

DOI: 10.34185/1991-7848.2023.01.07

УДК 669:621

В.Ю. Міщенко

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕЛІ РУДНОТЕРМІЧНОЇ ПЕЧІ ТА ЇЇ АДЕКВАТНІСТЬ

***Анотація.** При створенні та апробації комплексної моделі руднотермічної печі важливим її елементом є вхідні параметри. Налаштовується модель за фізичними параметрами шихти, такими як: - питомий електричний опір; - масова теплоємність; - питома щільність; - коефіцієнт теплопровідності. Значення їх мають свої межі коливання в залежності від температури. Враховуючи вище сказане, отримати останні для кожної конкретної плавки дуже важко. Тому пропонується здійснити їх пошук шляхом розв’язання розрахункової оптимізаційної задачі за результатами здійснених плавок. Якщо в якості критерію її адекватності прийняти значення відносної середньоквадратичної похибки прогнозу вихідної величини, то для здійснення обчислювальної ідентифікації буде достатньо мати статистичну сукупність значень вихідних величин даного процесу, отриману на реальному об’єкті. Використання обчислювальної ідентифікації забезпечує ще одну істотну перевагу – можливість встановити структурну неадекватність моделі. Ідентифікація параметрів комплексної моделі руднотермічної печі шляхом розв’язання оптимізаційної задачі щодо величини її середньоквадратичної похибки прогнозу при всіляко можливих у допустимих межах значеннях цих параметрів дозволяє одночасно визначитися й з структурною та параметричною адекватністю самої моделі.*

***Ключові слова:** руднотермічна піч, параметри шихти, феросплави, алгоритмічна модель, оптимізаційна задача.*

### Постановка проблеми

При створенні та апробації комплексної моделі руднотермічної печі важливим її елементом є вхідні параметри. Деякі з них відомі (геометричні та електричні), а інші необхідно визначити так як вони мають значний діапазон коливання. Дану ідентифікацію необхідно проводити для кожного виду феросплаву, оскільки ці параметри залежать від складу шихти.

---

© Міщенко В.Ю., 2023

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В працях [1-5] розглядається розробка алгоритмічної моделі роботи руднотермічної печі, яка враховує специфіку протікання електричних, теплових та хімічних процесів, що безпосередньо взаємопов'язані між собою, при одержанні феросплавів (рисунок 1).

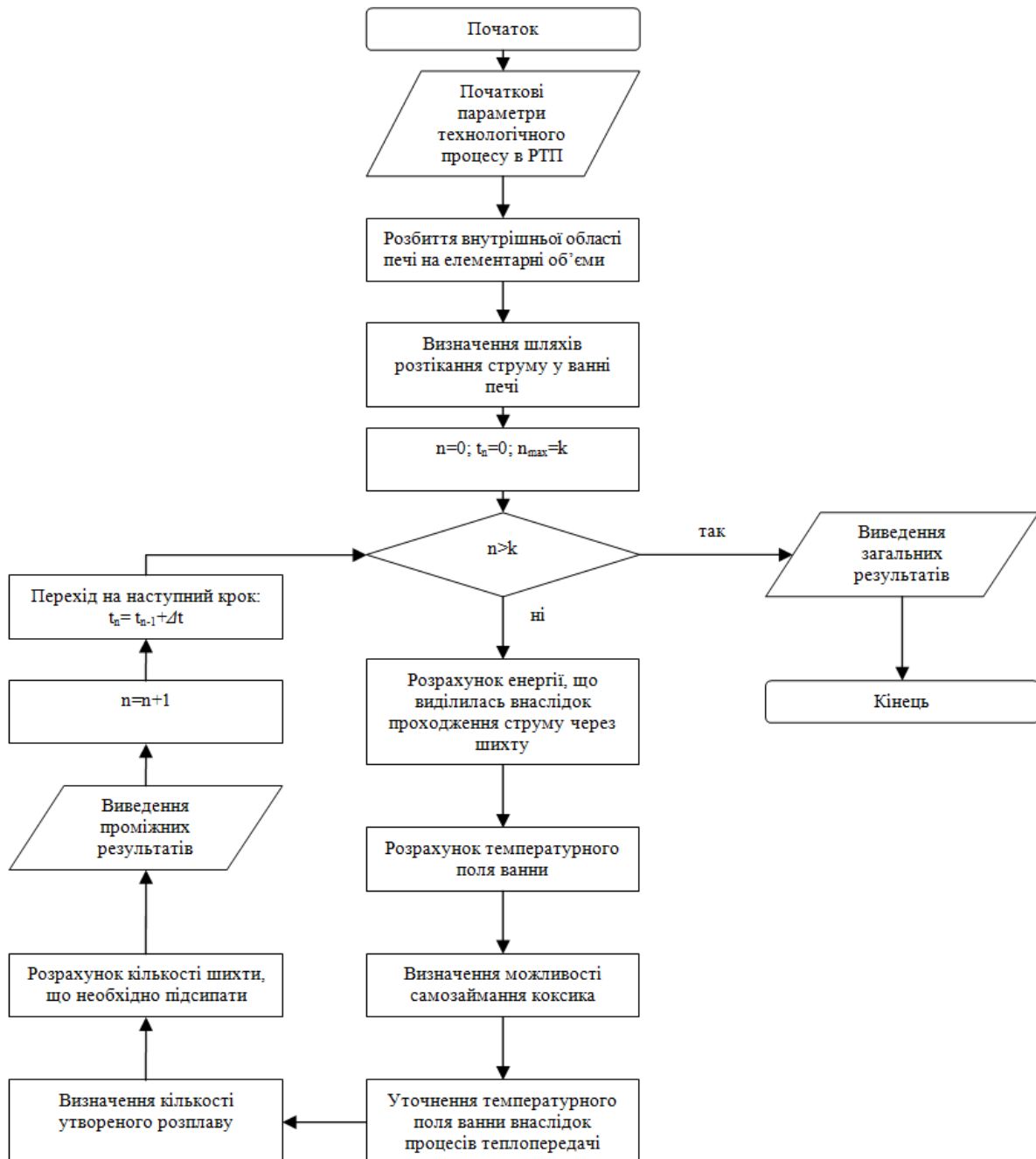


Рисунок 1 – Загальний алгоритмічної моделі руднотермічної печі

З рисунку 1 видно, що алгоритм складається з багатьох основних блоків, які, в свою чергу, теж мають більш детальний алгоритмічний опис представлених дій. Також він має одноразові та циклічні дії, які враховують динаміку протікання процесу отримання феросплавів. Вхідними даними для запропонованої моделі є: геометричні параметри печі – радіус ванни та висота заповнення її шихтою, діаметр електродів та їх глибина занурення у ванну, радіус на якому вони розташовані відносно центру печі; електричні – напруга між електродами з різними фазами; компонентний склад шихти.

Ванна РТП розділена на однакові елементарні об’єми в системі циліндричних координат, тобто за радіусом, кутом та глибиною. В цих елементарних об’ємах, кількість яких можна змінювати, і здійснюються всі необхідні розрахунки. Шляхи розтікання струму представляються як дуги, що проходить через центри електродів в напрямку до країв, центру та подини ванни печі [3].

Циклічна частини алгоритму дозволяє в динаміці відслідковувати показники плавки на заданих проміжках часу. Розрахунок енергії, що виділилась внаслідок проходження струму через шихту здійснюється на основі її електричного опору [2], а температурне поле ванни визначається за допомогою формули, що враховує зміну теплоємності. Знаючи температуру в кожній точці ванни [1], з’ясовується можливість додаткового виділення теплоти за рахунок самозаймання коксика. Якщо це має місце, то робиться перерахунок температурного поля. Далі в моделі враховуються процеси теплопередачі між елементарними об’ємами.

Після знаходження остаточного значення температури в усіх об’ємах ванни на даному кроці розрахунків стає можливим визначити загальний обсяг утвореного розплаву [4] та розрахувати кількість шихти, що необхідно підсипати. В подальшому послідовність розрахунків повторюється.

### **Мета дослідження**

Універсальність цього алгоритму полягає у можливості, в залежності від поставлених цілей, переривання циклу розрахунків у подальшому визначені або кількості витраченої електричної енергії (загальне й поточне), або

утвореного розплаву (теж загального і поточного), чи щось інше. Налаштовується модель за фізичними параметрами шихти, такими як: - питомий електричний опір; - масова теплоємність; - питома щільність; - коефіцієнт теплопровідності. Значення їх мають свої межі коливання в залежності від температури [6]. Враховуючи вище сказане, отримати останні для кожної конкретної плавки дуже важко. Тому пропонується здійснити їх пошук шляхом розв’язання розрахункової оптимізаційної задачі за результатами здійснених плавок.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

У зв’язку з вищевикладеним представляється найбільш доцільним використовувати обчислювальні методи вже на стадії ідентифікації параметрів моделі. Якщо в якості критерію її адекватності прийняти значення відносної середньоквадратичної похибки прогнозу вихідної величини, то для здійснення обчислювальної ідентифікації буде достатньо мати статистичну сукупність значень вихідних величин даного процесу, отриману на реальному об’єкті.

Слід зазначити, що використання обчислювальної ідентифікації забезпечує ще одну істотну перевагу – можливість встановити структурну неадекватність моделі. Дійсно, якщо при отриманому мінімально можливому значенні похибки прогнозу адекватність моделі не забезпечена, то це свідчить про невідповідність реальному процесу саме структури моделі. Таким чином з’являється можливість її уточнення й реалізації додаткових обчислювальних експериментів.

Для реалізації запропонованого методу ідентифікації необхідно попередньо встановити інтервали, в межах яких з достатньою ймовірністю знаходяться шукані параметри. Очевидно, що вони можуть бути визначені за вже наявною інформацією. В роботі [6] зроблене це на прикладі процесу одержання селікомарганцю. Отриманні мінімальні та максимальні значення питомого електричного опору ( $\rho_e$ ), теплоємності ( $C_m$ ) та теплопровідності ( $\lambda$ ) шихти в дискретних інтервалах температур представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Інтервали можливих значень параметрів налаштування моделі руднотермічної печі при отриманні селікомарганцю

Параметр		Інтервали температур, °C									
		100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100
$\rho_e$ Ом·м	min	1,051	0,520	0,358	0,275	0,267	0,390	0,808	1,150	0,622	0,311
	max	9,033	8,967	9,021	8,527	7,479	8,419	7,870	4,780	1,630	0,309
$C_m$ Дж/(кг·°C)	min	0,575	0,534	0,486	0,498	0,479	0,461	0,448	0,441	0,428	0,438
	max	0,873	0,914	1,000	1,024	1,033	1,023	1,015	1,281	1,339	1,358
$\lambda$ Вт/(м·°C)	min	0,734	0,633	0,65	0,704	0,754	0,820	0,868	0,868	0,902	0,914
	max	1,215	1,124	1,273	1,454	1,805	1,930	1,741	1,705	1,540	1,541

Питома щільність шихти також є одним із вхідних параметрів моделі, який використовується лише на початку розрахунків. Визначати її можливе мінімальне та максимальне значення пропонується за формулою:

$$\rho = a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2 + a_3 \cdot b_3 + \dots + a_n \cdot b_n, \quad (1)$$

де  $b_1, b_2, b_3, b_n$  – значення щільності компонентів шихти, кг/м<sup>3</sup>;

$a_1, a_2, a_3, a_n$  – доля відповідних компонентів в шихті відносно одиниці.

Підставляючи в неї спочатку мінімальні, а потім максимальні значення щільності кожного компонента, отримаємо межі коливання останнього для конкретної шихти в цілому. Результати зазначених розрахунків представлені в таблиці 2, де числа від 1 до 4 відповідають різним відсотковим складам шихт, що використовуються при отриманні селікомарганцю. Останні наведені в таблиці 3.

Таблиця 2

Межі коливання питомої щільності шихт з різним відсотковим складом компонентів

Значення	Питома щільність шихти, кг/м <sup>3</sup>			
	1	2	3	4
min	1768,3	1808,5	1766,8	1748,3
max	1912,7	1946,5	1909,4	1889,5

Таблиця 3

Компонентний та кількісний склад шихт,  
що використовуються при одержанні селікомарганцю

Назва компоненту	Од. вимір	Номер плавки			
		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
Марганцева руда	кг	2 600	1 300	2 600	2 600
Кокс W-14,0%	кг	800	500	880	980
Вапняк	кг	500	250	500	500
Кварцит Васильківський	кг	400	500	500	500
Скрап власного виробництва ~ 25% мет.фази	кг	400	200	400	400
Техногенний матеріал фр.0-30мм	кг	1 400	700	1 400	1 400
Техногенний матеріал фр.0-300мм	кг	200	100	200	200

На рисунку 2 представлена загальна блок-схема реалізації обчислювального експерименту для вибору значень параметрів налаштування моделі.

На початку цього експерименту вибирається кількість інтервалів для розбиття значень параметрів в попередньо визначених їх діапазонах та створюється відповідні масиви даних. Далі обирається перша комбінація і проводяться всі необхідні розрахунки на імітаційній математичній моделі руднотермічної печі, результати яких порівнюються із реальними значеннями, отриманих на об’єкті та вираховується похибка прогнозу. Потім береться інша комбінація значень параметрів і проводяться ті ж самі розрахунки. Далі таким же чином робиться перебір усіх можливих варіантів значень. Після закінчення циклу перебору виводяться значення усіх параметрів при яких була отримана мінімальна похибка розрахунку. Якщо остання прийнятна з точки зору досліджень, то вважається, що комбінація значень параметрів налаштування моделі знайдена, а саме модель адекватна процесу. А це, в свою чергу, дає можливість використовувати її для подальших обчислювальних розрахунків.

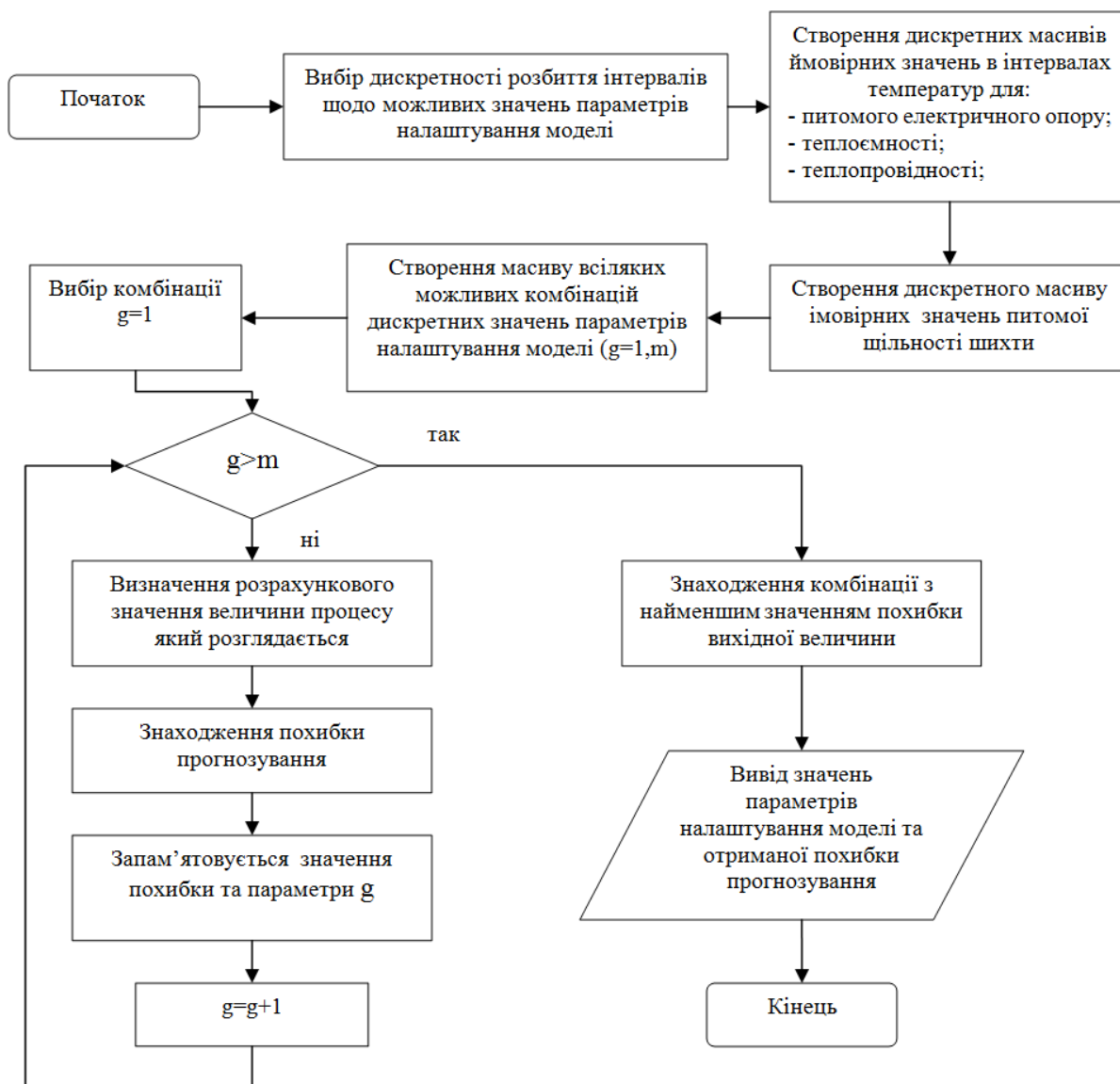


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму щодо вибору значень параметрів налаштування моделі

Розглянемо приклад використання запропонованого методу ідентифікації параметрів моделі на основі даних таблиць 1, 2 та 3. Розіб'ємо межі коливання питомого опору, теплопровідності та теплоємності на десять дискретних значень в кожному інтервалі температур. Оброблені результати представлені в таблиці 4. Для питомої щільності шихти зробимо аналогічним чином для чотирьох варіантів її відсоткового складу (таблиця 5).

Таблиця 4

Масиви дискретних значень для питомого опору,  
теплопровідності та теплоємності в інтервалах температур

№	Інтервали температур, °C														
	100-200			200-300			300-400			400-500			500-600		
	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$
1	1,051	0,575	0,734	0,520	0,534	0,633	0,358	0,486	0,650	0,275	0,498	0,704	0,267	0,479	0,754
2	1,938	0,608	0,787	1,459	0,576	0,688	1,321	0,543	0,719	1,192	0,556	0,787	1,068	0,541	0,871
3	2,825	0,641	0,841	2,397	0,618	0,742	2,283	0,600	0,788	2,109	0,615	0,871	1,870	0,602	0,988
4	3,712	0,674	0,894	3,336	0,661	0,797	3,246	0,657	0,858	3,026	0,673	0,954	2,671	0,664	1,104
5	4,599	0,707	0,948	4,274	0,703	0,851	4,208	0,714	0,927	3,943	0,732	1,037	3,472	0,725	1,221
6	5,485	0,741	1,001	5,213	0,745	0,906	5,171	0,772	0,996	4,859	0,790	1,121	4,274	0,787	1,338
7	6,372	0,774	1,055	6,151	0,787	0,960	6,133	0,829	1,065	5,776	0,849	1,204	5,075	0,848	1,455
8	7,259	0,807	1,108	7,090	0,830	1,015	7,096	0,886	1,135	6,693	0,907	1,287	5,876	0,910	1,571
9	8,146	0,840	1,162	8,028	0,872	1,069	8,058	0,943	1,204	7,610	0,966	1,371	6,678	0,971	1,688
10	9,033	0,873	1,215	8,967	0,914	1,124	9,021	1,000	1,273	8,527	1,024	1,454	7,479	1,033	1,805
№	Інтервали температур, °C														
	600-700			700-800			800-900			900-1000			1000-1100		
	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$	$\rho_e$	$C_m$	$\lambda$
1	0,390	0,461	0,820	0,808	0,448	0,868	1,150	0,441	0,868	0,622	0,428	0,902	0,309	0,438	0,914
2	1,282	0,523	0,943	1,593	0,511	0,965	1,553	0,534	0,961	0,734	0,529	0,973	0,309	0,540	0,984
3	2,174	0,586	1,067	2,377	0,574	1,062	1,957	0,628	1,054	0,846	0,630	1,044	0,309	0,642	1,053
4	3,066	0,648	1,190	3,162	0,637	1,159	2,360	0,721	1,147	0,958	0,732	1,115	0,310	0,745	1,123
5	3,958	0,711	1,313	3,947	0,700	1,256	2,763	0,814	1,240	1,070	0,833	1,186	0,310	0,847	1,193
6	4,851	0,773	1,437	4,731	0,763	1,353	3,167	0,908	1,333	1,182	0,934	1,256	0,310	0,949	1,262
7	5,743	0,836	1,560	5,516	0,826	1,450	3,570	1,001	1,426	1,294	1,035	1,327	0,310	1,051	1,332
8	6,635	0,898	1,683	6,301	0,889	1,547	3,973	1,094	1,519	1,406	1,137	1,398	0,311	1,154	1,402
9	7,527	0,961	1,807	7,085	0,952	1,644	4,377	1,188	1,612	1,518	1,238	1,469	0,311	1,256	1,471
10	8,419	1,023	1,930	7,870	1,015	1,741	4,780	1,281	1,705	1,630	1,339	1,540	0,311	1,358	1,541

Таблиця 5

Масив дискретних значень даних питомої щільності для різного складу шихти

№	Питома щільність шихти, кг/м <sup>3</sup>			
	1	2	3	4
1	2	3	4	5
1	1768,3	1808,5	1766,8	1748,3
2	1784,3	1823,8	1782,7	1764,0
3	1800,4	1839,1	1798,5	1779,7
4	1816,4	1854,5	1814,4	1795,4
5	1832,5	1869,8	1830,2	1811,1
6	1848,5	1885,1	1846,0	1826,8
7	1864,6	1900,5	1861,9	1842,5
8	1880,6	1915,8	1877,7	1858,1
9	1896,6	1931,1	1893,6	1873,8
10	1912,7	1946,5	1909,4	1889,5



У розглянутому алгоритмі (рисунок 2) оптимізація здійснюється за досить розповсюдженим у застосуванні методом повного перебору можливих варіантів [7-9]. Розрахунок похибки прогнозу теж виконується за відомою методикою [10], яка не викликає жодних сумнівів щодо її доцільності. Тож реалізація алгоритму й зроблена з використанням вже відомих програмних засобів щодо цього.

На основі вище описаного алгоритму (рисунок 2) та реалізації його за допомогою програмних засобів отримані наступні результати, що представлені в таблиці 6.

Таблиця 6

Отримані результати вирішення оптимізаційної задачі значень параметрів налаштування моделі руднотермічної печі типу РКЗ-2,5

Параметр	Інтервали температур, °С									
	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100
$\rho_e$ Ом·м	4,599	3,336	3,246	3,026	3,472	3,066	3,162	2,763	0,846	0,309
$C_m$ Дж/(кг·°С)	0,741	0,746	0,772	0,790	0,787	0,711	0,763	0,814	0,833	1,051
$\lambda$ Вт/(м·°С)	0,843	0,960	1,065	1,121	1,221	1,437	1,450	1,240	1,327	1,332
$\rho$ кг/м <sup>3</sup>	1846,0									

Значення вихідних величин, використаних для налаштування моделі, одержані в результаті реалізації тридцяти реальних плавок на печі РКЗ-2,5. Отримані при цьому значення параметрів представлені в таблиці 6. Щодо похибки прогнозу, то за величиною обсягу спожитої електричної енергії її мінімальне значення склало 2,8%, а за кількістю отриманого селікомарганцю – 2,4%. Обидві вони прийнятні для дослідження щодо технічних об’єктів, тож можна вважати, що запропонована модель є структурно й параметрично адекватною.

Цікавим є і те, що при цих мінімальних похибках прогнозу отриманих за параметрами налаштування, які одержані за першою вихідною величиною за другою вони склали відповідно 3,1% й 3,3%. Ці значення теж є прийнятними

для розрахункових досліджень. Тож якщо модель налаштована за однією вихідною величиною, то її можна не переналаштовувати за другою.

### Висновки

Ідентифікація параметрів комплексної моделі руднотермічної печі шляхом розв’язання оптимізаційної задачі щодо величини її середньоквадратичної похибки прогнозу при всіляко можливих у допустимих межах значеннях цих параметрів дозволяє одночасно визначитися й з структурною та параметричною адекватністю самої моделі.

Результати ідентифікації параметрів розглянутої моделі запропонованим оптимізаційним методом за результатами проведених реальних плавок на печі РКЗ-2,5 свідчить про її адекватність й можливість використання для проведення розрахункових експериментів для енергоефективності технологічного процесу, який розглядається.

Отримані при проведенні оптимізації ідентифікації параметрів моделі значення і її середньоквадратичних похибок щодо обсягу спожитої електричної енергії та кількості отриманого селікомарганцю свідчать про те, що при такому налаштуванні моделі відносно прийнятої вихідної величини переналаштувати її для розгляду другої (чи навпаки) фактично не потрібно.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Качан Ю.Г. Алгоритм розрахунку температурного поля ванни руднотермічної печі /Ю.Г. Качан, Ю.Б. Ліуш, В.Ю. Міщенко // Вісник ХНУ. – 2018. – № 3 (261). – С. 19-22.
2. Kachan Yu. H. Determination of distribution of introduced energy by volume of ore-thermal furnace. / Yu.H. Kachan, V.Yu. Mishchenko// Naukovyi Visnyk NHU. – 2019. – № 3. – 138-145
3. Mishchenko V.Yu. Definition ways of the current spreading process in the internal volume of the ore-thermal furnace./ V.Yu. Mishchenko, Yu.H. Kachan// Electrical Engineering And Power Engineering. – №2. – 2019. – 51-57
4. Качан Ю.Г. Визначення обсягів розплаву та шлаку під час плавки в феросплавній печі / Ю.Г. Качан, В.Ю. Міщенко// СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕТАЛУРГІЇ. Наукові вісті. №23, (2020). – Дніпро: НМетАУ –ІВК «Системні технології», 2020. – с. 53-62
5. Качан Ю.Г. Можливості зменшення обсягів електроспоживання руднотермічною піччю. / Ю.Г. Качан, В.Ю. Міщенко // СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕТАЛУРГІЇ. Наукові вісті. №25, (2022). – Дніпро: УДУНТ – ІВК «Системні технології», 2022. – с. 75-84
6. Качан Ю.Г. Визначення інтервалів щодо можливих значень параметрів шихти при одержанні феросплавів/ Ю.Г. Качан, В.Ю. Міщенко // Збірник наукових праць ДДТУ № 2(41), 2022. – с. 107-114
7. Шелудько Г.А., Науменко В.В., Стрельнікова О.О. Методи розв’язання задач оптимізації: Конспект лекцій. - Харків: УкрДАЗТ, 2014. – 50 с.

8. Методи оптимізації та дослідження операцій [Текст] : навчальний посібник / Укладачі: Я. Б. Сікора, А.Й. Щехорський, Б.Л. Якимчук. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. – 148 с.
9. Методи оптимізації без використання похідних: практикум з дисципліни «Дослідження операцій»[Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 113 «Прикладна математика», спеціалізації «Наука про дані та математичне моделювання» / Т. С. Ладогубець, О. Д. Фіногенов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 493 Кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 45 с.
10. Основи теорії похибок фізичних величин [Текст]: Методичні матеріали для загального фізичного практикуму/ Укладачі: Т.М. Демків, О.І. Конопельник, Я.І. Шопя. – Львів: Вид-во ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. – 40с.

#### REFERENCES

1. Kachan Yu.H. Alhorytm rozrakhunku temperaturnoho polia vanny rudnotermichnoi pechi /Yu.H. Kachan, Yu.B. Liush, V.Iu. Mishchenko // Visnyk KhNU. – 2018. – № 3 (261). – P. 19-22. (in Ukrainian)
2. Kachan Yu. H. Determination of distribution of introduced energy by volume of ore-thermal furnace. / Yu.H. Kachan, V.Yu. Mishchenko// Naukovyi Visnyk NHU. – 2019. – № 3. – 138-145 (in English)
3. Mishchenko V.Yu. Definition ways of the current spreading process in the internal volume of the ore-thermal furnace./ V.Yu. Mishchenko, Yu.H. Kachan// Electrical Engineering And Power Engineering. – №2. – 2019. – 51-57 (in English)
4. Kachan Yu.H. Vyznachennia obsiahiv rozplavu ta shlaku pid chas plavky v ferosplavnii pechi / Yu.H. Kachan, V.Iu. Mishchenko// SUCASNI PROBLEMY METALURHII. Naukovi visti. №23, (2020). – Dnipro: NMetAU –IVK «Systemni tekhnolohii», 2020. – P. 53-62 (in Ukrainian)
5. Kachan Yu.H. Mozhlyvosti zmenshennia obsiahiv elektrospozhyvannia rudnotermichnoiu pichchiu. / Yu.H. Kachan, V.Iu. Mishchenko // SUCASNI PROBLEMY METALURHII. Naukovi visti. №25, (2022). – Dnipro: UDUNT – IVK «Systemni tekhnolohii», 2022. – P. 75-84 (in Ukrainian)
6. Kachan Yu.H. Vyznachennia intervaliv shchodo mozhlyvykh znachen parametriv shykhty pry oderzhani ferosplaviv/ Yu.H. Kachan, V.Iu. Mishchenko // Zbirnyk naukovykh prats DDTU № 2(41), 2022. – P. 107-114 (in Ukrainian)
7. Sheludko H.A., Naumenko V.V., Strelnikova O.O. Metody rozviazannia zadach optymizatsii: Konspekt lektzii. - Kharkiv: UkrDAZT, 2014. – 50 p. (in Ukrainian)
8. Metody optymizatsii ta doslidzhennia operatsii [Tekst] : navchalnyi posibnyk / Ukladachi: Ya. B. Sikora, A.I. Shchekhorskyyi, B.L. Yakymchuk. – Zhytomyr: Vyd-vo ZhDU im. Ivana Franka, 2019. – 148 p. (in Ukrainian)
9. Metody optymizatsii bez vykorystannia pokhidnykh: praktykum z dystsypliny «Doslidzhennia operatsii»[Elektronnyi resurs]: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 113 «Prykladna matematyka», spetsializatsii « Nauka pro dani ta matematyчне modeliuвання» / Т. S. Ladohubets, О. D. Finohenov; KPI im. Ihoria Sikorskoho. – Elektronni tekstovi dani (1 fail: 493 Kbait). – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2020. – 45 p. (in Ukrainian)
10. Osnovy teorii pokhybok fizychnykh velychyn [Tekst]: Metodychni materialy dlia zahalnoho fizychnoho praktykumu/ Ukladachi: T.M. Demkiv, O.I. Konopelnyk, Ya.I. Shopa. – Lviv: Vyd-vo LNU im. Ivana Franka, 2008. – 40 p. (in Ukrainian)

**IDENTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE COMPLEX  
ORE THERMAL FURNACE MODEL AND ITS ADEQUACY**

Previously, the development of an algorithmic model of the operation of an ore-thermal furnace was considered, which takes into account the specifics of electrical, thermal and chemical processes that are directly interconnected when producing ferroalloys. The versatility of this algorithm lies in the possibility, depending on the set goals, of interrupting the cycle of calculations in the subsequent determination of either the amount of spent electrical energy (total and current), or the formed melt (also total and current), or something else.

The model is adjusted according to the physical parameters of the charge, such as: - specific electrical resistance; - mass heat capacity; - specific density; - thermal conductivity coefficient. Their values have their limits of fluctuation depending on the temperature. Given the above, it is very difficult to obtain the latter for each specific melt. Therefore, it is suggested to search for them by solving the computational optimization problem based on the results of the performed fusions. The use of computational identification provides another significant advantage - the ability to establish the structural inadequacy of the model.

To implement the proposed identification method, it is necessary to pre-set the intervals within which the desired parameters are found with sufficient probability. It is obvious that they can be determined based on already available information. At the beginning of this experiment, the number of intervals is selected for dividing the parameter values in their predefined ranges and the corresponding data arrays are created. Next, the first combination is selected and all the necessary calculations are carried out on the simulation mathematical model of the ore-thermal furnace, the results of which are compared with the real values obtained at the facility and the forecast error is calculated. Then another combination of parameter values is taken and the same calculations are performed. Then, in the same way, all possible variants of values are enumerated. After the end of the sorting cycle, the values of all parameters are displayed for which the minimum calculation error was obtained. If the latter is acceptable from the point of view of research, then it is considered that the combination of values of the model setting parameters is

found, namely the model is adequate to the process. And this, in turn, makes it possible to use it for further computational calculations.

The identification of the parameters of the complex model of the ore-thermal furnace by solving the optimization problem regarding the value of its root mean square error of the forecast at all possible values of these parameters within the permissible limits allows to simultaneously determine the structural and parametric adequacy of the model itself.

**Keywords:** ore-thermal furnace, charge parameters, ferroalloys, algorithmic model, optimization problem.

*Мищенко Владислав Юрійович*, асистент кафедри електропостачання промислових підприємств, Національний університет «Запорізька політехніка».

*Mishchenko Vladyslav*, assistant lecturer of the department of power supply of industrial enterprises, National university "Zaporizhzhya Polytechnic".