретного населеного пункту, яка розраховується за формулою:

$$A_{i,j} = T_{i,j}K_i = W_iL_{i,j} \times K_i, \quad (3)$$

$$\begin{cases} 0 \leq i \leq 165 \\ 0 \leq j \leq 165 \\ 0 \leq K_i \leq 1 \\ 0 < W_i < 100000 \\ A_{ij}, T_{ij}, L_{ij}, W_{ij} \geq 0 \end{cases}$$

де:  $T_{ij}$  - транспортна робота яка виконується під час доставки  $W_i$  тон вантажу з  $i$ -того населеного пункту в  $j$ -ий населений пункт:

$$T_{i,j} = W_iL_{i,j}, \quad (4)$$

де:  $W_i$  – потреба в імпортному вантажопотоку  $i$ -того населеного пункту (т);  $L_{ij}$  – відстань між  $i$ -тим населеним пунктом та  $j$ -тим населеним пунктом (км).

У відповідності із запропонованим підходом проведено розрахунок оптимального місця розміщення ТЛК в п'яти містах із 165 населених пунктах України для забезпечення рівномірної доставки 100 000 т. імпортової споживчої продукції на рік.

За результатами розрахунків для ефективного вирішення проблеми доставки продукції при мінімальному рівні транспортної роботи оптимальний варіант розміщення п'яти транспортно-логістичних комплексів передбачає їх розміщення в таких містах України: Дніпро, Київ, Львів, Одеса, Харків.

**К. техн. н. Раздобрєєв В.Г., Ключніков К.Ю., Лещенко О.І., Паламар Д.Г.**

*Інститут чорної металургії НАН України*

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ПРОФІЛІВ СТРІЧКОВОГО ТИПУ З КРУГЛОЇ ЗАГОТОВКИ**

Для виробництва профілів стрічкового типу високої точності волочінням у роликівих волоках в якості вихідної заготовки слід використовувати калібрований круглий дріт. Необхідною технологічною операцією перед деформацією заготовки в розгінному калібрі є обтиснення заготовки в гладких роликах, так як завдання в розгінний калібр заготовки круглого перерізу з великим ступенем ймовірності може призводити до зміщення по відношенню до осі калібру і формування несиметричного профілю, що не дозволяє забезпечити продукції високої точності. Крім того, форма розгінного калібру та параметри деформації в ньому не повинні призводити до появи напружень, близьких до критичних.

З метою визначення раціональних розмірів перерізу заготовки перед розгінним калібром та раціональних параметрів калібрування розгінного калібру з використанням математичної моделі процесу отримання профілів стрічкового типу із заготовок круглого перерізу провели аналітичні дослідження. Розроблена математична модель використовується для моделювання процесу деформації металу волочінням у плоских непривідних валках та розгінних калібрах. При розробці математичної моделі було прийнято такі припущення: 1) задача, що розв'язується – задача об'ємного деформування (тривимірна); 2) до деформації матеріал – ізотропний та однорідний; 3) середовище, що деформується – нелінійне в'язкопластичне ( $T = \tau_s + \mu N^\alpha$ ). В якості алгоритму математичної моделі напружено-деформованого стану металу процесу волочіння у роликівих волоках прийнято функціонал Лагранжа, у поєднанні з методом штрафних функцій. Алгоритм визначення напружено-деформованого стану металу в процесі волочіння в роликівих волоках має на

увазі спочатку визначення поля швидкостей течії металу, а потім на його основі визначення поля напруг металу.

При виконанні розрахунків в якості вихідних даних приймалися наступні параметри: діаметр вихідної заготовки-дроту – 6,0 мм; матеріал – сталь марки Св08А. Початкове значення границі плинності – 480 Н/мм<sup>2</sup>; швидкість протягування – 3,05 м/с. Моделювали двороликовий осередок деформації. Методика аналітичних досліджень складалася в послідовному моделюванні трьох етапів деформації профілю: 1) обтиснення вихідної круглої заготовки в гладких роликах з метою отримання плющеної стрічки з різним співвідношенням ширини (b) до товщини (h)  $b/h < 2$  та  $b/h > 2$ ; 2) обтиснення плоскої заготовки з різним співвідношенням  $b/h < 2$  та  $b/h > 2$  в розгінному калібрі; 3) обтиснення профілю після розгінного калібру в роликах з гладкою бочкою.

В результаті виконаних розрахунків для всіх етапів деформації було отримано тривимірне поле швидкостей течії металу, з використанням якого обчислені інтенсивність швидкостей деформації зсуву в кожній точці смуги, а потім ступеня деформації металу в цих же точках. За отриманим деформованим станом металу визначили напружений стан, використовуючи диференціальне рівняння рівноваги і рівняння стану суцільного середовища. Для аналізу напруженого стану металу геометричний осередок деформації в поздовжньому напрямку було розбито на 11 поперечних перерізів від  $l_x/l_d = 1$  до  $l_x/l_d = 0$  (де  $l_x$  – відстань від початку контакту металу із валками до конкретного перерізу;  $l_d$  – довжина геометричного осередку деформації). У кожній області поперечного перерізу смуги протягом всього геометричного осередку деформації визначалися максимальні значення складових поля напружень ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ), а також границі плинності  $\sigma_T$ . Після попереднього аналізу розподілу напруг у поперечних перерізах геометричного осередку деформації для всіх трьох етапів деформації визначали області максимальних напружень, що розтягують. В якості показника напруженого стану використовували відношення максимального розтягуючого напруження до границі плинності ( $\sigma_{\max}/\sigma_T$ ). Якщо це відношення більше одиниці, це говорить, що у цій області чи точці може статися руйнація металу (виникнути тріщини, розриви).

В результаті розрахунково-аналітичних досліджень встановлено, що при обтисненні круглої заготовки в гладких роликах значення максимальних напружень, що розтягують спостерігається при її деформації для випадків отримання профілів з співвідношенням  $b/h > 2$ . При цьому максимальні напруження, що розтягують, в цьому випадку, виникають на більшому протязі геометричного осередку деформації.

Показано, що при деформації плоскої заготовки з різним співвідношенням  $b/h > 2$  в розгінному калібрі розподіл максимальних напружень, що розтягують ідентичні, як і на першому етапі деформації.

Встановлено, що наступна деформація в роликах з гладкою бочкою заготовки, що отримали після розгінного калібру, найбільш максимальні напруження, що розтягують спостерігаються для випадку використання плоскої заготовки з співвідношення  $b/h < 2$ . Це пояснюється тим, що відносна ступінь деформації в розгінному калібрі для заготовки з співвідношенням  $b/h < 2$  складає 33,4 %, а для заготовки з співвідношенням  $b/h > 2$  – 8,1 %. Обумовлено це тим, що в розрахунках була задана умова отримання однакової висоти профілю після розгінного калібру для заготовок з різним співвідношенням  $b/h$  (менш або більше двох).

Встановлено, що найбільша ширина  $b$  профілю при проведенні чисельного експерименту отримується для деформації плоскої заготовки з співвідношенням  $b/h > 2$  і складає 7,44 мм, а для випадку деформації плоскої заготовки з співвідношенням  $b/h < 2$  складає 7,24 мм. Показано, що значення розширення металу, яке отримано при використанні плоских заготовок з різним співвідношенням  $b/h$  (менш або більше двох) практично однаково. Однак показники розширення при наступній деформації в роликах з гладкою бочкою заготовки, яке отримано в розгінному калібрі з плоскої заготовки з співвідношенням  $b/h < 2$ , приблизно у 2,5 рази більше ніж при використанні стрічки з співвідношенням  $b/h > 2$ .

Д. техн. н. Самохвалов С.Є.<sup>1</sup>, к. техн. н. Піптюк В.П.<sup>1</sup>,

к. техн. н. Надригайло Т.Ж.<sup>2</sup>, Греков С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут чорної металургії НАН України,

<sup>2</sup>Дніпровський державний технічний університет

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОЛЕКТИВНОГО ВВЕДЕННЯ ДОБАВОК У КІВШ

Під час позапічної обробки сталі в ковші різноманітні добавки (модифікуючі та легуючі матеріали) вводяться в ківш колективно, насипом, і кількість їх може досягати сотень кілограмів на ківш. Таке введення суттєво впливає на гідродинаміку розплаву в ковші, що, в свою чергу, суттєво впливає на перебіг тепломасопереносних процесів. Проте в сучасних математичних моделях процесів засвоєння добавок при позапічній обробці сталі в ковші такий вплив, здебільшого, не враховується, що при досить великих кількостях введення добавок призводить до значних похибок в розрахунках.

Ціллю даної роботи є врахування такого впливу. В роботі [1] було розроблено метод колективного опису динаміки дрібнодисперсних фаз в середовищі, який ми і застосовуємо в даній задачі. Запропонована модель враховує ефективну стисливість середовища, взаємний рух, взаємодію і перетворення кількох фаз: розплаву; газу, що захоплюється при подачі добавок та струменем металу, або спеціально вдувається через фурми; твердої дрібнодисперсної фази модифікуючих матеріалів; рідинної дисперсної фази продуктів їх розчинення або плавлення, та інших фаз, в які вона переходить (при необхідності стеження за ними).

Об'ємні густини розплаву, газової, твердої дисперсної фази, рідинної дисперсної фази результатів плавлення твердої дисперсної фази та однією з рідинних дисперсних фаз, в які вона переходить, позначаються як  $\gamma, \alpha, \beta, \eta, \chi$ , а величини, що до них відносяться, – індексами  $l, a, b, h$  та  $c$  відповідно. Останні дві фази спочатку позначатимемо спільними індексами  $l$ , наприклад,  $\eta_l = \eta$  при  $l = h$  та  $\eta_l = \chi$  при  $l = c$ . Проте для всіх домішкових фаз, крім

газової, будемо використовувати здебільшого масові густини  $\beta'$  та  $\eta'_l$ , які прийнято використовувати в металургії.

В основу математичної моделі покладені наступні основні припущення:

- 1) вздовж стінок ковша і фурми середовище ковзається вільно;
- 2) фазовими перетвореннями газової фази  $\alpha$  нехтуємо;
- 3) при введенні добавок в ківш, як і при входженні струменю розплаву під поверхню розплаву (під час наповнення), відбувається захоплення повітря;
- 4) колективною складовою швидкості рідких дисперсних фаз  $\eta_l$  відносно розплаву нехтуємо;
- 5) теплота, що витрачається на прогрів інертного газу, незначна і нею можна знехтувати;

З урахуванням цих припущень гідродинаміка середовища в цілому, а також масоперенос газової фази в нашому випадку визначається системою рівнянь:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\vec{\nabla}\tilde{p} + \nu_e\Delta\vec{v} + \zeta'_e\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{v}) - \alpha\vec{g}, \quad (1)$$

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{v} = \psi_a - \alpha\xi\rho_0\vec{g}\vec{v}_a - \vec{\nabla}\cdot(\alpha\vec{w}_a), \quad (2)$$

$$\frac{\partial\alpha}{\partial t} + \vec{\nabla}\cdot[\alpha(\vec{v} + \vec{w}_a^c)] = \vec{\nabla}\cdot(D_a\vec{\nabla}\alpha) + \psi_a - \xi\rho_0\vec{g}\cdot[\alpha(\vec{v} + \vec{w}_a^c) + D_a\vec{\nabla}\alpha]. \quad (3)$$

Рівняння переносу домішкових фаз записується для відносних масових густин фаз:

$$\frac{\partial\beta'}{\partial t} + \vec{\nabla}\cdot[\beta'(\vec{v} + \vec{w}_b^c)] = \vec{\nabla}\cdot(D_b\vec{\nabla}\beta') + \psi'_b + \Phi'_{hb}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial\eta'_l}{\partial t} + \vec{\nabla}\cdot(\eta'_l\vec{v}) = \vec{\nabla}\cdot(D_l\vec{\nabla}\eta'_l) + \Phi'_l. \quad (5)$$

Відносне масове джерело твердої фази розбите тут на дві складові:

$\Phi'_b = \psi'_b + \Phi'_{hb}$ , перша з яких  $\psi'_b$  використовується для завдання крайових

умов у місці подачі домішок в області формування барботажного режиму, а друга  $\Phi'_{hb}$  пов'язана з фазовим перетворенням між фазами  $\beta'$  та  $\eta'$ .

Теплова сторона процесу, який розглядається, описується рівнянням [1]:

$$C_r \frac{dT}{dt} = \vec{\nabla} \cdot (\lambda'_e \vec{\nabla} T) + \theta, \quad (6)$$

де джерело  $\theta$  визначається тепловими ефектами початкового прогріву домішок та фазовими перетвореннями і конкретизується при розгляді окремих процесів. Ефективні коефіцієнти  $C_r$  та  $\lambda'_e$  враховують присутність у розплаві дисперсних фаз і можуть бути визначені за формулами, наведеними в [1].

#### Список використаних джерел

1. Огурцов А.П., Самохвалов С.Є. Математичне моделювання теплофізичних процесів у багатофазних середовищах. – К.: Наукова думка. – 2001. – 412 с.

**Д. техн. н. Самохвалов С. Є.<sup>1</sup>, д. техн. н. Чернятевич А.Г.<sup>1</sup>,**

**д. техн. н. Сігарьов Є.М.<sup>2</sup>, к. техн. н. Похвалітий А.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Інститут чорної металургії НАН України,

<sup>2</sup>Дніпровський державний технічний університет

### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ФАКЕЛУ**

У створених на сьогодні в Україні умовах дефіциту рідкого чавуну та зростаючої кількості металевго брухту забезпечити належне виробництво киснево-конвертерної сталі можливо тільки за рахунок розробки і впровадження багатосоплових паливно-кисневих фурм, які пристосовані для попереднього нагріву металевго брухту в порожнині конвертера високотемпературними пиловугільними факелами.

В даній роботі запропоновано математичну модель пиловугільного факелу.

В основу математичної моделі покладені наступні основні припущення:

1. Окремі факели нехтувано мало впливають один на другий, тому розгляд ведеться для кожного факела окремо.

2. Задача прийнята циліндрично-симетричною відносно осі факелу, зокрема відхиляючою дією сили тяжіння на рух твердої фази(порошинок вугілля) нехтуємо.

3. Сумарний об'ємний вміст порошинок вугілля в газовій фазі при витратах, що вивчаються, невеликий, тому воно розглядається як дисперсна фаза.

Математична модель, з урахуванням зроблених припущень, будується за методикою, що описана в роботі [1] (позначення, що використовуються, також вибрані у відповідності з даною роботою).

Крім несучої газової фази з об'ємною густиною  $\alpha$ , присутня дисперсна фаза палива (порошку вугілля) з об'ємною густиною  $\beta$ , для якої справедливе рівняння:

$$\frac{\partial \beta}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\beta \vec{v}_b) = \vec{\nabla} \cdot (D_b \vec{\nabla} \beta) - x_b \psi, \quad (1)$$

де  $\vec{v}_b$  – швидкість фази  $\beta$ ,  $D_b$  – ефективний коефіцієнти дифузії, що враховує турбулентні складові і  $x_b \psi$  – об'ємна густина стоку фази  $\beta$  (палива), наявність якої зв'язана з горінням порошку вугілля в факелі,  $x_b := \rho_g^o / \rho_b^o$ , де  $\rho_g^o$  і  $\rho_b^o$  – істинні густини газової фази і палива відповідно.

Кінетика горіння порошку вугілля, яка в нашій моделі представлена величиною  $\psi$ , визначається згідно даним, наведеним в роботі [2].

Швидкості газової фази  $\vec{v}_g$  і дисперсної фази порошку вугілля  $\vec{v}_t$  визначаються з рівнянь, які згідно першому та третьому припущенням нашої моделі записуються у вигляді:

$$\alpha \frac{d_g \vec{v}_g}{dt} = \Delta(\vec{v}^k v_g^k) - \psi \vec{v}_g - \vec{\nabla} p' + \vec{f}_{gt}, \quad (2)$$

$$\beta \frac{d_t \vec{v}_t}{dt} = x_b \psi \vec{v}_t + \vec{f}_{tg}. \quad (3)$$

Тут  $\frac{d_i}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{v}_i \cdot \vec{\nabla}$  – субстанційна похідна  $i$ -ої фази (несучої газової при  $i = g$ , чи дисперсної при  $i = t$ ),  $p' = p / \rho_g^o$  – тиск, нормований на дійсну густину газу,  $\vec{\nabla}$  – тензор ефективної кінематичної в'язкості, що враховує турбулентні ефекти,

$\vec{f}_{tg}$  та  $\vec{f}_{gt}$  – густини сил міжфазної взаємодії. При записі рівняння (3) прийнято, що через розрідженість твердої фази в факелі взаємодія між порошинками вугілля відсутня.

Теплова сторона розглянутого процесу описується рівнянням:

$$C_r \frac{dT}{dt} = \vec{\nabla} \cdot (\lambda'_e \vec{\nabla} T) + x_b \kappa L \beta, \quad (4)$$

де  $C_r$  і  $\lambda'_e$  – ефективні теплоємність і нормована на густину теплопровідність (яка враховує турбулентні ефекти) дисперсного середовища в цілому,  $L$  – теплова здатність вугілля, а  $\frac{d}{dt}$  – середнеоб'ємна субстанційна похідна. В рівнянні (4) під  $T$  розуміємо середнеоб'ємну температуру середовища, яка в нашому наближенні малості об'ємного вмісту твердої фази в середовищі наближено співпадає з температурою газової фази. Тут прийнято [1]:

$$C_r = C_g (1 - \beta) x_b + C_t \beta, \quad (5)$$

де  $C_t$  і  $C_g$  – теплоємності вугілля і газу відповідно. Що стосується ефективної нормованої на густину теплопровідності середовища  $\lambda'_e$ , то внаслідок явно турбулентного режиму руху середовища, вона визначається, в основному, турбулентними ефектами, оскільки в нашому випадку, турбулентний механізм переносу тепла набагато перевищує молекулярний.

#### Список використаних джерел

3. Огурцов А.П., Самохвалов С.С. Математичне моделювання теплофізичних процесів у багатофазних середовищах. – К.: Наукова думка. – 2001. – 412 с.
4. Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. – Москва: Энергоатомиздат. – 1986. – 208 с.

**Dr. Sci. Togobitska D., Ph.D. Belkova A., Ph.D. Kuksa O.**

*Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov NASU*

### **CRITERIA AND MODELS FOR EVALUATING THE THERMODYNAMIC STATE OF THE "PIG IRON-SLAG" SYSTEM**

Improvement of the analytical description of the interaction processes between metallurgical melts based on reliable predictive models is one of the most important

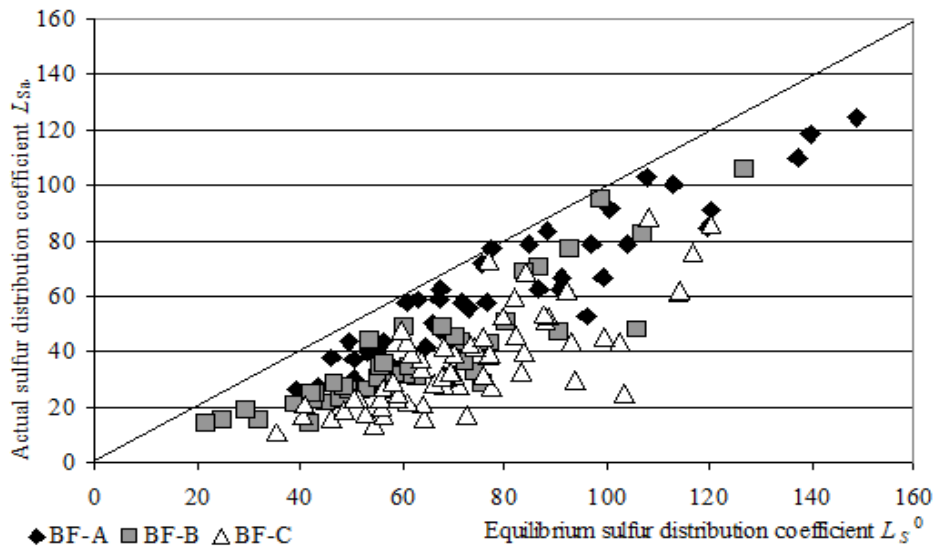
stages in the directed formation of the composition of smelting products with the required properties.

A new approach has been developed for evaluating the interaction processes in the "pig iron-slag" system, which includes a complex of physical and chemical criteria and models using parameters of interatomic interaction in melts [1]. Such an approach allows for describing relationships between the composition and properties of compounds on a unified methodological basis, using integral indicators that characterize the chemical and structural state of the system.

As a result of computational-analytical studies on the compositions of pig iron and slag, criteria have been developed for assessing the degree of achievement and deviation from equilibrium in the sulfur system of the "metal-slag" system. Using data from Kulikov I. [1] on the study of the "pig iron-slag" system during its achievement of sulfur equilibrium, a dependence of the equilibrium sulfur distribution coefficient on the parameters of the metallic ( $Z^Y$ ) and slag ( $\Delta e$  and  $\rho$ ) systems has been established.

$$\lg L_S^0 = 9,03 \cdot Z^Y + 18,53 \cdot \rho - 0,096 \cdot \Delta e - 24,27 \quad R=0.93 \quad (1)$$

This dependence allows for an assessment of the degree of approximation of the "pig iron-slag" system to sulfur equilibrium under real conditions of blast furnace smelting by comparing the actual sulfur distribution coefficient  $L_S$  to the equilibrium value  $L_S^0$ :  $E_S = L_S / L_S^0 \cdot 10\%$ . The Figure 1 shows data on the operation of three furnaces under modern conditions with different fuel and energy additives. In particular, BF-A operated with natural gas injection, BF-B used both natural gas and pulverized coal fuel, and BF-C only used pulverized coal injection. From the presented data, it follows that under real smelting conditions, the sulfur distribution is lower than the equilibrium value. The best degree of sulfur equilibrium attainment is observed for BF-A, whose average  $E_S$  value is 74%, while for BF-B and BF-C, these values are 62% and 53%, respectively.



**Fig. 1. Assessment of the degree of achieving sulfur equilibrium in modern conditions of blast furnace operation with various fuel and energy additives: BF-A with natural gas injection, BF-B with natural gas and pulverized coal fuel, BF-C with pulverized coal fuel**

For the conditions of operation of BF-B, dependencies of the indicators of the blast furnace process on the integral parameters  $Z^Y$ ,  $\Delta e$  and  $\rho$  were established (Table 1), as well as taking into account the parameter of "recharge" of the element (sulfur, silicon)  $\Delta Z_{el}$ . This parameter  $\Delta Z_{el}$  characterizes the change in the charge state of the element during the transition from one phase to another. The parameter  $\Delta Z_{el}$  is determined by the difference in the charges of the element in the metal  $[Z_M^{el}]$  and slag  $(Z_{Sl}^{el})$ :  $\Delta Z_{el} = [Z_M^{el}] - (Z_{Sl}^{el})$ .

**Table 1. Influence of the "recharging" parameter on the distribution of elements in the «metal-slag» system**

Indicator	Value of the correlation coefficient R of the predictive equation:	
	Indicator = $f(Z^Y, \Delta e, \rho)$	Indicator = $f(Z^Y, \Delta e, \rho, \Delta Z_{el})$
Sulphur content in pig iron, % [S]	0,88	0,92
Silicon content in pig iron, % [Si]	0,75	0,9
Sulphur distribution coefficient $L_S$	0,83	0,86
Silicon distribution coefficient $L_{Si}$	0,71	0,86

For the calculation of the sulfur content in pig iron, the equation takes the form (R is the coefficient of correlation between the variables):

$$[S] = 1,83 - 0,94 \cdot Z^Y + 0,01 \cdot \Delta e - 0,68 \cdot \rho \quad R = 0,88 \quad (2)$$

Including the recharge parameter  $\Delta Z_S$ :

$$[S] = 0,54 - 0,47 \cdot Z^Y + 0,01 \cdot \Delta e - 0,33 \cdot \rho - 0,21 \cdot \Delta Z_S \quad R = 0,92 \quad (3)$$

The influence of the parameter  $\Delta Z_{el}$  is higher the further the system deviates from equilibrium: the table shows that for silicon, the system is further from equilibrium than for sulfur, since the introduction of the parameter  $\Delta Z_{Si}$  into the model  $L_{Si} = f(Z^Y, \Delta e, \rho)$  increases the value of the correlation coefficient R from 0,71 to 0,86. In the case of the sulfur distribution coefficient  $L_S$ , the influence of the parameter  $\Delta Z_S$  is amplified for the "bad" production data with a low value of  $E_S < 50\%$ : the correlation value R of  $L_S = f(\Delta Z_S)$  significantly increases (R = 0,72).

Based on the analysis of production data on the compositions of pig iron and slag, a regularity of their consistent formation has been established, which confirms a significant relationship between the chemical equivalent of the metal composition  $Z^Y$  and the slag  $\Delta e$ . The analytical dependence in the form of  $Z^Y = f(\Delta e, \rho)$  characterizes the condition of consistent formation of melts during the production of pig iron. The inconsistency of the "metal-slag" system, namely the absence of a connection between the parameters of pig iron and slag, indicates a violation of the thermal regime of smelting, a discrepancy of the blowing mode with fuel and raw material conditions, a decrease in the consistency of all processes in the blast furnace that determine the thermal balance of smelting.

The identified regularities, relationships and criteria can be implemented in process control systems for evaluating the thermodynamic state of the "metal-slag" system and its deviation from equilibrium when solving problems of controlling the slag regime to obtain pig iron of the required quality.

### References

1. Togobitska D.M. Data bank "Metallurgy" - the informational basis for predicting the power of physical and chemical systems and melting / D.M. Togobitska, D.O. Stepanenko, A.I. Belkova, O.P. Petrov, Yu.M. Likhachov // Modern problems of metallurgy. Science news. № 24, 2021. -P. 140-148. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.2021.01.14>

Д. техн. н. Тогобицька Д.М., к. техн. н. Поворотня І.Р.,

м.н.с. Ходотова Н.Є.

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

**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ ТА ДОБАВОК –  
КЛЮЧОВИЙ АСПЕКТ ОЦІНКИ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ У СИСТЕМІ  
«МЕТАЛ-ШЛАК»**

Розробка нових спеціальних сталей і сплавів, впровадження оригінальних та вдосконалення існуючих технологій виробництва й обробки, що ґрунтуються на поєднанні фундаментальних досліджень, як фізико-хімічних процесів, так і найбільш важливих аспектів різних технологічних питань являються однією з головних та актуальних задач чорної металургії. На жаль, дуже багато з них ще не вирішено належним чином, зокрема гостро стоїть раціональне використання легуючих, рафінуючих, шлакоутворюючих добавок при позапічній обробці напівпродукту у зв'язку з невпинно зростаючими потребами споживачів металопродукції. Саме ці аспекти дозволяє детальніше дослідити електронна обробка інформації за рахунок розвитку методів математичного моделювання, розробки адекватних прогнозних моделей визначення властивостей металевих розплавів та відкрити шляхи й рекомендації щодо одержання якісного, конкурентоздатного кінцевого металопродукту.

Особливе практичне значення має одержання оперативної та достовірної інформації про фізико-хімічні властивості розплавів через системи АСУТП та АСНД у яких закладені адекватні прогнозні моделі, що підвищує можливість отримання більш якісного металу та зменшення браку за рахунок приймання оперативних управляючих технологічних рішень. В ІЧМ НАНУ створено унікальний інформаційний продукт – бази даних «Метал», «Шлак», «Феросплави», що входять до банку даних «Металургія», адже в них сконцентрований досвід багатьох поколінь провідних фахівців і їх досліджень. Інформаційна потужність таких баз даних дозволяє оперативно генерувати моделі зі зменшенням їх розмірності та забезпеченням відповідної стійкості при зміні вхідних даних. Значимість баз даних є беззаперечною та у поєднанні з відповідними положеннями концепції спрямованого хімічного зв'язку дозволяє описати особливості формування нерозривного ланцюгу «склад – технологія –

структура – властивості». Ефективним важелем для спрямованого формування необхідних властивостей та структурно-фазових складових сплаву є знання співвідношень властивостей металевого розплаву та добавки, що у нього вводиться. Хімічна індивідуальність системи, реакційна здатність, структурний стан розплавів виражаються за допомогою методу кодування хімічного складу дослідного розплаву в інтегральних параметрах міжатомної взаємодії:  $Z^Y$  – параметр зарядового стану системи,  $e$ ;  $d$  – середньостатистична між’ядерна відстань,  $10^{-1}\text{нм}$ ;  $\text{tg}\alpha$  – константа для кожного елемента, яка характеризує градієнт зміни радіусу іона при зміні його заряду;  $\rho_l$  – спрямована зарядова щільність,  $e/\text{нм}$ .

Аналіз взаємозв’язків параметрів міжатомної взаємодії з температурами плавлення та кристалізації, як лімітуючих ланок повноти протікання термодинамічних реакцій та процесів гомогенізації розплаву (руйнування кластерних мікрообластей) дозволив встановити найбільш інформативні параметри для залізобуглецевих сталей широкого сортаменту (рельсові, конструкційні, інструментальні) та сформувані структуру моделей:  $T_L = 10^3 \times (2,994 + 0,176 Z^Y - 0,476\rho_l)$  та  $T_S = 10^3 \times (6,359 + 0,566 Z^Y - 1,571\rho_l)$  з точністю прогнозу  $R^2 = 0,935$  та  $R^2 = 0,930$ . Експертна оцінка розроблених аналітичних виразів проводилась на вітчизняних промислових даних сталей марок: SAE1006;1535; 40XM2; CQ2FM; Gr06m96M; S480WM; M-4M; C45M2; C72D2M, що підтвердило їх стійкість та працездатність. Для зазначених марок сталей використовували ряд добавок, а саме FeMn, FeSi, FeSiMn, FeCa, FeB, SiCa з метою доведення за хімічних складом на установці «ківш-піч». Опираючись на наявну інформацію щодо використовуваних добавок були обрані феросплави та сформовані репрезентативні вибірки даних, з метою прогнозування їх властивостей задля визначення ефективності їх застосування. На основі результатів проведеного кореляційно – регресійного аналізу для прогнозування властивостей ( $T_{\text{пл}}$ , °K – температура плавлення;  $D \times 10^3$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$  – густина;  $C_{\text{тв}}$ , Дж/кгK – теплоємність;  $\lambda$ , Вт/  $\text{м} \times \text{K}$  – теплопровідність;  $Q$ , КДж/кг – теплота плавлення;  $\rho$ , мОм $\times$ м – питомий електроопір;  $\sigma$ , МПа – тимчасовий опір) об’єднаної вибірки даних, що представляє собою марганець металевий,

феромарганець, феросилікомарганець та експериментальні значення розроблені моделі наступної структури: властивість =  $f(Z^Y, d, \rho_l, \text{tg}\alpha, \Delta Z^Y, \Delta d)$ , які визначаються високим рівнем точності ( $R^2 \geq 0,9$ ). Як слідує з фрагменту представленого на рис.1 залежності температури плавлення та питомого електроопору феросплавів носять нелінійний характер. На рис.1б утворюються три області в залежності від параметру  $\text{tg } \alpha$  – градієнту зміни радіусу іона від його заряду. Для цих областей проведено розрахунок  $t$  - критерію Стьюдента, який дозволив встановити значимість вмісту вуглецю на розшарування, а також параметрів  $Zc^{\wedge}Mn$ ,  $\rho_l^{\wedge}Mn$ , що відображають роль зміни вмісту провідного елементу матриці феросплавів на формування теплофізичних властивостей розплавів.

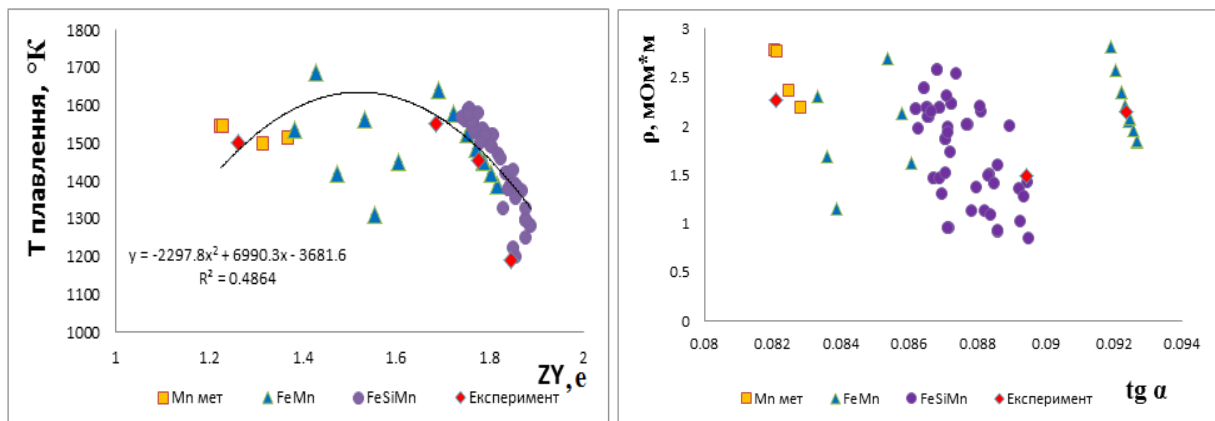


Рис. 1. Залежності температури плавлення та питомого електроопору від параметрів міжатомної взаємодії

Таким чином, сформовано комплекс аналітичних моделей для прогнозування фізико-хімічних, теплофізичних властивостей розплавів сталей та феросплавів, які рекомендуються для інтеграції в АСУТП сталеплавильного виробництва з метою подальшого формування конкурентоздатного кінцевого продукту.

**Магістрант Хромченков М.П., к.техн.н. Красніков К.С.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ РОЗПЛАВУ В СТАЛЕРОЗЛИВНОМУ КОВШІ**

Як відомо, сталь є одним із найважливіших матеріалів у сучасному світі, що використовується в різних галузях промисловості та будівництва. Виробництво сталі починається з нагрівання металевого розплаву в сталерозливних ковшах – обладнання, що використовується в сталеплавильній промисловості для виробництва різних видів сталі. У цьому процесі ківш відіграє ключову роль, оскільки саме в ньому відбувається нагрівання металевого розплаву. Пошук раціональних технологічних компоновальних схем, що забезпечують економне використання матеріальних і енергетичних ресурсів під час виготовлення високоякісної металопродукції є актуальним науково-технічним завданням, яке стоїть перед інженерним персоналом сталеплавильних і високоякісної конкурентоспроможної металопродукції.

**Постановка проблеми.** Недостатня ефективність процесу нагрівання розплаву в сталерозливному ковші, що може призвести до недостатньо швидкого або нерівномірного нагрівання розплаву, перегріву розплаву, що може призвести до дефектів сталі, затримки у виробничому процесі та неправильної якості виробленої сталі.

**Постановка задачі.** Для запобігання цим проблемам важливо стежити за швидкістю і рівномірністю нагріву розплаву, правильно задавати параметри і контролювати їх співвідношення. Для цього необхідно розробити оптимальний процес нагрівання розплаву в сталерозливному ківші, який забезпечить рівномірний розподіл температури в ківші, прискорить виробничий процес і підвищить якість виробленої сталі. Для цього необхідно проаналізувати поточний процес нагріву, визначити оптимальні параметри нагріву, підібрати необхідний ківш за розміром які показані в таблиці 1.1[1]та розробити відповідні технологічні рішення. Після цього необхідно провести тестування

розробленого програмного додатку та проаналізувати отримані результати для подальшого вдосконалення процесу. До параметрів, які оптимізуються для процесу нагрівання розплаву, можна віднести: розмір ковша, швидкість нагріву розплаву (залежить від типу матеріалу, його маси та обсягу), температура розплаву (оптимальна температура сталевого розплаву близько 1650 °С[2]), швидкість подачі енергії тощо.

Таблиця 1. Основні розміри сталерозливного ковша

Ємність ковша, т	Основні розміри ковша, мм			Маса, т	
	Висота	Діаметр		Футерування	Завантаженого ковша
		Зверху	Знизу		
50	2800	2620	2340	9,7	80,0
100	3450	3400	2950	18,0	140,0
250	4350	4200	3570	35,8	320,0
480	5660	5340	4615	62,3	630,0

Для теплофізичного прогнозування теплового стану рідкого металу в ківші використовувався метод математичного моделювання. Під час розрахунків враховували конструктивні особливості сталерозливного ковша (геометричні параметри) та характеристики низьковуглецевої сталі(температура плавлення).

В основі математичної моделі лежить рівняння теплопровідності [3]:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{c_p} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\mu}{c_p} (u^4 - v^4), \quad (1)$$

де  $\frac{\partial u}{\partial t}$  – швидкість зміни температури розплаву з плином часу;

$k$  – коефіцієнт теплопровідності розплаву;

$c_p$  – питома теплоємність розплаву;

$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$  – розсіювання температури розплаву по координаті  $x$ ;

$\mu$  – коефіцієнт тепловіддачі, який характеризує кількість тепла, що випромінюється з одиниці поверхні матеріалу за одиницю часу, і залежить від температури доквілля, коефіцієнту чорноти кожуха ковша;

$u^4$  – четвертий ступінь функції температури розплаву;

$v^4$  – четвертий ступінь функції температури навколишнього середовища.

У формулі 1 віднімаючи  $u^4$  від  $v^4$  враховується теплопередача від розплаву і кожуха ковша до охолоджувального середовища через випромінювання. Це відбувається через те, що розплав і навколишнє середовище обмінюються теплом, поки температури не вирівнюються. При цьому, чим більша різниця в температурі між розплавом і охолоджувальним середовищем, тим більше тепла передається через випромінювання.

Програмний додаток був розроблений на мові програмування C# з розширенням WinForms платформи .NET Framework на основі математичної моделі, де користувач вводить з клавіатури параметри для процесу нагрівання розплаву, обирає із запропонованих варіантів ківш та сталь. Після цього користувач може подивитися результат роботи програми на графіках та проаналізувати, як певні параметри та ківш впливають на ту чи іншу сталь, та скільки часу й енергії знадобиться для процесу нагрівання розплаву. Після введення різних параметрів та обирання ківшів для однієї сталі можна проаналізувати та знайти оптимальні значення.

**Висновок.** У даній роботі описується математична модель, яка дозволяє розв'язати задачу визначення температури та швидкості процесу плавлення розплавів сталерозливному ківші в реальному технологічному процесі. Розроблено програмний додаток для користування, дослідження та пошуку оптимальних параметрів, ківшів для певної сталі (розплаву).

#### Список використаних джерел

1. Конструкція сталерозливного ковша. *українська асоціація сталеплавників*. url: <http://uas.su/books/metstali/171/razdel171.php> (дата звернення: 19.04.2023).
2. Термічне різання. *енциклопедія з машинобудування ххl*. url: <https://mash-xxl.info/info/87567/> (дата звернення: 19.04.2023).
3. Рівняння тепла. wikipedia. url: [en.wikipedia.org/wiki/heat\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/heat_equation) (дата звернення: 21.04.2023).

**К. фіз.-мат.н. Худа Ж.В., здобувач Балясний О.М.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Завдання точного прогнозування споживання електроенергії набуває дуже важливого значення для вирішення проблем, пов'язаних з плануванням роботи енергосистем, розподілом потужностей, оперативним управлінням енергетичною галуззю. Похибки прогнозування неодмінно призводять до необґрунтованих витрат.

В даному дослідженні розглядається задача погодинного прогнозування споживання електроенергії за допомогою рекурентної нейронної мережі. У якості вхідних даних маємо часовий ряд споживання електроенергії за певний період. Потрібно спрогнозувати споживання електроенергії на одну, п'ять та десять годин вперед. Оцінити отримані результати, обчисливши середньоквадратичну похибку прогнозу.

Розглянуто послідовність спостережень часового ряду  $y_0, y_1, \dots, y_t$  для прогнозування наступних значень цього ряду  $y_{t+1}, y_{t+2}, \dots, y_{t+K}$  з абсолютною похибкою меншою за певне значення  $\varepsilon$  :

$$|\tilde{y}_{t+i} - y_{t+i}| < \varepsilon, \quad i = \overline{1, K}. \quad (1)$$

При багатокроковому прогнозі, слід взяти до уваги, що для хаотичного часового ряду, прогноз може бути виконаним належним чином до певної межі (горизонт прогнозу).

Динаміка моделі описується наступним чином:

$$p(t) = f(w_1 x(t) + w_2 p(t-1)), \quad (2)$$

$$y(t) = f(w_3 p(t)), \quad (3)$$

де  $x(t)$  – вектор вхідних сигналів розмірністю  $m$ ,  $p(t)$  – вектор вихідних сигналів прихованого шару розмірністю  $q$ ,  $f(\bullet)$  – нелінійна функція, яка характеризує прихований шар,  $w_1$  – матриця синаптичних ваг, які поєднують прихований шар

та вхідний,  $w_2$  – матриця синаптичних ваг, які поєднують прихований шар та контекст,  $w_3$  – матриця синаптичних ваг, які поєднують вихідний шар та прихований,  $y(t)$  – вихідний сигнал мережі.

Мережа має рекурентні зв'язки прихованих нейронів із шаром контексту. Ці контекстні елементи зберігають виходи прихованих нейронів на один крок в часі, після чого передають їх на вихідний шар. Таким чином нейрони запам'ятовують свої попередні дії. Приховані нейрони також передають інформацію вихідним нейронам, які формують реакцію мережі на зовнішнє збурення. У момент часу  $t$  вхідні нейрони отримують перший вхід послідовності. Вхідні нейрони та контекст активують приховані нейрони, а вони в свою чергу активують вихідний шар. Приховані нейрони також посилають сигнали до контексту. Під час наступного  $t + 1$  кроку послідовність повторюється. На цей раз контекст містить значення прихованого шару в момент  $t$ . Ці контекстні блоки, таким чином, можуть забезпечити мережу пам'яттю. Для навчання мережі використовуємо алгоритм зворотного поширення похибки. В результаті генерується набір вихідних сигналів, який і є фактичною реакцією мережі на даний вхідний образ. Під час прямого ходу усі синаптичні ваги мережі фіксовані. Під час зворотного проходу всі синаптичні ваги налаштовуються відповідно до правила корекції помилок, а саме: фактичний вихід мережі віднімається з бажаного відгуку, в результаті чого формується сигнал помилки. Цей сигнал поширюється мережею в зворотному напрямку синаптичних зв'язків. Проходження за всіма векторами навчальної вибірки зі зміною ваг називається епохою навчання.

Здатність мережі функціонувати на основі даних, на яких вона не навчалася, є здатністю до генералізації або узагальнення. Метод перевірки здатності до генералізації - це стратегія навчання. Після завершення кожної епохи фіксуємо ваги та пропускаємо спочатку всю вибірку для навчання, потім для тестування. Для кожної вибірки рахуємо середню помилку по всім векторам. При збільшенні числа епох помилки повинні збігатися одна до іншої.

Мережа вважається навченою, якщо протягом тривалого часу помилки близькі за значенням. Це дає критерій зупинки навчання.

Архітектуру мережі обираємо наступним чином: кількість нейронів на вихідному шарі буде дорівнювати одиниці, а на вхідному шарі та прихованому будемо підбирати кількість нейронів експериментально, оцінюючи для кожного варіанту похибку прогнозування за формулою:

$$MSE = \sum_{i=1}^{n_i} \left( \frac{y_i - d_i}{y_i} \right)^2, \quad (4)$$

де MSE - значення відносної середньоквадратичної похибки,  $y_i$  - вихід мережі на  $i$ -му кроці,  $d_i$  - бажаний відгук мережі.

Алгоритм можна представити у вигляді наступних кроків:

1. Підготовка даних до подання на нейрону мережу.
2. Задаємо кількість нейронів на першому та прихованому шарі.
3. Навчаємо мережу, за наступними етапами.
  - 3.1 Сформувані навчальну вибірку. Розподілити їх на вектори для навчання та тестування випадковим чином.
  - 3.2 Подати на вхід мережі вектор навчаючої вибірки.
  - 3.3 Прямий хід за алгоритмом оберненого поширення похибки.
  - 3.4 Оцінити похибку отриманих результатів.
  - 3.5 Зворотній хід за алгоритмом оберненого поширення похибки.
  - 3.6 Фіксуємо ваги мережі.
  - 3.7 Попускаємо вибірку через мережу, обчислюємо похибку навчання.
  - 3.8 Пропускаємо тестову вибірку через мережу, обчислюємо похибку генералізації.
  - 3.9 Кроки 3.1-3.8 повторюються протягом достатньо великої кількості епох, доки похибки навчання та генералізації не зйдуться з потрібною точністю.
4. Після завершення етапу навчання, випробуємо мережу для прогнозування.
5. За формулою (4) оцінюємо похибку отриманого результату.

На основі побудованого алгоритму проведено проектування програмної системи прогнозування споживання електроенергії.

**Магістрант Шокота М.Ю., к. техн.н.Красніков К.С.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ SEO ОПТИМІЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ УНІВЕРСИТЕТСЬКОГО САЙТУ**

Як відомо, SEO оптимізація є одним з найважливіших процесів у сучасному світі тому, що якщо сайт не буде оптимізованим він буде нижче ніж конкуренти у пошуковій видачі.

**Постановка проблеми.** Недостатня ефективність оптимізації сайту за пошуковими запитами. Це приводить до того що сайт видається лише за запитами, такими, як ДДТУ та інші релевантні цьому запиту. Це приводить до того, що на сайт заходить менше людей, виходячи з цього менше людей знає про існування цього сайту.

**Постановка задачі.** Спочатку необхідно переписати код сайту під користування ним на різних пристроях, таких як смартфони, планшети, десктопи з різними екранами. Після чого необхідно через спеціальні сервіси знайти, за якими пошуковими запитами можна просувати сайт. Органічно вписати ті ключові слова, які будуть релевантні даному сайту у текстах на сторінках сайту. Також необхідно оптимізувати швидкість загрузки сайту шляхом переробки даних на сайті у формати з меншою вагою і без зміни якості файлів.

Було виконано дослідження ключових слів та їх кластеризацію, за допомогою розробленої на мови програмування Python програми.

**Висновок.** У виконаному дослідженні вже досягнуто зменшення об'єму даних мінімум у три рази (на тестовій вибірці у 57 мб вдалося зменшити до 12мб). В подальшій перспективі є, по-перше, створення сайту, який буде зручним для людей, що будуть користуватися ним і це допоможе зробити так аби людина, користуючись сайтом, знайшла усе їй необхідне і не повернулася до пошукової видачі. Слідуючи з чого алгоритми пошукових систем визначають,

що сайт корисний і будуть показувати його вище у пошуковій видачі, ніж сайти конкурентів. По друге я конвертую зображення у формат веб, який буде менше важити і виходячи з цього сайт буде завантажуватись у декілька разів швидше. По третє за допомогою спеціалізованих програм переробляю PDF файли у HTML, тому що цей формат в декілька разів менше важить та мова гіпертекстової розмітки краще для пошукових роботів. В подальшому буде використано спеціальні мета теги такі як Author (для сторінок блогу) та тег Copyright (для усіх інших сторінок). Для того, щоб люди менше переходили у видачу і провели більше часу на сайті, я зроблю перелінковку, яка допоможе людям знайти більше відповідей на свої питання.

#### **Список використаних джерел**

1. Search Engine Land: <https://searchengineland.com/> (дата звернення: 19.04.2023).
2. Ahrefs: <https://ahrefs.com/blog/> (дата звернення: 19.04.2023).
3. SEMrush: <https://www.semrush.com/blog/> (дата звернення: 19.04.2023).

## Секція 3

# АЛГОРИТМИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

**К. техн. н. Бабенко М.В., здобувач Бондарь П.О.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ У СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ

У сучасних умовах діяльність будь-якої організації пов'язана з оперуванням великим обсягом інформації, доступ до якої має широке коло осіб. Наслідком цього стали високі вимоги до конфіденційності, цілісності та доступності даних. У таких умовах зловмисні або просто некомпетентні дії всього лише одного зі співробітників організації здатні завдати непоправної шкоди організації в цілому.

Системи управління базами даних (СУБД) стали домінуючим інструментом у сфері зберігання, обробки та подання даних. Будь-який збій у роботі СУБД, що супроводжується втратою, хоч і тимчасовою, доступу до даних, негайно позначається на конкурентній спроможності підприємства. Тому захист даних від несанкціонованого доступу, від несанкціонованої модифікації або просто від їхньої руйнації є одним із пріоритетних завдань під час проектування будь-якої інформаційної системи. Ця проблема (проблема захисту даних) охоплює як фізичний захист даних і системних програм, так і захист від несанкціонованого доступу до даних, переданих лініями зв'язку, і тих, що знаходяться на накопичувачах, що є результатом діяльності як сторонніх осіб, так і спеціальних програм-вірусів. Якщо взяти до уваги, що ядром інформаційної системи є СУБД, то забезпечення інформаційної безпеки останньої набуває вирішального значення при виборі конкретних засобів забезпечення необхідного рівня безпеки організації в цілому.

Проблему захисту даних у СУБД, як і в будь-якій іншій інформаційній системі, може бути розкладено на три завдання щодо забезпечення:

- конфіденційності даних;
- цілісності даних;
- доступності даних.

У сучасних БД доволі успішно розв'язуються завдання захисту конфіденційних даних від несанкціонованого доступу, забезпечення цілісності та доступності даних. Забезпечення доступності даних на фізичному рівні досягається шляхом використання відмовостійких пристроїв зберігання даних, наприклад, кількох жорстких дисків, об'єднаних у масив RAID. Періодичне створення резервних копій і зберігання результатів усіх операцій у файлі журналу дає змогу відновити дані практично після будь-якого збою. Цілісність даних забезпечується досить широким набором процедур, що забезпечує достовірність і несуперечливість даних. Сучасні СУБД забезпечують логічну цілісність і несуперечливість даних уже на етапі опису моделі даних. Оператори контролю доступу входять до стандарту мови запитів SQL і реалізовані в багатьох СУБД. Але все ж таки, незважаючи на широкий діапазон засобів контролю та захисту, загальний рівень захищеності та СУБД можна підвищити, використовуючи криптографічні засоби захисту інформації.

Найпростіший варіант полягає в тому, що необхідно зробити так, щоб інформацію не можливо було прочитати. У будь-якому разі інформацію потрібно буде зберігати в базі даних, однак ніщо не заважає зашифрувати її.

Будь-яка сучасна СУБД має набір вельми надійних механізмів шифрування. Наприклад, у MySQL можна відразу нарахувати декілька функцій криптографії: AES\_ENCRYPT(), DES\_ENCRYPT(), COMPRESS(), ENCODE(), ENCRYPT(), MD5(), SHA(), SHA1().

Щоб їх використовувати, достатньо трохи змінити SQL-запити, додавши в потрібних місцях ці функції. А якщо їх використовувати кілька разів у

довільній послідовності, то отримаємо ще більш високий рівень захищеності даних.

Наприклад:

```
INSERT INTO data VALUES (7, DES_ENCRYPT(AES_ENCRYPT('text', 'password'), 'password2'));
```

Таким чином можливо підвищити рівень захищеності інформації у сучасних системах управління базами даних.

**Бажан С.М.**

*Дніпровський державний технічний університет*

### **ПРО УТОЧНЕННЯ АЛГОРИТМУ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ**

В роботі представлено модифікацію алгоритму складання розкладу занять закладу освіти, що базується на алгоритмі пошуку оптимального розв'язку транспортної задачі спеціального вигляду [1].

Реалізовано алгоритм у вигляді програмного модуля [2] з використанням алгоритмічної мови C# у програмному середовищі Microsoft Visual Studio [3], про яку описано в роботі [4].

Даний алгоритм формування розкладу розглядався при умові, що тижнева кількість годин для навчальних дисциплін є парною. Непарна кількість годин для навчальної дисципліни призводить до задачі формування розкладу з «чисельником та знаменником». Тобто деякі дисципліни будуть чергуватись між собою на парному та непарному тижні навчання.

При розгляді цієї задачі враховується, що загальне тижневе навантаження групи складає парну кількість годин, що відповідає плану навчання для академічної групи. Тобто, якщо  $\sum_{j=1}^N l_j^q$  – тижневе навантаження (кількість пар) групи  $G_q$ , тоді повинна виконуватись умова

$$\sum_{j=1}^N l_j^q = 2k, \text{ де } k - \text{довільне натуральне.}$$

Необхідно провести аналіз тижневого навантаження академічної групи.

$l_j^q$  – тижневе навантаження (кількість пар) викладача  $T_j$  в групі  $G_q$ , тоді виконується умова  $l_j^q = 2k + 1$ , де  $k$  — довільне натуральне.

Забезпечення виконання умови парної кількості годин тижневого навантаження академічної групи, означає що отримано парну кількість дисциплін з непарною кількістю годин. Алгоритм та модель складання розкладу занять освітнього процесу запропонований в роботах [1-3] потребує деякої модернізації.

В цьому випадку необхідно розширити множину вагових коефіцієнтів:

$$w_{jk}^q = \begin{cases} 1 & \text{можна поставити пару} \\ 2 & \text{не рекомендовано ставити пару} \\ 3 & \text{не бажано ставити пару} \\ 4 & \text{пара вже зайнята в розкладі} \\ 5 & \text{заборона на пару} \\ 6 & \text{пара зайнята по чисельнику} \\ 7 & \text{пара зайнята по знаменнику} \end{cases}$$

Оскільки дана задача розв’язується як транспортна задача спеціального вигляду, то при складанні розкладу для такої академічної групи буде створено дві матриці розкладу, основна для розміщення парної кількості годин, та додаткова, де будуть дубльовані вже розподілені навчальні заняття, і відповідно буде виконане розміщення навчальних занять з непарною кількістю годин. Фактично розклад буде створено на два навчальні тижні. Під час створення матриця розкладу академічної групи відбувається аналіз вагових векторів викладачів та вагової матриці. Варіант розкладу вважається прийнятним, якщо непарні години закривають разом одне заняття в розкладі, якщо такий варіант не можливий відповідно відбувається позначення в ваговій матриці.

Отже, алгоритм створення розкладу закладу освіти з використанням поняття «чисельник та знаменник» є універсальним для довільного навчального плану.

#### Список використаних джерел

1. Бажан С.М, Олійник Л.О. (2022). Про алгоритм пошуку оптимального плану для транспортної задачі спеціального вигляду// *Грааль науки*, (11), 230-232. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.24.12.2021.039>

2. Бажан С.М., Олійник Л.О. (2022) **Науково-практичний письмовий твір «Алгоритмічна модель складання розкладу закладу освіти» (Патент України № 112501)**. Національний орган інтелектуальної власності державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності» (УКРПАТЕНТ)

3. Бажан С.М., Олійник Л.О. (2022) **Комп'ютерна програма «Генератор розкладу» (Патент України № 111963)**. Національний орган інтелектуальної власності державне підприємство «Український інститут інтелектуальної власності» (УКРПАТЕНТ)

4. Бажан С.М., Олійник Л.О. **Про комп'ютерну програму складання розкладу**// Матеріали Міжнародної наукової конференції «Математичні проблеми технічної механіки – 2023». Київ, Дніпро, Кам'янське, Україна. 12-14с.,

**Здобувач Колтовсков М.М., д. техн. н. Дранишников Л.В.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **КОРИГУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ДРОНАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

Одним із ключових аспектів використання безпілотних літальних апаратів є здатність організувати їхню колективну взаємодію для виконання складних завдань.

У роботі розглядається керування роєм безпілотних літальних апаратів за допомогою нейромереж. Однією з основних переваг використання нейромереж управління роєм є можливість створення інтелектуальних алгоритмів, які можуть адаптуватися до умов, що змінюються, і доповнюватися новими навчальними даними. Управління роєм безпілотних літальних апаратів складно чи майже неможливо описувати за допомогою класичних систем управління, тому застосування нейронних мереж дозволяє ефективно вирішувати подібні завдання. Врешті решт це дозволить створити гнучку й ефективну систему управління, здатну автоматично адаптуватися до умов, що змінюються.

Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

- вивчення існуючих методів управління роєм безпілотних літальних апаратів;
- розробка нейромережного алгоритму управління роєм;

– реалізація та тестування розробленого алгоритму на симуляторі роєвих польотів.

Очікується, що результати цієї роботи будуть потрібні в різних галузях, де використовується безпілотна авіація, і що це призведе до покращення ефективності та безпеки роботи безпілотних літальних апаратів.

Зазначимо, що цей підхід має свої недоліки. Насамперед, потрібна велика кількість навчальних даних для правильного настроювання нейронної мережі та створення повністю автономної системи управління. Також для навчання нейромережі, як правило, потрібне високопродуктивне обладнання, яке може дорого коштувати. Крім того, при використанні нейромережного підходу існує ризик виникнення так званих побічних ефектів (наприклад, втрати контролю над роєм при відхиленнях від заданих параметрів). Ця обставина вимагає від розробників особливої відповідальності за проектування системи управління на основі нейромереж. Незважаючи на ці складності, нейромережний підхід до управління роєм безпілотних літальних апаратів є ефективним і перспективним рішенням для різних завдань та приведе до реалізації нових технологій у сфері безпілотної авіації.

Приклади застосування нейромережного підходу до управління роєм безпілотних літальних апаратів можна побачити у різних іграх, фільмах тощо. Хоча нейромережні підходи до управління роєм безпілотних літальних апаратів мають ряд переваг, але також є й деякі недоліки:

1. Складність налаштування: налаштування нейромережних моделей може бути досить складним і потребує певних знань та навичок. Створення ефективної моделі, яка буде правильно працювати з різними типами даних та умовами, може зайняти значну кількість часу та ресурсів.

2. Невизначеність: нейронні мережі працюють на основі навчання та можуть видавати непередбачувані результати у разі, якщо ресурси для навчання були недостатніми. Крім того, можливі помилки в роботі мережі, які можуть призвести до несподіваних наслідків.

3. Необхідність обробки великих обсягів даних: для ефективної роботи нейромереж необхідно мати великі обсяги даних, які можуть знадобитися для створення моделі. Це призводить до необхідності використання додаткових ресурсів, таких, як багато процесорів або графічних прискорювачів.

4. Непрозорість роботи: через складну структуру та методологію роботи нейромереж, їх рішення можуть бути непрозорими і важко інтерпретованими.

Це може ускладнити процес аналізу та діагностики проблем, які можуть виникнути в роботі роєвих систем, що ґрунтуються на нейромережних підходах.

Системи керування роєм можуть бути корисні для різних цілей та додатків, включаючи:

1. Промислові програми: системи управління роєм можуть використовуватися в промисловості для координації безпілотних літальних апаратів при виконанні різних завдань, таких, як моніторинг та інспекція об'єктів, збирання даних та зворотний зв'язок у реальному часі.

2. Наукові дослідження: роєві системи можуть бути використані в наукових дослідженнях, таких, як вивчення поведінки тварин та стану екосистем, а також для оглядів дослідницьких полігонів.

3. Медичні додатки: роєві системи можуть бути використані для доставки медичних препаратів та обладнання у важкодоступні місця, або у надзвичайних ситуаціях.

4. Цивільні програми: роєві системи можуть використовуватися цивільними організаціями та приватними особами для зйомки фільмів або фото, доставки пошти та товарів, охорони та моніторингу транспортних розв'язок.

5. Військові програми: роєві системи можуть використовуватися у військових програмах для виконання різних завдань, включаючи виявлення ворожих об'єктів, моніторинг периметрів, розвідку території, захоплення відеозображень під час бойових дій.

**Dr in Physics and Mathematics Pasichnyk A. \*, PhD Pasichnyk V. \*\***

*\* Dnipro State Technical University*

*\*\* IT company «Luxoft»*

## **ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF DATA ENCRYPTION ALGORITHMS IN INFORMATION SECURITY SYSTEMS**

In today's world, information security plays a critical role in a country's economic development. Consequently, the enhancement and determination of information protection methods are essential. Cryptographic methods represent some of the most effective approaches for data protection in information systems. Therefore, recently there has been a significant increase in the number of works on the problems of cryptology, and cryptanalysis is becoming one of the most actively developing fields of research. This paper analyses mathematical models associated with information protection using various data encryption algorithms, illustrating that different data types warrant the use of different encryption algorithms.

At this stage, the main features of the development of information technologies can be characterized as follows:

- access to certain data allows controlling significant material and financial values, and the value of information increases rapidly.
- continuous growth of volumes and a wide range of computer processing of information, which is no longer limited exclusively to text data.
- the complexity of the nature of information interactions poses new cryptography tasks, such as electronic signature under a document and delivery of an electronic document "for receipt".
- subjects of information processes are now not only people, but also software systems created by them.
- the power of modern computers provides new opportunities both for developers to implement ciphers and for analysts to crack them.

The given conditions contributed to the development of practical cryptography in the following directions:

- developed stable ciphers with secret both symmetric and asymmetric keys, designed to solve the classical problem of ensuring the confidentiality and integrity of transmitted or stored data.

- created methods of solving new, non-traditional problems in the field of information protection, the most famous of which is the problem of signing a digital document and open distribution of keys.

In this paper, an analysis of mathematical models describing the process of information protection using various data encryption algorithms is carried out. It is shown that for different types of data it is advisable to use different crypto algorithms for data encryption. A cryptographic protocol represents a set of rules and procedures that determine the use of a cryptographic algorithm. A cryptosystem is a set of crypto schemes, protocols, and key management procedures, including production and distribution. Thus, the hash function

$$y = F(z, x) + x, \quad (1)$$

where  $F$  is a cryptographic transformation with a known key  $z$ , is considered as an independent cryptographic algorithm and as a protocol using the transformation  $F$ .

Based on the conducted analysis, it is shown that recently, due to the high speed of operation, stream encryption algorithms are the most popular. In accordance with the streaming algorithm, the stream of plaintext bits is encrypted:

$$P = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_i), \quad (2)$$

is converted into ciphertext one bit per operation. A key stream generator (sometimes called a running key generator) outputs a stream of bits:

$$K = (k_1, k_2, k_3, \dots, k_i). \quad (3)$$

As a result of performing the "exclusive or" operation for the stream of plaintext bits (2) and the stream of keys (3), we get a stream of ciphertext bits:

$$c_i = p_i \wedge k_i. \quad (4)$$

A decryption operation to recover the plaintext bits is performed on the ciphertext bits using the generated key stream (3)

$$p_i = c_i \wedge k_i. \quad (5)$$

The security of the system depends entirely on the properties of the key stream generator. The key stream generator creates a bit stream that looks like a random one but is deterministic and can be accurately reproduced during decryption. The closer the output of the keystream generator is to random, the longer it will take to crack the cipher.

All stream ciphers use unique keys. The output of the key stream generator is a key function. The keystream generator consists of three main parts. The internal state describes the current state of the keystream generator. Two keystream generators, with the same key and the same internal state, produce identical keystreams. Therefore, if you receive "plaintext/ciphertext" pairs, it is possible to read only those messages encrypted with the same key. Stream ciphers are particularly effective for encrypting infinite streams of communication traffic, such as a channel connecting two computers.

Note that asynchronous algorithms are widely used in electronic payment systems as a means of implementing an electronic digital signature, when the final result of processing a financial document is encrypted using a hash function using an asymmetric algorithm.

The effectiveness of various modifications of well-known algorithms, such as simple substitution, Vigenère cipher, Playfair cipher, stream encryption algorithm, and self-synchronizing algorithm, was analyzed using a set of developed programs. The research results demonstrate that a comprehensive, multi-layered approach, employing of multi-level algorithms and procedures designed as suitable protocols, is necessary to achieve effective and resilient protection of information systems against unauthorized access.

Recent trends in practical cryptography include the development of robust ciphers with secret symmetric and asymmetric keys, as well as the creation of methods to tackle new, non-traditional problems in the field of information protection. Stream encryption algorithms have become increasingly popular due to their high-speed performance. The security of these systems depends on the properties of the key stream generator, which produces a deterministic bit stream that appears random.

**Перемітько М.В., к. техн. н. Надригайло Т.Ж.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **ПОРІВНЯННЯ НАТИВНОГО ТА КРОСПЛАТФОРМНОГО ПІДХОДІВ У РОЗРОБЦІ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ**

Сьогодні на ринку смартфонів домінують дві основні операційні системи: iOS та Android. За даними Statcounter.com на квітень 2023 року відсоток користувачів смартфонів з використанням операційної системи Android сягає 68.79%, натомість смартфонам на базі iOS віддають перевагу 30.44% користувачів. Інші системи займають значно менш численну нішу.

Відповідно, при створенні програмного продукту, що містить мобільний додаток, необхідно розробляти програмне забезпечення для обох операційних систем, щоб мати максимальне покриття та більшу користувацьку базу.

Існує декілька підходів у розробці мобільних додатків: нативний, кросплатформний та гібридний. Гібридний не зарекомендував себе, як надійне та якісне рішення, тому використовується рідко. Далі мова піде про перші два методи.

Нативна розробка є основним методом, на якому базуються усі інші. Це процес створення програми, ексклюзивної для певної платформи. Тобто, якщо є потреба, щоб додаток був доступний як для iOS, так і для Android, тоді необхідно створювати окремі версії програмного забезпечення для кожної операційної системи. Кожна версія розроблюється за допомогою специфічних інструментів та мов програмування, що визначені виробником операційної системи. Для Android цими інструментами є середовище розробки Android Studio, набір засобів розробки Android SDK та мови Java і Kotlin. В свою чергу, для iOS використовуються XCode, iOS SDK та мови Objective-C та Swift.

Другим методом є кросплатформна розробка. Головна відмінність цього підходу полягає у тому, що розробка ведеться в одній кодовій базі за допомогою одного набору інструментів, але потім наявний код компілюється у

нативний формат для обох платформ. Тобто, результатом розробки так само є дві окремі версії програмного забезпечення, але реалізація тільки одна. Одними з найбільш популярних фреймворків для кросплатформної розробки є React Native, Flutter та Xamarin. React Native – це розробка компанії Facebook, він базується на веб-фреймворку React та мові JavaScript, а також дає можливість створювати окремі модулі за допомогою нативних інструментів. У свою чергу, Flutter є розробкою Google, а основою є мова програмування Dart. Натомість, Xamarin був створений у Microsoft, він базується на платформі .NET та мові C#.

До переваг нативного методу розробки можна віднести швидкодію, нативні мобільні додатки працюють краще та швидше, ніж кросплатформні та інші типи ненативних програм, оскільки вони розроблені з урахуванням вимог до певної платформи та компілюються виключно для певного набору пристроїв і працюють на певній архітектурі.

Варто згадати високу надійність та стабільність у підтримці такого програмного забезпечення. Оскільки Android і iOS розробляються Google і Apple, відповідно, існує високий ступінь довіри та впевненості, що ці технічні гіганти продовжуватимуть підтримувати та вдосконалювати свої мобільні операційні системи. Наприклад, Google і Apple надають розробникам комплекти розробки програмного забезпечення (SDK), елементи інтерфейсу та інші засоби розробки та підтримують їх в актуальному стані.

Нативний метод надає необмежені можливості у використанні обладнання та функцій операційної систем, наприклад його камеру або GPS. Частково це також пов'язано з ексклюзивними API, які iOS і Android надають розробникам.

Головним недоліком такого підходу у розробці мобільних додатків є необхідність створювати дві окремі версії програмного забезпечення, для кожної платформи окремо. Зазвичай, в такому випадку розробка ведеться двома окремими командами спеціалістів, що значно збільшує час та вартість розробки. Відповідно, підтримка та внесення будь-яких змін у реалізацію також відбувається з залученням більшої кількості ресурсів.

Відповідно, кросплатформний підхід вирішує цю проблему, це є і його головною перевагою. Єдина кодова база та реалізація дозволяють значно скоротити терміни розробки та зменшити залучені зусилля. Відповідно, це є більш доцільно з економічної та маркетингової точки зору, бо знижується ТТМ (Time to market). Це дозволяє швидше переконатися у валідності розроблюваного програмного забезпечення, отримати ранні відгуки від користувачів та впровадити корективи за необхідності.

Крім цього, єдина реалізація полегшує досягнення консистентної логіки, поведінки та візуальних характеристик мобільних додатків на обох платформах. Що є особливо корисно для програм, які користувачі використовують на кількох пристроях. Це також дає змогу організаціям відображати узгоджену ідентичність бренду на широкому діапазоні платформ без особливих додаткових зусиль.

До негативних аспектів кросплатформної розробки можна віднести гіршу швидкодію в порівнянні з нативною реалізацією. Ця різниця є непомітною у більшості випадків, але у високонавантажених додатках необхідна сильна оптимізація для досягнення рівня нативного програмного забезпечення.

Також варто зазначити, що підтримка нових функцій операційних імплементується з затримкою. Коли Google або Apple випускають оновлення або представляють нові функції для відповідних операційних систем, кросплатформним фреймворкам потрібен деякий час або додаткові зусилля, щоб впровадити підтримку найновішого функціоналу.

Таким чином, для того, щоб правильно обрати підхід у розробці програмного забезпечення для мобільних пристроїв, необхідно керуватися цільовим функціоналом та метою бізнесу. У більшості випадків кросплатформний підхід є вдалим рішенням, бо дозволяє заощадити ресурси та отримати результат швидше, це особливо корисно під час розробки MVP (Minimum viable product) для валідації ідеї. Але у випадку з додатками, де потенційно буде високе навантаження на центральний та графічний процесори

або будуть залучені специфічні функції операційної системи, необхідно віддати перевагу нативному підходу розробки мобільного програмного забезпечення.

**К. техн. н. Степаненко Д. О., інж. І-ї кат. Черський С. С.**

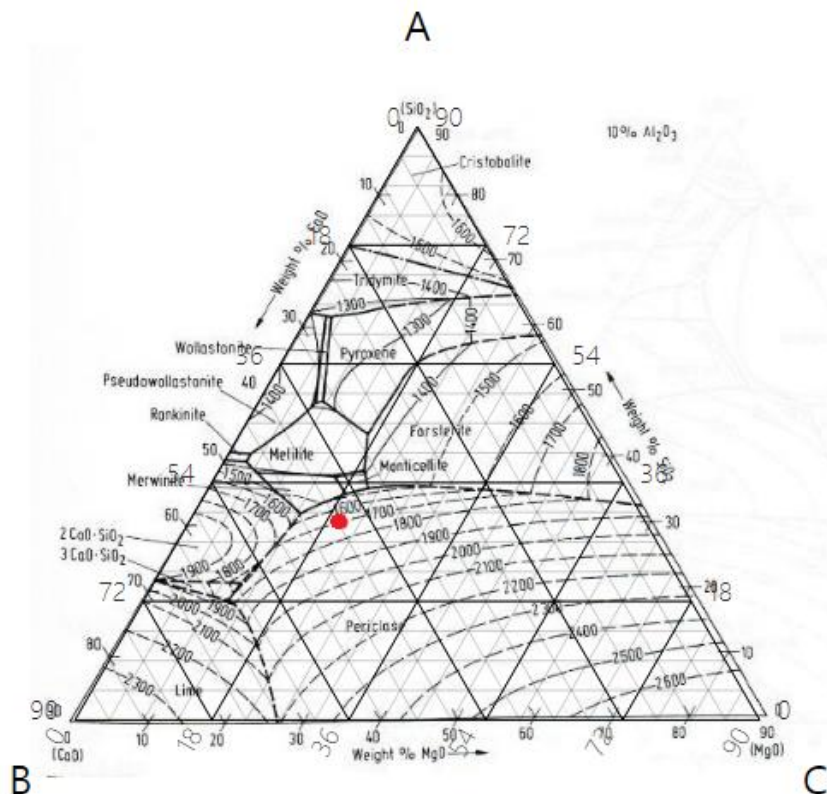
*Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ, м. Дніпро*

## **РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМИ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОТРІЙНИХ ДІАГРАМ ОКСИДНИХ СИСТЕМ**

Металургійні шлаки та шлакоутворюючі суміші (ШУС), які представляють собою оксидні системи, відіграють важливу роль в технологічному процесі виробництва чавуну та сталі, оскільки виконують основні функції: рафінування металу, захист поверхні металевого розплаву від охолодження та окислення, шлакових сумішей для процесу безперервного лиття металу та ін. При вирішенні прикладних завдань, щодо підвищення ефективності процесів виплавки чавуну та сталі, важливим кроком є розробка наукового підходу щодо оптимізації складу шлаків, при цьому обов'язково необхідно враховувати їх високотемпературні властивості (в'язкість, температура плавлення, електропровідність, поверхневий натяг та ін.) і фазовий склад.

На сьогоднішній день фундаментальна та прикладна наука про оксидні системи накопичила велику кількість експериментальних даних про їх фізико-хімічні властивості, що містяться в різних базах даних, зокрема бази даних «Шлак» і «ШУС» [1]. Значну кількість цих даних представлено у вигляді потрійних діаграм для потрійних ( $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2\text{-CaO-CaF}_2$  та ін.) та четверних ( $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO-CaF}_2$  та ін.) оксидних систем [2]. Більшість з цих даних знаходиться у графічному вигляді (рис. 1), що спричиняє труднощі у роботі з таким типом інформації, а саме складність та трудомісткість їх цифрової ідентифікації. У

зв'язку з цим було розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення, яке дозволяє здійснювати цифрову ідентифікацію діаграм, про фазовий стан або властивості, трьох- і чотирьох компонентних діаграм оксидних систем різних за хімічним складом.



**Рис. 1. Потрійна діаграма фазового стану чотирьохкомпонентної оксидної системи CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> з постійним вмістом Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 10%.**

Принцип роботи алгоритмічного та програмного забезпечення полягає у завантаженні відповідної, трьох- або чотирьох компонентної потрійної діаграми і знаходженні у полі діаграми необхідної координати з даними про фазовий склад або певні властивості. При введенні в таблицю програми хімічного складу системи (рис. 2) на полі діаграми відображається відповідна координата (крапка на рис. 1), що відповідає хімічному складу введеної системи.

№	Хімічний склад (% мас.)				T, °C	Назва мінералу
	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
1	30	40	20	10	1700	34. Перикл

*Рис. 2. Таблиця для введення хімічного складу програмного забезпечення для цифрової ідентифікації потрійних діаграм*

В залежності від інформації, яку містить діаграма (фазовий склад або властивості) отримане значення (крапка на полі діаграми рис.1) вноситься в одну з таблиць програми, що має певну форму (рис. 2). При наступному введенні нового хімічного складу, процедура пошуку значення фазового складу або властивостей на діаграмі повторюється. Сформована таблиця з даними (рис. 2) може бути вивантажена у форматі XLS файлу, що дає змогу подальшого аналізу отриманих даних. Алгоритм побудови координати на полі діаграми за даними хімічного складу базується на загально прийнятому методі, що детально описаний у роботі [3].

Завдяки розробленому алгоритмічному та програмному забезпеченню, база «ШУС» була поповнена інформацією про властивості та фазову зміну складу систем різних потрійних та четверних оксидних систем, які є базовими для розробки нових складів ШУС, що забезпечують підвищення ефективність процесів рафінування чавуну та сталі.

#### **Список використаних джерел**

1. Приходько Э. В. Прогнозирование физико-химических свойств оксидных систем / Приходько Э. В., Тогобицкая Д. Н., Хамхотько А.Ф., Степаненко Д.А. – Днепропетровск: Пороги, 2013. 339 с.
2. Slag Atlas. 2nd ed. Düsseldorf: Verlag Stahleisen GmdH, 1995. 616 p.
3. Атлас шлаков. Справ, изд. Пер. с нем. М.: Металлургия, 1985. 208 с.

**Магістрант Ткачук Н., к.техн.н. Волосова Н.М.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **FEDERAL LEARNING ALGORITHMS BASED ON SEARCHING FOR FIXED POINTS BY SIMPLE ITERATION METHOD**

Federated learning is a machine learning technique that allows you to train a model on decentralized devices with local data without sharing this data. Classic machine learning differs from federated learning in the ability to collect data on one device. In classical training, we have access to a device with a full dataset on which to train the model. In federated learning, we only have access to the dataset particles stored locally on the devices. Moreover, these devices cannot transfer data between themselves, so it is not possible to collect the entire dataset on one of them. In general, the problem of the impossibility of collecting all data on one device is very relevant today.

The research examines the main algorithms of federated learning, their types and properties, as well as the search for fixed points using the simple iteration method.

The purpose of the study was to check the effectiveness of modifications of existing federated learning algorithms based on the simple iteration method.

The main tasks of the study were:

- evaluation of the effectiveness of existing federated learning algorithms, which are based on finding fixed points using the simple iteration method;
- development of modifications of existing algorithms and verification of their effectiveness.

Who might be most interested in the benefits of federated machine learning technologies? All companies that use technological solutions based on AI, and above all cloud service providers, as this allows to significantly increase the level of privacy and protection of personal data and reduce future risks of data leakage, thus ensuring compliance with new regulatory requirements in this area. That is why large

industries that depend heavily on these parameters, such as healthcare, financial services and the public sector, are beginning to consider the possibility of adopting these technologies

For example, the Messages app uses secure federated learning technology. It makes quick answers, helpful hints, and other smart features even more useful for you. At the same time, your conversations are not transferred to Google servers, but remain private. Machine learning models in the Messages app form the underlying technology that powers smart and assistive features. These models are constantly being adjusted and improved, while the content of the chats remains confidential. The Notifications app sends reviews of recent model changes to Google's servers. Thousands of such reviews are analyzed from different devices. Based on this data, models are improved and smart features of the app are improved for all users. From such aggregate reviews, no one, not even Google, can learn the content of chats and other user data.

Machine learning models also account for interactions in the Messages app, including with smart features. This is how machine learning makes smart functions even more useful.

#### References

1. <https://www2.deloitte.com/ua/uk/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/tmt-predictions-2022/homomorphic-encryption-federated-learning.html>
2. <https://support.google.com/messages/answer/9327902?hl=uk#zippy>

**Аспірант Шеремет В. С., к. техн. н. Мацуга О. М.**

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

### **ПОШУК ТОЧОК РОЗЛАДНАННЯ В ЧАСОВИХ РЯДАХ НА ОСНОВІ КУСКОВИХ РЕГРЕСІЙ**

Аналіз часових рядів є цінним інструментом для розуміння поведінки складних систем у різних галузях, таких як фінанси, медицина, тощо. Він передбачає вивчення даних, зібраних протягом певного часу, для виявлення закономірностей і тенденцій, дослідження впливу зовнішніх подій та

внутрішніх змін на динаміку системи з метою прогнозування майбутніх результатів і прийняття обґрунтованих рішень.

Однією із важливих задач аналізу часових рядів є задача виявлення точок розладнання, тобто моментів часу, коли відбулися певні зміни в часовому ряді [1]. Ці зміни можуть виникати через низку причин, наприклад, внаслідок внутрішніх змін в тій системі, що породжує часовий ряд, зовнішніх змін у політиці, кліматі, демографії, через природні лиха тощо. Серед найпоширеніших можна виділити наступні типи змін:

- зміна тренду: тренд описує довгострокову тенденцію в часовому ряді, якщо напрямок або нахил цієї тенденції змінюється, кажуть про зміни в тренді;
- зміна рівня: зміна рівня стається, коли відбувається раптове збільшення або зменшення середнього значення часового ряду;
- зміна дисперсії: це зміна варіабельності часового ряду, наприклад збільшення або зменшення рівня волатильності;
- зміна в патерні сезонності: це, наприклад, зміна амплітуди або часу сезонних коливань;
- поява викидів: викидом є спостереження, яке значно відрізняється від інших спостережень у часовому ряді.

Ці зміни можна ще назвати структурними.

Найуживанішими алгоритмами виявлення точок розладнання, тобто моментів часу, коли відбулися зазначені зміни, є [1, 2]:

- алгоритми на основі накопичення кумулятивних сум (CUSUM);
- алгоритм Гіршика-Рубіна-Ширяєва;
- алгоритми, що базуються на тесті відношення правдоподібності;
- тест Петтіта;
- байєсівський підхід до послідовного виявлення розладнань;
- алгоритм бінарної сегментації;
- алгоритми, що базуються на моделі кускової регресії.

В даній роботі увага приділена застосуванню моделей кускової регресії для виявлення точок розладнання. На їх основі можна знаходити моменти зміни тренду та рівня в часовому ряді.

Модель кускової регресії є статистичною моделлю, яка дозволяє апроксимувати складні нестационарні часові ряди шляхом розділення їх на декілька сегментів з різними лінійними або нелінійними функціями на кожному. Точки «стику» сегментів називають вузлами. Ці вузли і є точками розладнання. Модель може бути неперервна у вузлах, або може допускатися наявність розривів. На практиці, як правило, використовують кусково-лінійні регресії. Використання нелінійних функцій на кожному сегменті може дозволити адекватніше описати існуючі залежності і знайти точніші вузли, але з іншого боку це потребує більше обчислювальних ресурсів для підгонки моделі.

Одна з основних проблем моделі кускової регресії полягає у визначенні кількості вузлів. Запропоновано різні підходи до оцінювання місцеположення вузлів моделі (точок «стику» сегментів), але при цьому їх кількість, як правило, припускають відомою [3–5]. Один з підходів до автоматичного визначення кількості вузлів розглянуто в [6]. В даній роботі запропоновано інший підхід, який забезпечує автоматичне визначення кількості вузлів кусково-лінійної регресії. Його ідея полягає у дробленні відсортованої вибірки на сегменти, на кожному з яких порівнюється адекватність лінійної регресії та кусково-лінійної з одним вузлом на основі інформаційного критерію (BIC або AIC).

В роботі також було розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє знаходити точки розладнання у часових рядах на основі кускових регресій. Програмне забезпечення було написано мовою C# на платформі .NET Framework 4.6.1. Воно дозволяє знаходити оцінки параметрів та вузли склеювання таких кускових регресій (для усіх моделей припускається неперервність у вузлах):

– кусково-лінійна регресія з одним вузлом склеювання; для її відновлення запропоновано та реалізовано ефективні алгоритми з лінійною складністю [7];

– 11 кусково-квазілінійних регресій з одним вузлом; їх відновлення базується на переході до кусково-лінійної моделі з одним вузлом та її подальшому відновленні [3];

– кусково-лінійна регресія з довільною кількістю вузлів; її відновлення реалізовано на основі запропонованого алгоритму, який дозволяє автоматично визначати кількість вузлів та їх розташування з використанням ВІС або АІС.

Програмне забезпечення дозволяє оцінювати якість відновлених моделей на основі коефіцієнта детермінації  $R^2$  і візуалізувати результати відновлення. Тестування було виконано на змодельованих часових рядах. Воно засвідчило адекватність роботи програмного забезпечення і можливість його подальшого практичного впровадження.

#### Список використаних джерел

1. Aminikhanghahi S., Cook D. J. A Survey of Methods for Time Series Change Point Detection. *Knowledge and information systems*. Vol. 51, Issue 2. 2017. P. 339–367. DOI: 10.1007/s10115-016-0987-z.
2. Луценко О. П., Байбуз О. Г. Огляд методів пошуку розладнань і перспективи їхнього застосування у технічному аналізі біржових котирувань. *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*: зб. наук. пр. Дніпро, 2012. Т. 16. С. 84-96.
3. Приставка О. П., Байбуз О. Г., Ємел'яненко Т. Г. Методи та алгоритми сплайн-регресійного аналізу. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2012. 144 с.
4. Jekel C., Venter G. pwlf. A Python Library for Fitting 1D Continuous Piecewise Linear Functions. 2019. 15 p. URL: [https://github.com/cjekel/piecewise\\_linear\\_fit\\_py/blob/master/paper/pwlf\\_Jekel\\_Venter\\_v2.pdf](https://github.com/cjekel/piecewise_linear_fit_py/blob/master/paper/pwlf_Jekel_Venter_v2.pdf) (дата звернення: 20.05.2023).
5. Muggeo V. segmented: An R Package to Fit Regression Models with Broken-Line Relations. *R News*. Vol. 8/1. May 2008. P. 20-25.
6. Stadnik V. Segmented Linear Regression. URL: <https://www.codeproject.com/Articles/5282014/Segmented-Linear-Regression> (дата звернення: 20.05.2023).
7. Мацуга О. М., Шеремет В. С. Ефективні алгоритми відновлення кусково-лінійної регресії з одним вузлом. *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*: зб. наук. пр. Дніпро, 2021. Т. 25. С. 119-130.

**К. техн. н. Ялова К.М., аспірант Веремейченко М.О.,**

**к. техн. н. Бабенко М.В., здобувач Решетніков Я.М.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРПОЛЯЦІЙНИХ МЕТОДІВ ПРИ ОБРОБЦІ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ**

Можливостями, що надаються сучасними обчислювальними засобами, зумовлено те, що комп'ютерна графіка є одним з найпопулярніших напрямів комп'ютерних наук, а одна з найбільш популярних сфер комп'ютерної графіки – створення візуальних ефектів та обробка зображень.

На сьогоднішній день, швидкість розвитку програмного забезпечення значно перевищує швидкість розвитку апаратних систем та комплексів. Актуальним завжди було і буде питання підвищення інформативності при обробці складних поверхонь у вигляді цифрових зображень, тому що з ними ми постійно зустрічаємося не лише у повсякденному житті.

Під підвищенням інформативності розуміється зміна масштабів зображення, підвищення його розподільної здатності задля можливості бачити те, що не можна побачити на зображенні низької роздільної здатності. На відміну від фотоплівки, цифрові зображення зберігають інформацію у дискретних одиницях – пікселях. Розподільна здатність – це кількість пікселів, з яких складається растрове зображення. Пікселі визначають наскільки зображення здається нам різким, а їх кількість відповідає за максимальний об'єм інформації, що зберігається у зображенні.

Проблем зазвичай не виникає при зменшенні зображення, так як графічна інформація просто видаляється. Проте для збільшення зображення зі збереженням його деталей необхідно додавати нові пікселі, а їх значення генерувати на основі аналізу їх сусідів.

Масштабування зображень (зменшення або збільшення) є необхідною під час зміни розмірів даних, щоб задовольнити вимоги каналу зв'язку або

вихідного дисплею. В той час як передавати версію з низькою роздільною здатністю до клієнта є більш ефективним, то апроксимація до оригіналу з високою роздільною здатністю може бути необхідною, щоб зобразити її кінцевому користувачу. Тому зміна розмірів візуальних даних зі збереженням пропорцій і якості це важливий крок в багатьох прикладних задачах. Особливо це відноситься до критичних завдань у медичній, оборонній та багатьох інших сферах.

Масштабування растрових зображень часто супроводжується втратою якості. При зміні розмірів растрового зображення виконується одна з таких дій:

- одночасна зміна розмірів усіх пікселів (у більшу чи меншу сторону);

- збільшення або зменшення кількості пікселів у зображенні для відображення змін, що відбуваються в ньому, зване вибіркою пікселів у зображенні.

Вибірка растрового зображення може бути зроблено двома різними способами.

За першим способом просто дублюється або видаляється потрібна кількість пікселів. При цьому в результаті масштабування, як правило, погіршується якість зображення. Наприклад, зі збільшенням розміру зображення зростають його зернистість і дискретність. При зменшенні розміру зображення втрати в якості менш помітні, проте при наступному відновленні зменшеного зображення до колишнього розміру знову зростають зернистість і дискретність. Це пов'язано з тим, що при зменшенні розміру зображення частина пікселів була видалена з оригінального зображення і втрачена безповоротно, а при подальшому відновленні розмірів зображення пікселі, що відсутні, дублювалися з сусідніх.

За другим способом за допомогою певних обчислень можна створити пікселі іншого кольору, що визначається кольорами початкового пікселя та його оточення. Цей метод називається інтерполяцією і є складнішим, ніж просте дублювання. При інтерполяції крім дубльованих пікселів, відбираються

і сусідні з ними, за допомогою яких пікселі, що створюються, отримують від існуючих усереднений колір. В результаті переходи між пікселями стають плавнішими, що дозволяє прибрати або зменшити ефект «пилкоподібного» зображення.

Оскільки колірні координати поточного пікселя зазвичай обчислюються шляхом інтерполяції чотирьох сусідніх, оброблене зображення виходить розмитим. Хоча це прийнятно для повнокольорових зображень, застосування інтерполяції веде до зниження контрастності (різкості на границях), і тому було зроблено кілька спроб вирішення цієї задачі. Результатом стали сучасні алгоритми масштабування піксельної графіки, найбільш вживані приведемо нижче:

- інтерполяція методом найближчого сусіда;
- білінійні та бікубічні алгоритми;
- інтерполяційна формула Віттекера – Шеннона та фільтр Ланцоша;
- box sampling;
- MIP-текстурування;
- методи перетворення Фур'є;
- кутова інтерполяція;
- алгоритм Копфа-Лищински;
- глибинні згорткові нейронні мережі;
- і ще багато інших.

Авторами розроблений застосунок, основою роботи якого стали алгоритми обробки зображень методами, в основі яких лежать базові сплайн-функції першого та третього порядків (лінійний та кубічний сплайн відповідно).

Базовий сплайн, або як його ще називають В-сплайн, є сплайном з мінімальним носієм для фіксованого ступеня сплайна та порядку гладкості. Їхня безумовна користь полягає в тому, що будь-який сплайн заданого ступеня і гладкості можна записати у вигляді лінійної комбінації відповідних базисних сплайнів. Тобто, їх можна використовувати як "цеглинки", за допомогою яких можна побудувати сплайн із заданими властивостями. Власне чим і пояснюється його визначення – базисний сплайн.

## Секція 4

# КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

**К.техн.н. Волосова Н.М., здобувач Жигалева С.П., Ткаченко Е.Е.**

*Дніпровський державний технічний університет*

### **ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДІВ НАВЧАННЯ ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ХІМІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ**

При викладанні вищої та прикладної математики здобувачам вищої освіти нематематичних, а саме хімічних спеціальностей, широко використовують як традиційні, так і нетрадиційні методи навчання. До традиційних методів організації навчальних занять відносять лекції, практичні заняття, самостійну роботу студентів, консультації, контрольні роботи, заліки, іспити. Вище названі традиційні методи викладання є базою для передачі знань студентам. На даний час окрім традиційних методів викладання у вищих навчальних закладах все частіше застосовують нетрадиційні підходи. Вони більше сприяють активізації зацікавлення здобувачів освіти предметом, розвивають їх індивідуальні здібності та ерудицію, а також сприяють кращому розумінню і володінню математичних методів у фаховій галузі. До нетрадиційних методів можна віднести рольові та операційні ігри, заняття однієї комплексної або прикладної задачі фахового спрямування, проведення фахових досліджень математичними методами, експериментів, педагогічного практикуму.

Одними з головних програмних результатів навчання освітньо – професійної програми підготовки бакалаврів зі спеціальностей 101 «Екологія», 161 «Хімічні технології та інженерія», 162 «Біотехнології та біоінженерія» є

- Вміння застосовувати сучасні математичні методи для розв'язування практичних задач, пов'язаних з дослідженням і проектуванням біотехнологічних та хімічних процесів.
- Здатність аналізувати технологічні процеси хімічних виробництв з точки зору фундаментальних, фахових знань на основі відповідних математичних методів з використанням сучасних інформаційних технологій.

Досягненню даних програмних результатів навчання сприяють нестандартні підходи в навчальному процесі. Прикладом застосування нестандартних методів вивчення вищої та прикладної математики є зворотній підхід, коли здобувачі використовують свої знання вищої математики для розв'язання реальних задач фахового спрямування, а також при вивченні математичних дисциплін на практичних заняттях розв'язують задачі певного фахового спрямування.

Цікаві результати дає розв'язання хімічних задач математичними методами при вивченні математичних дисциплін студентами хімічних спеціальностей на сумісних практичних заняттях разом зі здобувачами освіти спеціальності «Прикладна математика».

Наприклад, при вивченні теми «Теорія графів» дисципліни «Дискретна математика» здобувачами освіти спеціальності «Прикладна математика» на практичних заняттях запропоновано задачі застосування графів в хімії. Графи в хімії використовуються для складання формул. «Хімічні» графи дають можливість прогнозувати певні хімічні перетворення, пояснювати сутність і систематизувати деякі основні поняття хімії: структуру, конфігурацію, конфірмації, кванта-механічні та статистико-механічні взаємодії молекул та ін. До хімічних графам відносяться молекулярні, дводольні та сигнальні графи кінетичних рівнянь реакцій. Молекулярні графи, що використовуються в стереохімії та структурній топології, хімії кластерів, полімерів являють собою неорієнтовані графи, що відображають будову молекул. Методикою

застосування графів при розв'язанні описаних задач студенти поділилися зі здобувачами освіти хімічних спеціальностей під час проведення тижня математики в університеті.

При вивченні розділу «Диференціальні рівняння» дисципліни «Вища та прикладна математика» студентами хімічних спеціальностей окрім аналітичних методів розв'язання розглядались чисельні методи і їх реалізація засобами символічної математики MathCAD. А студенти спеціальності «Прикладна математика» на практичних заняттях на дисциплінах «Методи обчислень» та «Математичне моделювання» розглянули алгоритми і розробили математичні моделі на основі чисельного розв'язання методом Ейлера диференціального рівняння для розв'язання хімічних комплексних задач і поділилися методикою їх виконання і результатами зі здобувачами спеціальностей «Екологія», «Хімічні технології та інженерія», «Біотехнології та біоінженерія».

Таким чином нестандартні методи викладання вищої та прикладної математики можуть зробити процес навчання більш ефективним і змістовним.

#### Список використаних джерел

1. Теорія графів [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://bukvar.su/matematika/page,2,133637-Teoriya-grafov.html>
2. Волосова Н.М., Ткаченко Е.Е. Особливості застосування нетрадиційних методів в математичній підготовці бакалаврів в умовах дистанційного навчання// *Інноваційні технології, моделі управління кібербезпекою ІТМК-2022*: Матеріали Міжн. наук. конф., 11–14.04.2022 р. Дніпро: УМСФ, 2022. С. 71.
3. Неділько С.А. Математичні методи в хімії: підручник. К.: Либідь, 2005. 256с.

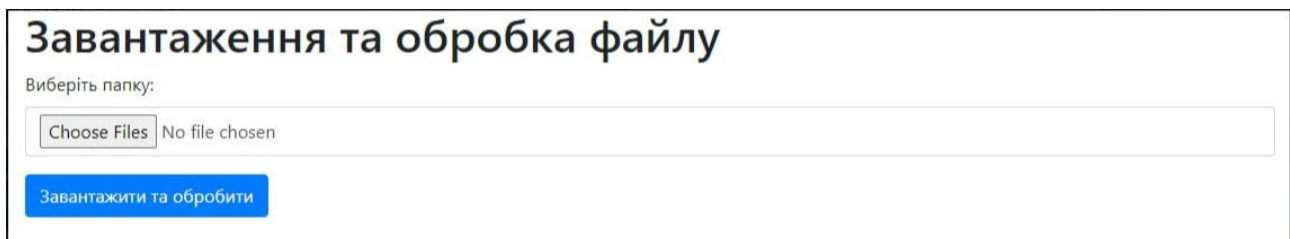
**Викладач 1-ї категорії Гармаш К.В.**

*Кам'янський енергетичний фаховий коледж*

## **СИСТЕМАТИЗАТОР ФАЙЛІВ ЗА РОЗШИРЕННЯМ, ЗАСТОСУВАННЯМ ТА СТИСНЕННЯМ ДО ЄДИНОГО ФАЙЛУ**

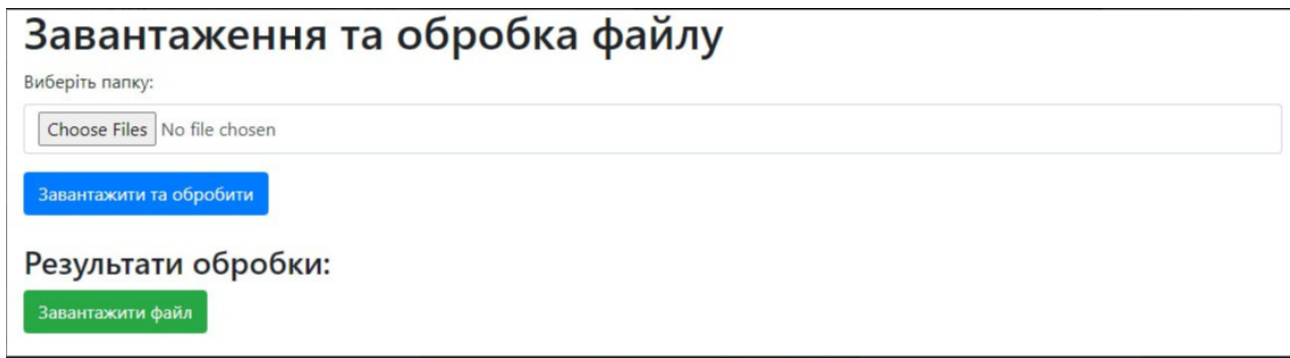
Програма систематизатор файлів за розширенням, застосуванням та стисненням до єдиного файлу була написана мовою програмування Python. Мова програмування Python відмінно підходить для багатьох напрямків розробки: від web-розробок до тестування та аналізу даних. Основними перевагами мови Python є швидкість розробки, простий і зрозумілий синтаксис, легкість у вивченні, безліч фреймворків і бібліотек і, звичайно ж, гнучкість.

Створена програма написана з використанням бібліотек Flask мовою програмування Python для створення web-сторінки взаємодії з користувачем. Візуальна частина програми складається з однієї сторінки, написаної мовою гіпертекстової розмітки HTML. На рис. 1 зображено зовнішній вигляд сторінки завантаження та обробки файлу.



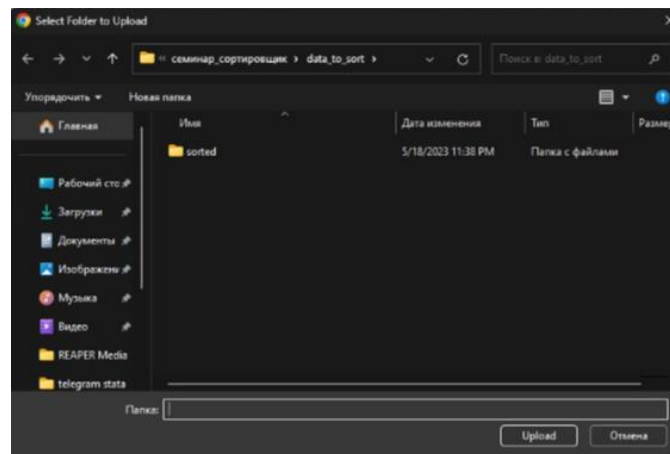
*Рис. 1. Зовнішній вигляд сторінки завантаження файлу*

Під час написання програми були використані бібліотеки: потоків (threading) для можливості роботи одночасно з декількома запитами, роботи з файлами (shutil) для можливості перейменування, перенесення, копіювання файлів і стиснення файлів у формат ZIP.



*Рис. 2. Зовнішній вигляд сторінки результату обробки*

Програма працює таким чином, що користувач вказує шлях до папки, після цього файли з основної зазначеної директорії завантажуються на сервер і сортуються по папках, папки названі відповідно до призначення використання файлів. Наприкінці стиснуті в один файл директорії можна завантажити, користувачеві надсилають оновлену версію сторінки, з'являється кнопка для завантаження результату роботи, як зображено на рис. 2. На рис. 3 зображено результуючу папку зі систематизованими файлами.



*Рис. 3. Перегляд результату систематизації файлів*

Дана програма може бути корисною, як в навчальному процесі, при роботі з документами так і звичайному користувачу, при необхідності систематизації при роботі з файлами.

**Д. техн. н. Дранишников Л.В., здобувач Святодух В.А.**

*Дніпровський державний технічний університет*

## **АВТОМАТИЧНА ГЕНЕРАЦІЯ ВІДГУКІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ПРИ ОЦІНЮВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ СТУДЕНТІВ**

В сучасному освітньому процесі досить часто постає завдання складання словесних характеристик успішності студентів (учнів).

Складання відгуків щодо успішності студентів може мати багато позитивних наслідків, які допоможуть студентам розвиватися та досягати своїх цілей. Серед них такі:

1. Мотивація: для більшості студентів важливе отримання позитивних оцінок та визнання своїх зусиль. Відгуки щодо їх успіхів можуть стати додатковим стимулом до вдосконалення навичок та досягнення нових вершин.

2. Підвищення самооцінки: словесні характеристики успішності можуть допомогти студентам розуміти свої сильні та слабкі сторони.

3. Збереження у пам'яті: відгуки щодо успішності у майбутньому можуть стати згадкою про досягнення. у майбутньому.

4. Допомога при виборі навчального напрямку та професії: відгуки можуть допомогти студентам зрозуміти, в яких областях вони виявляють найбільший успіх, що може допомогти їм зробити кращий вибір щодо майбутньої професії.

Написання відгуків про студентів також є важливою частиною навчального процесу у приватних школах. Такі відгуки мають декілька важливих функцій, які можуть допомогти підвищити якість навчання та допомогти студентам у їх подальшому розвитку.

Відгуки допомагають батькам та учням отримати повну картину успішності та прогресу студента. Батьки та учні можуть використовувати відгуки як інструмент для визначення сильних та слабких сторін студента, а також для отримання порад щодо його подальшого розвитку.

Також відгуки можуть служити інструментом для вдосконалення навчального процесу. Викладачі можуть використовувати відгуки, щоб виявити проблеми, з якими стикаються студенти, та внести корективи до навчального процесу, щоб забезпечити кращі результати.

Автоматизація процесу написання відгуків є необхідною в умовах великої кількості учнів та необхідності регулярно писати відгуки й дозволяє зберегти час і зусилля викладача. Окрім того, автоматизація процесу написання відгуків дозволяє забезпечити більшу стандартизацію і консистентність відгуків, що зробить їх більш акуратними і професійними.

Інструментом автоматизації може стати генератор відгуків, що формує словесні характеристики (речення та фрази) на основі вихідних параметрів, кожен з яких залежить від вхідних параметрів, які характеризують успішність студента з різних сторін. Так як вихідні параметри залежать від цілого ряду вхідних і більшість із них є величинами нечіткими, то постає необхідність використання алгоритмів нечіткої логіки.

Генератор відгуків повинен формувати словесні характеристики, на основі ряду вхідних параметрів, серед яких можуть бути такі: швидкість виконання практичних завдань, вірність виконання практичних завдань, середня оцінка, відсоток виконання ДЗ, активність на уроці, креативність, інтерес до навчання, поведінка.

При цьому генератор може мати такі вихідні параметри: швидкість засвоєння навчального матеріалу, старанність, креативність, інтерес до предмету, серйозність, продуктивність, відсоток виконання домашніх завдань, необхідність додаткового опрацювання навчального матеріалу.

Відгук повинен будуватися як послідовність словесних характеристик (речень), які фактично є лінгвістичними змінними. Кожній із таких змінних буде співставлений свій вихідний параметр, значення якого буде розраховано за алгоритмами нечіткої логіки. Для зменшення однотипності відгуків кожному значенню терм-множини має бути співставлена не одна словесна характеристика, а множина характеристик, які будуть вибиратися випадковим чином.

Не всі словесні характеристики мають бути використанні у формуванні відгуку, інакше відгуки будуть однотипними і не схожими на ті, що створює людина. Але певний набір повинен бути сталим, формуючи кістяк.

До сталих можна віднести: продуктивність, швидкість засвоєння навчального матеріалу, відсоток виконання домашніх завдань.

До опціональних можна віднести: старанність, креативність, інтерес до предмету, серйозність, необхідність додаткового опрацювання навчального матеріалу.

Для побудови математичної моделі необхідно визначити взаємозв'язок вхідних і вихідних параметрів та рівень впливу останніх.

Деякі вихідні параметри залежать тільки від одного вхідного параметру, а деякі залежать від декількох.

Приблизний взаємозв'язок тих вихідних параметрів, що пов'язані із декількома вхідними, показано на рисунку 1.



**Рис 1. Вхідні параметри, які впливають на швидкість засвоєння, старанність та необхідність додаткового опрацювання матеріалу**

Отже, генератор написання відгуків із використання алгоритмів нечіткої логіки допоможе забезпечити ефективність, зручність та консистентність у процесі формування відгуків про успішність студентів.

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

*Дніпровський державний технічний університет*

**ДО ПИТАННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРАКТИКУМУ  
З ДИСЦИПЛІНИ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ  
В УПРАВЛІННІ І ЕКОНОМІЦІ»**

Задачі моделювання та прогнозування в економіці й управлінні дуже популярні, оскільки дають можливість науково обґрунтувати управлінські рішення в багатьох практичних випадках. Вивчення дисципліни “Моделювання та прогнозування в управлінні і економіці” сприяє формуванню у студентів таких компетентностей, як здатність вивчати економічні та соціальні явища, прогнозувати вплив структурних зрушень; здатність до управління інформацією та обґрунтування управлінських рішень; здатність визначати та обґрунтовувати перспективи соціально-економічного розвитку та діагностування окремих бізнес-процесів [1].

Відповідно до прийнятої в Дніпровському державному технічному університеті концепції математичної та комп'ютерної підготовки здобувачів вищої освіти серед різноманіття задач, характерних для систем організаційно-економічного управління, виділені задачі оптимізації та задачі прогнозування на основі економетричних моделей [2-3].

Визначальне значення для формування практичних навичок використання методів і алгоритмів моделювання має практикум. В епоху комп'ютерних технологій і практикум повинен бути комп'ютерним. Принциповим є питання стосовно інструментарію для реалізації алгоритмів розв'язання задач оптимізації та прогнозування. Останнім часом все частіше як інструмент при розв'язанні різноманітних управлінських та економічних задач виступає табличний процесор MS Excel [4-5]. Такий вибір зумовлений великими можливостями та доступністю цього програмного засобу.

Щодо тематики практичних робіт, то всі роботи можна умовно розподілити по трьох розділах. До першої слід віднести роботи, спрямовані на

засвоєння методології використання табличного процесора MS Excel для вирішення окремих задач моделювання, включаючи реалізацію чисельних методів та використання спеціальних інструментів аналізу даних. Роботи другого розділу повинні забезпечувати формування здатності застосовувати комп'ютерно орієнтовані алгоритми розв'язання задач оптимізації до аналізу конкретних управлінських ситуацій, включаючи постановку, розв'язання та аналіз типових задач оптимізації (розподіл обмежених ресурсів, використання виробничих потужностей, організація перевезень тощо). До третього розділу слід віднести роботи спрямовані на засвоєння методології побудови економетричних моделей та формування практичних навичок їх застосування для вирішення типових задач прогнозування (використання виробничих функцій, аналіз попиту та пропозиції товарів, прогнозування динаміки зміни економічних показників тощо).

#### **Список використаних джерел**

1. Карімов Г. І. Моделювання та прогнозування в управлінні: навч. посібник / Г.І. Карімов – Кам'янське : ДДТУ, 2017. – 162 с.
2. Карімов І.К. Комп'ютерні технології в навчальному процесі технічного університету: монографія / І.К. Карімов, Г.І. Карімов. – Кам'янське : ДДТУ, 2020. – 168 с.
3. 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.
4. Кузьмичов А. І. Оптимізаційні методи і моделі: практикум в Excel: навч. посіб. / А. І. Кузьмичов. — К.: ВПЦ АМУ, 2013. — 438 с.
5. Економетрика в електронних таблицях : навч. посіб. / Н. К. Васильєва, О. А. Мироненко, Н. М. Самарець, Н. О. Чорна; за заг. ред. Н. К. Васильєвої. – Дніпро : Біла К. О., 2017. – 149 с.

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

*Дніпровський державний технічний університет*

## **ВИКОРИСТАННЯ КЛАСИЧНОЇ МОДЕЛІ ЛОТКИ-ВОЛЬТЕРИ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ГАЛУЗІ 07 «УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ»**

Математична модель Лотки-Вольтерри свого часу була створена для опису відношення між двома біологічними видами, представники одного з яких виступали як хижаки, представники іншого – як жертви. Згодом з'ясувалося що

дана модель з успіхом може бути використана і в інших галузях, для яких характерні циклічні процеси зміни стану взаємодіючих агентів та сильна нелінійність [1-2]. Однією з таких галузей є галузь 07 «Управління та адміністрування». Відомі приклади застосування моделі Лотки-Вольтерри при дослідженні різноманітних управлінських та економічних процесів, зокрема, для дослідження динамічної зміни капіталу економічної системи і траєкторії економічного ризику [3] ; конкуренції потенційних робітників за робочі місця [2] та конкурентної взаємодії на ринку послуг мобільного зв'язку [4]; в управлінні знаннями проекту [5]. Зауважимо, що специфіка досліджуваних процесів часто приводить до необхідності певної модифікації класичної моделі. В той же час наведені приклади свідчать про доцільність використання моделі Лотки-Вольтери в підготовці здобувачів вищої освіти галузі 07 «Управління та адміністрування», перш за все, в класичній постановці.

Як відомо, класична модель Лотки-Вольтерри приводить до системи звичайних диференціальних рівнянь, причому нелінійність математичної моделі зумовлює необхідність застосування чисельних методів розв'язання задачі. В той же час безпосередня реалізація математичної моделі в конкретних випадках для фахівців в галузі управління та економіки може викликати певні труднощі, оскільки потребує знань не тільки математики, а й засобів комп'ютерної реалізації математичних методів. На наш погляд, виходом з цієї ситуації є застосування стандартних інформаційних технологій на основі табличного процесора MS Excel або системи комп'ютерної математики MathCad. В першому випадку можна засобами MS Excel реалізувати один з відомих чисельних методів, наприклад, метод Рунге-Кутта; в другому – використати стандартні функції типу *rkfixed* або *rkadapt*. Кожний з цих підходів має свої переваги і недоліки, тому бажано ознайомити здобувачів освіти з обома підходами.

Звернемо також увагу на той факт, що модель Лотки-Вольтерри добре описує загальні закономірності досліджуваних процесів, в той же час до

конкретних кількісних результатів слід відноситися з обережністю, оскільки вони сильно залежать від параметрів моделі, точні значення яких часто невідомі.

#### **Список використаних джерел**

1. Ставицький О.В. Методологія застосування математичної моделі Лотки-Вольтерри в економіці / О.В. Ставицький, Н.О.Дятлова // Приазовський економічний вісник. – 2017. – Вип. 2(02). – С. 168-171.
2. Козик В.В. Проблеми застосування моделей типу «хижак – жертва» в економічній практиці / В.В. Козик, Ю.І. Сидоров // Наука та інновації. – 2011. – Т. 7. – № 1. – С. 5-15.
3. Коляда Ю. В. Динамічна траєкторія економічного ризику на підґрунті моделі Вольтерри-Лотки / Ю. В. Коляда, І. Ф. Шатарська // Моделювання та інформаційні системи в економіці. - 2018. - № 96. - С. 130-136.
4. Алілуйко А.М. Дослідження конкурентної взаємодії на ринку послуг мобільного зв'язку / А.М. Алілуйко // Інноваційна економіка. – 2013. – № 2. – С. 221-226.
5. Чайковська І.І. Особливості застосування моделі Лотки-Вольтерри в управлінні знаннями проєкту / І. Чайковська, А. Гаргасас // Modeling the Development of the Economic Systems.–2021. –No 2. -С.54-61.

**К. е. н. Нужна С.А.**

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

## **ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ В ОСВІТНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ: GOOGLE**

### **КАЛЕНДАР**

Освітній процес – це інтелектуальна, творча діяльність у сфері вищої освіти і науки, що провадиться в університеті через систему науково-методичних і педагогічних заходів та спрямована на передачу, засвоєння, примноження і використання знань, умінь та інших компетентностей у здобувачі освіти. Для досягнення всіх компетентностей необхідно використовувати у повсякденному житті освітні технології. Освітній процес тільки тоді може вважатися досконалим, якщо він забезпечує не лише успішне задоволення суспільних запитів сьогодення, а й визначає загальні підходи щодо вирішення майбутніх проблем. Формування інтелектуальної еліти нації – вчених, дослідників, суспільних діячів, інноваторів-підприємців – є ще одним базовим компонентом розвитку освіти, це підтримка майбутніх лідерів світової

науки та Hi-tech, упровадження STEM-освіти, тобто, використання сучасних освітніх технологій.

Сучасний освітній процес вимагає впровадження і використання сучасних цифрових технологій. Особливо актуальним це стало в період дистанційного навчання, зумовленого карантинними обмеженнями, а також із початком повномасштабної військової агресії російської федерації проти України.

Одним зі світових лідерів у сфері цифрових технологій є компанія Google. Серед її розробок – онлайн-інструменти для роботи з різними документами, формами опитування (тестування), організації віртуальних класів та проведення онлайн-зустрічей. Такі інструменти стануть у нагоді як здобувачами освіти так і викладачам. Одним з таких інструментів є Google Календар. Календар Google входить до переліку програм, пов'язаних з обліковим записом Gmail кожного приватного користувача. Завдяки йому можна планувати робочі зустрічі та завдання, планувати та керувати робочим часом, нагадувати про найважливіші події, також можна планувати віддалені зустрічі з відео посиланнями, координувати кілька календарів, щоб знайти найкращий час для спілкування. Особливо цікавим є використання Google Календаря в освітній діяльності.

1. Кожну зустріч можна налаштовувати особисто, сформувавши автоматично посилання на відеоконференції засобами Google Meet або Zoom [1]. Прикріпити необхідний документ, який треба опрацювати під час зустрічі (рис. 1). В якості зустрічі це може бути розклад занять здобувачів або викладачів.

2. Розклади зустрічей у Google Календарі можна предствати на день, 4 дня, тиждень, місяць або рік (рис. 2 – рис. 5).

3. Для нагадування занять-зустрічей Календар Google може надсилати сповіщення. Такі сповіщення-нагадування можна отримувати у веб-браузері, на робочому столі або на мобільному пристрої.

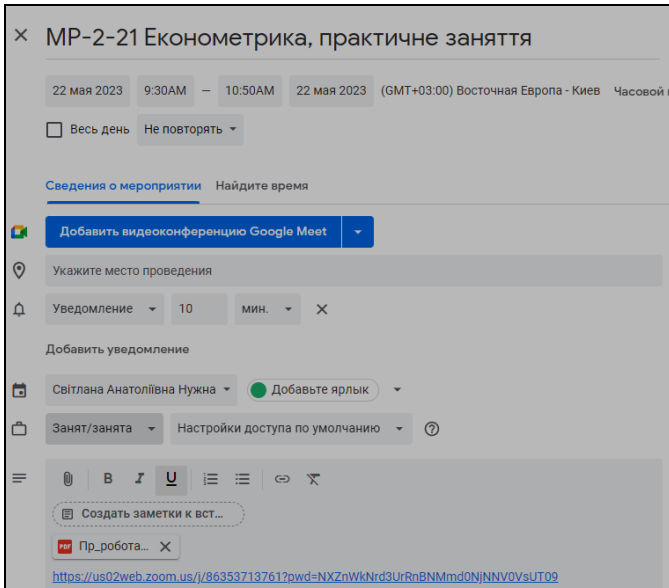


Рис. 1. Налаштування зустрічі

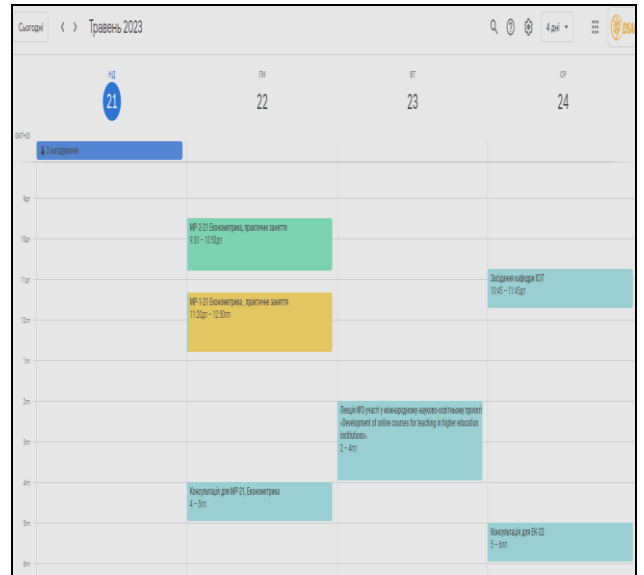


Рис. 2. Календар в режимі 4 дні

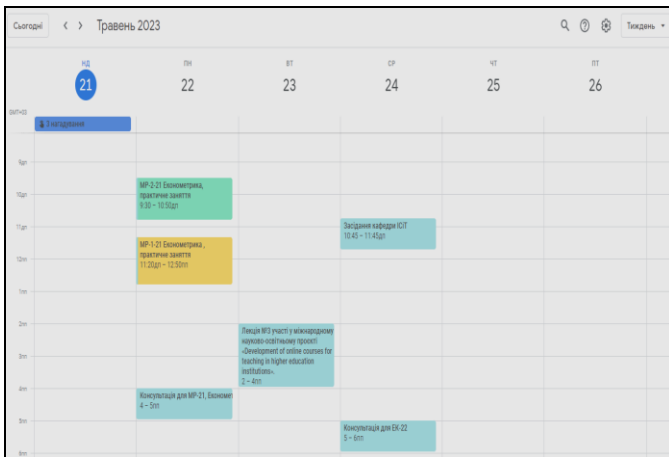


Рис. 3. Календар в режимі Тиждень

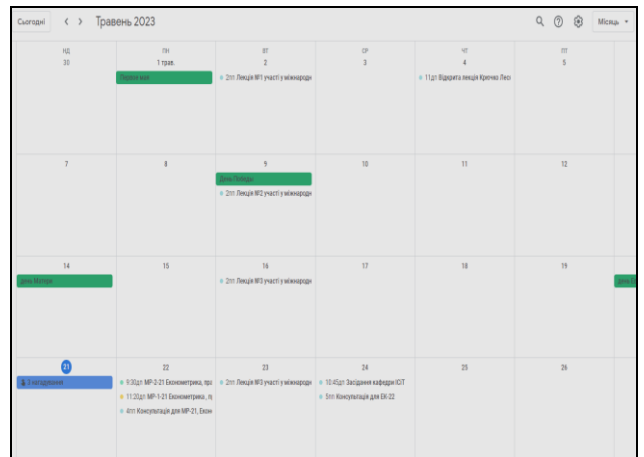


Рис. 4. Календар в режимі Місяць

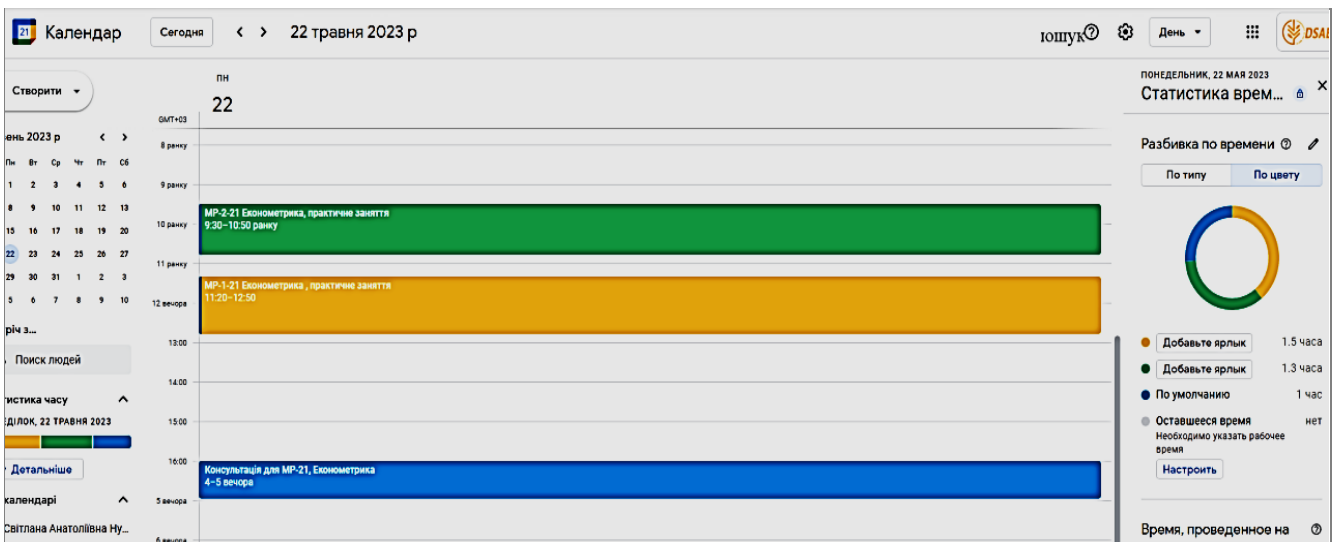


Рис. 5. Календар в режимі День

4. Календар Google може автоматично надсилати користувачам щоденний розпорядок електронною поштою на початку кожного робочого дня.

5. За допомогою функції «Завдання» можна використовувати Календар Google як інструмент керування завданнями [1, 2].

Крім того, можна заощадити свій час і зусилля, розширивши Google Календар додатками Google Workspace:

- На панелі адміністратора Google є можливість додати ресурси закладу або компанії, такі як конференц-зали, 3D-принтери, обладнання для відеодзвінків тощо. Усі ці ресурси можна знайти в спадному списку під час створення події, їх можна забронювати на потрібний час.

- Коли кожен в організації має обліковий запис Google Workspace (не обов'язково в одному домені), є можливість підписатися на календарі окремих співробітників або цілих відділів (деканатів).

- Google Workspace містить програму для відеоконференцій Google Meet із розширеними функціями. У Google Календарі можна створити унікальний зв'язок кімнати для відеоконференцій із нарадою, доступною для всіх присутніх, і кожна подія може вмістити до 500 учасників.

#### Список використаних джерел

1. Ресурс ФОТС. Режим доступу: <https://fotc.com/ua/blog/google-kalendar/>
2. Електронний освітній ресурс. Режим доступу: <https://sites.google.com/site/edugservis/google-calendar>

**Петренко Ю.О.**

*Кам'янський енергетичний фаховий коледж*

#### **ВИКОРИСТАННЯ НАПРЯМІВ STEM-ОСВІТИ**

STEM (S – science, T – technology, E – engineering, M – mathematics) – природничі науки, технології, інженерія та математика. Акронім STEM вживається для позначення популярного напрямку в освіті, що охоплює природничі науки (Science), технології (Technology), технічну творчість (Engineering) та математику (Mathematics).

STEM-освіта спрямована на розвиток особистості через формування компетентностей, природничо-наукової картини світу, світоглядних позицій і життєвих цінностей з використанням трансдисциплінарного підходу до навчання, що базується на практичному застосуванні наукових, математичних, технічних та інженерних знань і вмінь для розв'язання практичних проблем для подальшого використання їх у професійній діяльності.

Використання провідного принципу STEM-освіти – інтеграції, дозволяє здійснювати модернізацію методологічних засад, змісту, обсягу навчального матеріалу предметів природничо-математичного циклу, технологізацію процесу навчання та сформувати: навички розв'язання складних (комплексних) практичних проблем, критичного мислення, креативних якостей та когнітивної гнучкості, організаційних та комунікаційних здібностей, вміння оцінювати проблеми та приймати рішення, готовності до свідомого вибору та оволодіння майбутньою професією, фінансової грамотності, цілісного наукового світогляду, ціннісних орієнтирів, загальнокультурної, технологічної, комунікативної і соціальної компетентностей, математичної та природничої грамотності; всебічний розвиток особистості шляхом виявлення її нахилів і здібностей; навички оволодіння засобами пізнавальної, дослідної та практичної діяльності; виховання особистості, яка прагне до здобуття освіти впродовж життя, формування умінь практичного і творчого застосування здобутих знань.

Для ефективного розвитку напрямів STEM-освіти першочерговим завданням є: розробка науково-методичного забезпечення та упровадження сучасних засобів навчання; підготовка та підвищення кваліфікації науково-педагогічних працівників; розширення мережі регіональних STEM-центрів/лабораторій; проведення науково-прикладних досліджень; аналіз процесу розбудови та динаміки розвитку STEM-освіти, виявлення проблем та прогнозування подальших тенденцій впровадження напрямів STEM-освіти.

Одним з напрямків застосування інноваційних технологій є використання онлайн симулятора Tinkercad Circuits Arduino.

Tinkercad – це безкоштовна онлайн-програма 3D моделювання, яка працює у веб-браузері, відома своєю простотою та нескладністю використання.

Tinkercad відома багатьом як програма для 3D моделювання, але в ній також можна програмувати Arduino. Це робиться за допомогою спеціального розширення. Tinkercad Circuits – це онлайн-конструктор електронних схем, у тому числі і на Arduino. У програмі можна підключати компоненти до схеми, програмувати їх і запускати емуляцію.

Arduino (Ардуіно) – це апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки на мові програмування, що є підмножиною C/C++.

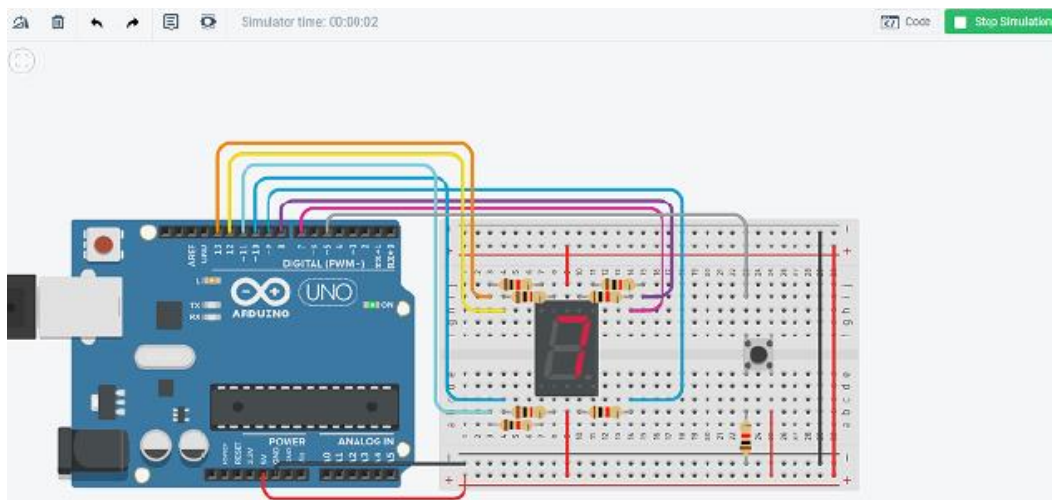
Завдяки онлайн сервісу Tinkercad Circuits Arduino можна не тільки створювати електричні схеми та запускати емулятор електричного кола, а і підключати до проекту віртуальну плату Arduino, в яку можна завантажити працюючі скетчі (програму, код). Tinkercad – це безкоштовний, простий і водночас потужний сервіс, з якого можна розпочинати навчання електротехніці та роботехніці.

Arduino – це електронна плата або мікроконтролер. Його можна підключити до комп'ютера по USB і запрограмувати. Існує декілька видів мікроконтролерів Arduino. Відрізняються вони між собою розмірами і кількістю входів/виходів. Проте головна перевага в тому, що всі вони сумісні між собою. Написавши програму для одного типу плати, ми можемо завантажити її на іншу, при цьому не треба переписувати код (рис.1).



*Рис. 1. Доповнення до мікроконтролера Arduino*

Розглянемо роботу схеми таймера із семисегментним дисплеєм на Arduino. Збираємо схему і завантажуюємо код на плату за допомогою Arduino IDE. Запускаємо симуляцію і натискаємо кнопку, щоб почати зворотній відлік (рис.2).



*Рис. 2. Схема в роботі*

Ознайомившись з емулятором Arduino в Tinkercad, створили схему і розглянули, як запускати емуляцію. Це лише мала частина того, що можна створити за допомогою Arduino. За допомогою мікроконтролера можна робити робіт, створювати різні механізми та гаджети.

Працюючи в Tinkercad Arduino Circuits можна виділити наступні можливості сервіса: візуальний редактор схем, візуальний і текстові редактори коду, режим налагодження, режим симуляції схем, можливість експорту отриманих скетчів і електричних схем в реальні проєкти. Tinkercad є вкрай корисним для здобувачів освіти, які планують поєднати своє життя з ІТ технологіями.

Сегеда Н. Є.

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*

## **ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ МОВИ АСЕМБЛЕРА**

### **В ДИСТАНЦІЙНІЙ ФОРМІ НАВЧАННЯ**

Для професійного програмування студенти відповідних спеціальностей повинні розуміти і реально бачити деталі зберігання та обробки даних, вплив архітектури процесора та основних принципів роботи комп'ютера на ефективність виконання програм, з метою розробки найкращих кодів. Викладання дисципліни «Системне програмування та операційні системи» для ІТ-спеціалістів передбачає вивчення асемблера – мови програмування низького рівня, яка дає змогу використовувати усі наявні можливості процесора. Також цю дисципліну за вибором обирають ті студенти, яких дійсно цікавить, що відбувається глибоко всередині комп'ютера.

На жаль, за останні декілька років вимушена дистанційна форма навчання позбавила можливості проводити лабораторні заняття з програмування в спеціалізованих лабораторіях з уніфікованими програмно-апаратними інструментальними засобами розробки, компіляції, налагодження та аналізу програмного коду. Це вимагає диференційованого підходу до навчання студентів мові асемблера, з урахуванням особливих нюансів для виконання лабораторних завдань в індивідуальних обставинах.

Добре відомо, що мова асемблера являє собою зручнішу символічну форму запису машинних команд, тобто специфічна для конкретної архітектури комп'ютера. Система програмування з використанням мови асемблера найчастіше використовує Intel-синтаксис, також досить популярним серед студентів є відкритий проєкт асемблера — NASM (Netwide Assembler), версії якого доступні для різних операційних систем. В будь-якому випадку в пакетному режимі формування виконавчого файлу необхідно звернути особливу увагу студентів на відповідність опцій компілятора та лінкувальника обраній моделі пам'яті та сегментній структурі програми мовою асемблера.

## ЗМІСТ

### СЕКЦІЯ 1. МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

<i>Дерець О.Л., Садовой О.В., Дерець С.О.</i> Алгоритм синтезу системи керування електроприводом постійного струму методу N–і перемикачів.....	3
<i>Жевакін В.О., Красніков К.С.</i> Дослідження процесу спікання шихти стрічковоагломераційної машини на основі математичної моделі.....	6
<i>Іванченко В. О., Дранишников Л.В.</i> Дослідження нейромережного підходу в задачах медичної діагностики.....	9
<i>Качура О.В., С'янов О.М., Макаров О.С.</i> Математична модель критичних терморезисторів на основі напівпровідникових структур діоксида ванадія	12
<i>Надригайло Т.Ж., Жорнік Є.В., Грінченко К.М.</i> Комп'ютерне моделювання процесу тверднення розплаву сталі у виливниці.....	15
<i>Пасічник А. М.</i> Асимптотичний метод побудови рівномірно придатних розв'язків нелінійних крайових задач динаміки.....	18
<i>Самохвалов С. Є.</i> Геометричний смисл $\lambda$ - перенесення.....	21
<i>Сохацький А.В.</i> Математичне моделювання аеродинамічних процесів в транспортних технологіях Maglev .....	25
<i>Строева В.О., Пузік А.О., Тарасюк О.С.</i> Задача оптимального використання зрошувальних систем.....	28

*С'янов О.М., Косухіна О.С., Житкевич Н.Ю.* Numerical modeling of dynamic modes of operation of an asynchronous motor with outer circles..... 30

*Циба В.В., Надригайло Т.Ж.* Фізико-хімічні властивості шлакоутворюючих сумішей..... 33

## СЕКЦІЯ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ

*Авраменко В. І.* Характеристики розподілу випадкових променів від джерел, розподілених на поверхні диску..... 35

*Анісімов Д.О., Клімов Р.О.* визначення оптимальної частки рециркуляції відхідних газів при використанні теплових насосів в сушарках ..... 38

*Бельмас І.В., Зубко Д.Е.* Математична модель деформованого стану елемента армування автомобільної шини..... 40

*Карімов І.К., Вернигора Д.В., Компанієць Р.А.* Математичне моделювання теплового стану великогабаритних виробів з метою проектування раціональних режимів місцевої термообробки в газових печах ..... 44

*Клімов Р.О., Гарустович О.В.* Ефективність роботи контактних теплообмінників при використанні різних видів насадок ..... 45

*Клімов Р.О., Жевжик В.Д.* Оптимізація конструкції теплообмінників за коефіцієнтом оребрення трубчастої системи ..... 47

*Клімов Р.О., Луста Д.О.* Дослідження роботи утилізаторів теплоти при часткових навантаженнях котлів..... 50

<i>Пасічник А. М.</i> Математична модель побудови інфраструктури транспортно-логістичних комплексів в Україні .....	52
<i>Раздобрєєв В.Г., Ключніков К.Ю., Леценко О.І., Паламар Д.Г.</i> Математичне моделювання процесу отримання профілів стрічкового типу з круглої заготовки.....	55
<i>Самохвалов С.Є., Піптюк В.П., Надригайло Т.Ж., Греков С.В.</i> Математична модель колективного введення добавок у ківш .....	58
<i>Самохвалов С. Є., Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Похвалітий А.А.</i> Математична модель пиловугільного факелу.....	60
<i>Togobitska D., Belkova A., Kuksa O.</i> Criteria and models for evaluating the thermodynamic state of the "pig iron-slag" system.....	62
<i>Тогобицька Д.М., Поворотня І.Р., Ходотова Н.Є.</i> Математичні моделі властивостей сталей та добавок – ключовий аспект оцінки розподілу елементів у системі «метал-шлак».....	66
<i>Хромченков М.П., Красніков К.С.</i> Модель процесу нагрівання розплаву в сталерозливному ковші.....	69
<i>Худа Ж.В., Балясний О.М.</i> Прогнозування обсягів електроспоживання з використанням нейромережових технологій.....	72
<i>Шокота М.Ю., Красніков К.С.</i> Дослідження SEO оптимізації на прикладі університетського сайту.....	75

### СЕКЦІЯ 3. АЛГОРИТМИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

<i>Бабенко М.В., Бондарь П.О.</i> Методи захисту інформації у сучасних системах управління базами даних.....	77
<i>Бажан С.М.</i> Про уточнення алгоритму складання розкладу.....	79
<i>Колтовсков М.М., Дранишников Л.В.</i> Коригування та управління дронами за допомогою нейронних мереж.....	81
<i>Pasichnyk A., Pasichnyk V.</i> Analysis of the efficiency of data encryption algorithms in information security systems.....	84
<i>Перемітько М.В., Надригайло Т.Ж.</i> Порівняння нативного та кросплатформного підходів у розробці мобільних додатків.....	87
<i>Степаненко Д. О., Черський С. С.</i> Розробка алгоритму та програми для цифрової ідентифікації потрійних діаграм оксидних систем.....	90
<i>Ткачук Н., Волосова Н.М.</i> Federal learning algorithms based on searching for fixed points by simple iteration method.....	93
<i>Шеремет В. С., Мацуга О. М.</i> Пошук точок розладнання в часових рядах на основі кускових регресій.....	94
<i>Ялова К.М., Веремейченко М.О., Бабенко М.В., Решетніков Я.М.</i> Використання інтерполяційних методів при обробці складних поверхонь..	98

## СЕКЦІЯ 4. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

<i>Волосова Н.М., Жигалева С.П., Ткаченко Е.Е.</i> Використання нетрадиційних методів навчання вищої математики здобувачів вищої освіти хімічних спеціальностей.....	101
<i>Гармаш К.В.</i> Систематизатор файлів за розширенням, застосуванням та стисненням до єдиного файлу.....	104
<i>Дранишников Л.В., Святодух В.А.</i> Автоматична генерація відгуків із застосуванням нечіткої логіки при оцінювання навчальних досягнень студентів.....	106
<i>Карімов Г.І., Карімов І.К.</i> До питання реалізації комп'ютерного практикуму з дисципліни «Моделювання та прогнозування в управлінні і економіці» .....	109
<i>Карімов Г.І., Карімов І.К.</i> Використання класичної моделі лотки-вольтери в навчальному процесі здобувачів вищої освіти галузі 07 «Управління та адміністрування».....	110
<i>Нужна С.А.</i> Цифрові інструменти в освітній діяльності: Google календар...	112
<i>Петренко Ю.О.</i> Використання напрямів STEM-освіти.....	115
<i>Сегеда Н.Є.</i> Особливості викладання мови асемблера в дистанційній формі навчання.....	119

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

(24-26 травня 2023 року м. Кам'янське)

*Окремі доповіді друкуються в авторській редакції*

*За точність викладеного матеріалу відповідальність покладається на авторів*

Учений секретар Волосова Н.М.

Комп'ютерна верстка Волосова Н.М.

Підписано до друку 26.05.2023

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного  
реєстру видавців серія ДК № 5399 від 26.07.2017.

*Адреса редакції:*

51918, Дніпропетровська обл., м. Кам'янське, вул. Дніпробудівська, 2