

15. **Запольський А.К.** Основи екології: Підручник [Текст] / За ред. **К.М. Ситника / А.К. Запольський, А.І. Салюк.** – К.: Вища школа, 2004. – 254 с.
16. **Снітинський В.В.** Інженерна екологія: навч. посібник [Текст] / **В.В. Снітинський, О.Т. Мазурак, М.А. Саницький, А.В. Мазурак.** – Львів: Арал, 2010. – 374 с.
17. Інтернет-сайт Міністерства охорони навколишнього природного середовища [Текст]. – Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/>. – 14.09.2023. – Назва з екрану.
18. Криворізький ресурсний центр. Екомоніторинг. – Режим доступу: <https://www.krmisto.gov.ua/>. – 11.09.2023. – Назва з екрану.
19. **Мельник Л.Г.** Досвід Європейського Союзу у формуванні інноваційної стратегії сталого розвитку/Л.Г. Мельник, І.Б. Дегтярьова // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2012. – №1. – С. 190-200.
20. На порядку денному посилення дієвості національної екологічної політики [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://ecos.kiev.ua/news/view/218>. – 11.09.2023. – Назва з екрану.
21. Про стан атмосферного повітря м. Кривого Рогу [Текст] [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://kr.gov.ua/ua/news/pg/260221847437619\\_n/](https://kr.gov.ua/ua/news/pg/260221847437619_n/) офіційний сайт виконкому Криворізької міської ради. – 14.09.2023. – Назва з екрану.
22. **Рассадникова С.І** Принципові засади удосконалення системи управління природокористуванням / **С.І. Рассадникова**// Економічні інновації: збірник наукових праць. – Одеса, 2015. – Вип. 60, Книга II: С. 127-137.

УДК 621.311

В.Ю. МІЩЕНКО, асистент  
Національний університет «Запорізька політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РУДНОТЕРМІЧНОЇ ПЕЧІ ШЛЯХОМ ВИБОРУ ДОЦІЛЬНОГО ДІАМЕТРУ РОЗПАДУ ЕЛЕКТРОДІВ

**Метою досліджень** є з'ясувати доцільність зміни діаметру розпаду електродів заданого типу руднотермічної печі та складу використовуваної шихти задля підвищення енергоефективності її роботи.

**Методи дослідження.** Проаналізовані існуючі підходи щодо вирішення цього питання з відомих наукових джерел. Для подальшого вирішення поставлених задач використано математичне моделювання та розрахункові експерименти.

**Наукова новизна.** Виявлено, що попередні дослідження робились на реальних печах малої потужності і не враховували всі можливі обмежувальні фактори. До недоліків таких натуральних експериментів можна віднести наступне: - не врахована критично допустима межа близькості електродів до футерування ванни; - не розглянуто й компонентно-кількісний склад шихти, який теж впливає на енергетичні показники РТП. Запропоновано на комплексній моделі роботи круглої трьохелектродної руднотермічної печі, провести вище зазначені експерименти та з'ясувати динаміку зростання температури в різних окремих її зонах. На основі цих розрахункових досліджень щодо зміни діаметру розпаду електродів задля знаходження допустимої граничної межі їх розведення виявити можливість більш рівномірного прогріву шихти для різного її компонентно-кількісного складу.

**Практична значимість.** Отримані результати показали, що збільшення діаметру розпаду електродів суттєво підвищує енергоефективність печі, однак існують обмеження пов'язані з належною експлуатацією футерування печі при надто близькому розташуванні до них. Слід також зазначити, що представлена в роботі методика та використаний інструментарій дозволяють проводити подальші подібні дослідження для будь-яких печей такого типу та різного компонентно-кількісного складу шихти і, зменшуючи дискретність діаметру розпаду електродів, точніше визначити бажану його величину.

**Результати.** У кожному конкретному випадку необхідно визначити допустиму межу розведення електродів. Для існуючих в Україні печей необхідно мати конструктивний механізм щодо можливості такого розведення. Встановлено, що компонентно-кількісний склад шихти, хоч і не в значній мірі, також впливає на обсяги споживання пиччою електричної енергії. Крім того за рахунок доцільного розведення електродів в печі, спостерігається ще і скорочення часу плавки, а це підвищує продуктивність обладнання та ефективність використання футеровки і електродів.

**Ключові слова:** руднотермічна піч, діаметр розпаду електродів, енергоефективність, електрична енергія, комплексна математична модель, компонентно-кількісний склад шихти

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-31-37

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В умовах підвищення цін на енергоресурси все актуальнішим постає питання вдосконалення, реконструкції та підвищення енергоефективності роботи руднотермічної печі зі збереженням вимоги до технологічного процесу та зниженням витрат електричної енергії на тонну готової продукції. Вирішенню

цієї проблеми присвячено багато наукових праць. В них розглядаються багато різноманітних методик та підходів щодо впровадження нових заходів енергозбереження. Однак саме питанню впливу зміни діаметру розпаду електродів у ванні руднотермічної печі приділено недостатньо уваги, а якщо ж такі дослідження і проводились то на реальних печах і в обмеженій кількості експериментів і це було майже 30-40 років тому, що може вже не відповідати сучасному стану розвитку феросплавного виробництва. Раніше проектування руднотермічних печей виконувалось при невизначеності цього питання через низьку вартість енергоресурсів. Тож задача енергоефективності не була пріоритетною. Пропонується за допомогою наявного сучасного інструментарію провести більш детальні та комплексні розрахункові дослідження з цього приводу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** В даний час для більшості руднотермічних печей величини піделектродного проміжку та діаметру розпаду електродів змінюються в незначному діапазоні відносних величин щодо діаметру електрода  $0,6-0,9d_e$  та  $2,23-2,32d_e$  відповідно [1,2]. Щодо доцільності використання інших співвідношень у сучасних умовах отримання феросплавів було проведено недостатньо досліджень. Однак в роботі [3] все ж таки запропонована методика та проведені промислові дослідження [4,5] на печах малої потужності щодо пошуку доцільних значень діаметру зазначеного розпаду та піделектродного простору.

Були проведені плавки з відмінними, ніж звичайні, значеннями міжелектродного проміжку та відстані між електродами. Оскільки це супроводжується поступовим зростанням додаткового перерізу провідника у ванні печі (електрод-подина) і його встановленого діаметра, то для нормальної роботи печі (при збереженні відсотка міжелектродного струму) необхідно або збільшити діаметр розпаду, або відстань між електродами та ванною. Для підтвердження цього були проведені пробні серії щодо виробництва силікомарганцю зі стандартним і збільшеним діаметром розпаду. При цьому розміри останнього становили 2,18; 3,0; 4,5 і 6,0 одиниць відносно діаметрів електродів.

Випробування були проведені на печах малої потужності (138–329 кВА), розміри топки яких змінені відповідно до величини зазору. Діаметр графітових електродів становили 150 мм. Силікомарганець був виготовлений із суміші марганцевого агломерату, концентрату, кварцу і коксового дріб'язку. У кожній кампанії сплав і шлак скидалися щогодини, а електродний струм зберігався на рівні 4 кА. Отримані результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники пробних плавок

Параметр	Номер плавки			
	1	2	3	4
Відстань між електродами, $d_p/d_e$	2,18	3,00	4,50	6,00
Глибина занурення електродів у шихту, $h/d_e$	1,5-1,7	1,4-1,5	1,5-1,6	1,5-1,7
Міжелектродний проміжок,	0,7-0,83	0,8-1,0	3,1-3,2	3,4-3,6
Використовувана потужність трансформатора, кВА	137,7	176,6	276,6	329,0
Активна потужність печі, кВт	110,6	159,8	265,7	319,8
Корисна потужність, кВт	107,6	156,0	260,4	314,4
Опір ванни, мОм	6,73	9,75	16,28	19,65
Приріст опору ванни, %	-	44,9	141,9	192,0
Споживання електроенергії на базову тону сплаву, кВт·год	9250	8690	7283	6982

Виготовлення силікомарганцю з різними діаметрами розпаду електродів та проміжку між ними показує, що при збільшенні цих параметрів одночасно істотно збільшується опір ванни і потужність, що виділяється в ній так як корисна напруга зростає без будь-якої зміни величини струму в електродах. Тобто автором доведено, що обсяг споживання електричної енергії піччю при цьому зменшується.

До недоліків таких натуральних експериментів можна віднести наступне:

кожна діюча промислова руднотермічна піч має свої геометричні розміри і відповідно діаметр електродів, що в ній використовуються. Тобто приведені співвідношення  $d_p/d_e$  не завжди можуть бути фізично реалізовані;

не врахована критично допустима межа близькості електродів до футерування ванни, що може призвести до швидкого руйнування останнього та пошкодження печі у цілому;

не розглянуто й компонентно-кількісний склад шихти, який теж впливає на енергетичні показники РТП.

Тому для існуючих круглих трьохелектродних руднотермічних печей ці питання необхідно додатково дослідити, звісно, що вже на їх моделях, шляхом реалізації відповідних розрахункових експериментів.

**Постановка задачі.** Провести розрахункові дослідження конкретної руднотермічної печі щодо пошуку критичної, з точки зору температури футеровки, межі збільшення діаметру розпаду електродів з різним складом завантажувальної шихти з метою підвищення енергоефективності її роботи.

**Викладення матеріалу та результати.** Запропоновано провести розрахункові дослідження зміни діаметру розпаду електродів на комплексній моделі роботи круглої трьохелектродної руднотермічної печі, що представлено в роботах [6-9]. Вхідними даними якої є геометричні, електричні та технологічні параметри діючої печі типу РКЗ-2,5 для отримання селікомарганцю, що представлені в табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Електричні та геометричні параметри печі РКЗ-2,5

Параметр	Од.виміру	Значення
Геометричні		
Зовнішній діаметр корпусу, $D_z$	мм	3700
Зовнішня висота печі, $H_z$	мм	2730
Внутрішній діаметр ванни, $D_e$	мм	2100
Внутрішня висота ванни, $H_e$	мм	1550
Діаметр електрода, $d_e$	мм	350
Діаметр розпаду електродів, $d_p$	мм	1100
Глибина занурення електродів у шихту	мм	1000
Електричні		
Потужність печі	МВА	2,5
Потужність пічного трансформатора	МВА	5,0
Електродний струм	кА	12
Напруга на електродах	В	89-178

Таблиця 3

Компонентний та кількісний склад шихт, що використовуються при одержанні селікомарганцю

Назва компоненту	Склад шихти			
	Шихта-1	Шихта-2	Шихта-3	Шихта-4
Марганцева руда, кг	2 600	2 600	2 600	2 600
Кокс W-14,0%, кг	700	800	880	980
Вапняк, кг	450	500	500	500
Кварцит Васильківський, кг	400	400	400	400
Скрап власного виробництва ~ 25% мет.фази, кг	400	400	400	400
Техногенний матеріал фр.0-30мм, кг	1400	1 400	1 400	1 400
Техногенний матеріал фр.0-300мм, кг	200	200	200	200
Загальна маса шихти, т	6,15	6,30	6,38	6,48

Враховуючи приведені вище дані виконано налаштування моделі та ідентифікація її змінних параметрів [10]. Останнє необхідно робити для кожного компонентно-кількісного складу шихти. Геометричні та електричні параметри корегувалися відповідно до модельних досліджень. Так як комплексна модель дозволяє визначити температуру у будь-якому місці ванни печі впродовж експерименту [6], то остання ще розділена на зони (рис. 1) в яких і визначалась динаміка зростання температури.

Таким чином запропоновано, визначаючи динаміку зростання температури в зазначених зонах печі (I, II, III, IV), змінювати діаметр розпаду електродів для кожної умовної плавки з метою знаходження доцільного його значення, яке забезпечить більш рівномірний прогрів шихти з урахуванням зазначених вище обмежень.

Під час досліджень зроблено по шість експериментів для кожного, приведеного в (табл. 3), складу шихти: спочатку з існуючим розпадом електродів в 1,1 м, а потім з 1,2 м; 1,3 м; 1,4 м; 1,5 м та 1,6 м відповідно. Якщо ж розглядати зазначені значення у відносних одиницях до діаметру електродів, то вони складатимуть 3,14; 3,43; 3,71; 4,00; 4,29 та 4,57. Подальше збільшення цього показника було не можливим, через геометричні розміри ванни. Інші параметри печі не змінювались.

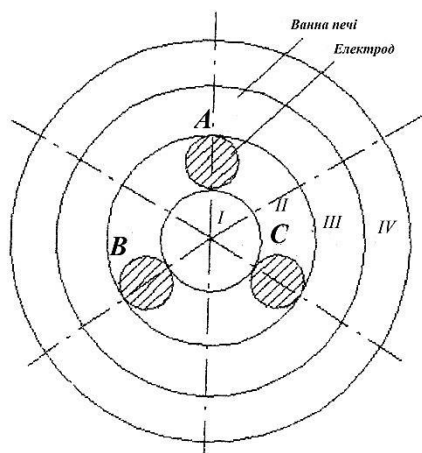


Рис. 1. Температурні зони руднотермічної печі

Обмежуючим фактором є те, що футеровка реальних печей виконується з вогнетривких матеріалів, нижній шар якої є шамотна цегла, а верхній – високоглинозесті вироби, що мають максимально допустиму температура в 1600°C [11-13]. Враховано також, що час плавок за існуючою технологічною документацією складає 255 хвилин, а споживання електричної енергії контролюється на рівні 5000 кВт·год, при цьому температура розплаву до 1550°C.

Результати розрахункових досліджень представлені в табл. 4, що має наступні позначення:  $t_1$ ,  $t_{II}$ ,  $t_{III}$ ,  $t_{IV}$  – час досягнення температури розплаву в 1550°C зонами печі;  $t_{\phi}$  – найбільша температура стінок футерування ванни печі навпроти електродів на момент завершення плавки;  $W$  – витрата електричної енергії. Тривалість плавки визначається найбільшим значенням  $t$ .

Таблиця 4

Результати проведених розрахункових досліджень

Склад шихти	$t_1$ , хв	$t_{II}$ , хв	$t_{III}$ , хв	$t_{IV}$ , хв	$t_{\phi}$ , °C	$W$ , кВт·год
$d_p=1,1\text{м}$						
Шихта 1	200	230	240	255	1450	5000
Шихта 2	195	230	239	255	1460	5000
Шихта 3	196	235	240	255	1450	5000
Шихта 4	193	228	237	255	1455	5000
$d_p=1,2\text{м}$						
Шихта 1	210	222	231	240	1480	4730
Шихта 2	205	220	230	235	1490	4670
Шихта 3	202	215	222	231	1485	4585
Шихта 4	199	211	220	227	1480	4495
$d_p=1,3\text{м}$						
Шихта 1	205	218	225	235	1510	4585
Шихта 2	205	222	226	230	1520	4480
Шихта 3	198	209	218	225	1510	4365
Шихта 4	195	211	215	221	1510	4215
$d_p=1,4\text{м}$						
Шихта 1	205	217	221	231	1560	4095
Шихта 2	205	219	221	225	1570	4050
Шихта 3	198	206	213	218	1550	3940
Шихта 4	193	204	211	213	1570	3860
$d_p=1,5\text{м}$						
Шихта 1	201	213	215	224	1640	3895
Шихта 2	200	205	210	220	1650	3860
Шихта 3	194	200	205	212	1650	3790
Шихта 4	190	198	203	209	1660	3705
$d_p=1,6\text{м}$						
Шихта 1	193	206	211	218	1710	3805
Шихта 2	190	195	198	212	1700	3720
Шихта 3	190	196	204	207	1700	3630
Шихта 4	185	194	199	201	1720	3585

Виходячи з максимально допустимої робочої температури футерування печі, максимальна межа зміни діаметру розпаду для всіх видів шихт склала 1,4 м. Подальше розведення електро-

дів призведе до швидкого зношування, а в деяких випадках, і до непередбачуваного руйнування футерування, що небезпечно для нормального функціонування всієї РТП.

Отже, для даної печі з її геометричними параметрами, компонентно-кількісний склад шихти практично не впливає на критичну межу розведення електродів при виплавленні селікомарганцю. Однак при суттєво інших комбінаціях шихтових матеріалів цей фактор необхідно додатково досліджувати. Встановлено, також, що в залежності від кількісного складу шихти споживання електричної енергії піччю змінюється. Це обумовлено збільшенням частки коксу, який має високу електропровідність та є додатковим джерелом тепла за рахунок згорання.

Для ілюстрації рівномірності і швидкості прогріву шихти для максимально допустимої межі в 1,4 м діаметру розпаду електродів та існуючій в 1,1 м для «Шихти 2» на рис. 2 та 3 наведені відповідні графіки. В них виявляється, що в останньому випадку спостерігається значний перепад температур між зонами. Перша нагрівається дуже інтенсивно через протікання в ній значних струмів, тоді ж коли третя і четверта надто повільно, оскільки здебільшого зростання температури в них відбувається за рахунок теплопередачі від інших зон. Нерівномірність прогріву шихти складає 60 хвилин, тобто в першій зоні спостерігається тривалий і значний перегрів, що й зумовлює нераціональне використання електричної енергії.

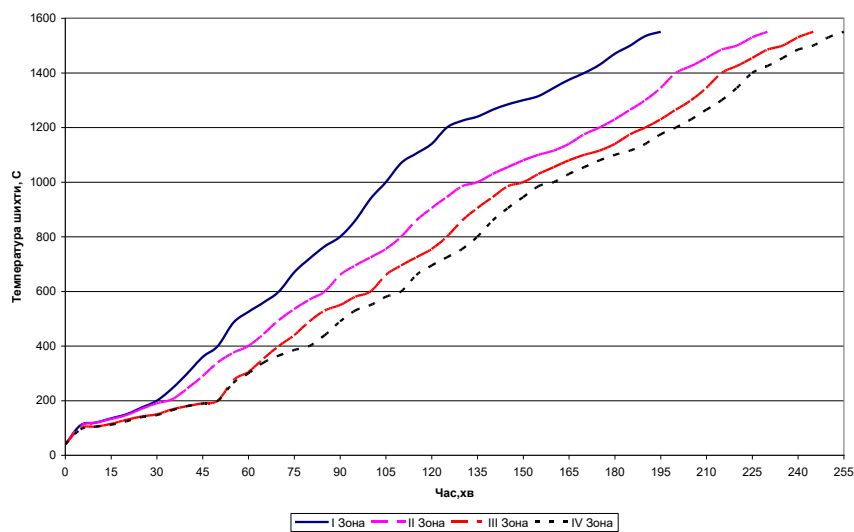


Рис. 2. Динаміка нагріву шихти за різними зонами ванни печі при діаметрі розпаду електродів в 1,1 м

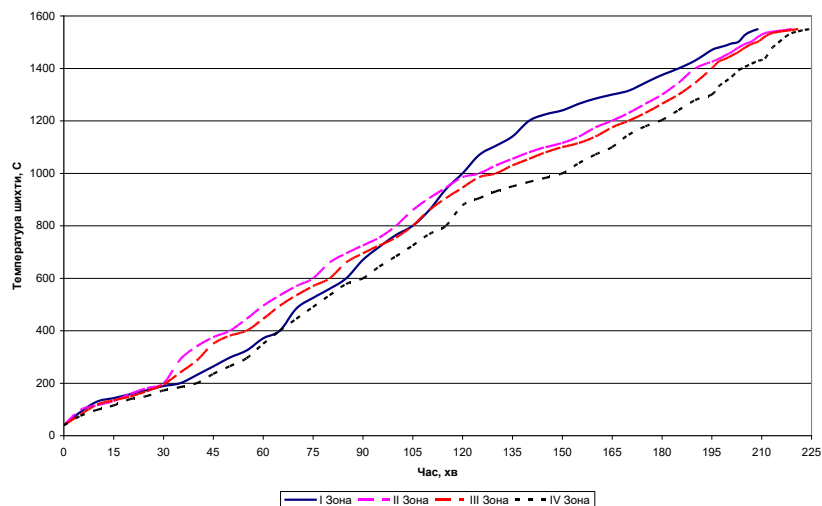


Рис. 3. Динаміка нагріву шихти за різними зонами ванни печі при діаметрі розпаду електродів в 1,4 м

При критичному ж діаметрі розпаду електродів в  $d_p=1,4$  м (рис. 3) спостерігається інтенсифікація нагріву в другій та третій зонах, що обумовлено розташуванням електродів в цих зонах, а також спочатку дещо повільний прогрів першої зони. Економія у часі і нерівномірність нагріву склали 30 хвилин та 16 хвилин відповідно.

Отже виходячи з отриманих результатів експериментів пропонується в печі РКЗ-2,5 для виплавки селікомарганцю виставляти діаметр розпаду електродів на рівні 1,4 м, що знизить рівень споживання електричної енергії на (18,1– 22,8)% в залежності від складу шихти, що є суттєвим показником енергоефективності. Тобто крім з'ясування критично допустимої межі розведення електродів необхідно ще враховувати й компонентно-кількісний склад шихти, що дає додатково 4,5% економії.

Всі руднотермічні печі, які експлуатуються в Україні [14, 15], на жаль, не мають механізмів розведення електродів, однак в країнах СНД це вже можливо [16]. Тож і запропоновано для впровадження в залежності від того на якому шляху йде удосконалення вітчизняних РТП й при можливості або у відповідності до складу шихти перед початком кожної серії плавок одноразово налаштовувати цей параметр або мати можливість робити це для кожної плавки чи, навіть, в процесі її проведення.

Слід також зазначити, що представлена в роботі методика та використаний інструментарій дозволяють проводити подальші подібні дослідження для будь-яких печей такого типу та різного компонентно-кількісного складу шихти і, зменшуючи дискретність діаметру розпаду електродів, точніше визначити бажану його величину.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Вперше на комплексній математичній моделі роботи руднотермічної печі проведені дослідження щодо впливу зміни діаметру розпаду електродів на енергоефективність її роботи з врахуванням додаткових факторів таких як: компонентно-кількісний склад шихти; максимально допустиме значення температури розплаву в зоні футерування; реальні геометричні розміри діючої РТП. Встановлено, що зазначені вище фактори впливають на максимально допустиму межу розведення електродів та на обсяги споживання електричної енергії.

Якщо конструкція РТП дозволяє розводити електроди у горизонтальній площині, і виставити їх у відповідності до результатів розрахунків, то це призведе до зменшення обсягів споживання електричної енергії в межах 20%. При визначенні найкращого кількісного складу шихти, в межах технологічних умов плавки, додаткова економія електроенергії може скласти до 4,5%. Якщо в реальній руднотермічній печі не має механізму зміни діаметру розпаду електродів, то необхідно встановити його одноразово безпосередньо на підприємстві в процесі реконструкції, у відповідності до того які шихтові матеріали здебільшого використовуються на ньому.

Крім зменшення кількості спожитої електричної енергії на одну плавку за рахунок доцільного розведення електродів в печі, спостерігається ще і скорочення її проведення, а це підвищує продуктивність обладнання та ефективність використання футеровки і електродів.

#### *Список літератури*

1. Струнский Б.М. Расчёты руднотермических печей. – М.: Металлургия. - 1982.- 192 с.
2. Гаврилов В.А., Поляков И.И., Поляков О.И. Оптимизация режимов работы ферросплавных печей. – М.: Металлургия. – 1996. -176 с.
3. Shkirmontov A.P. Establishing the theoretical foundations and energy parameters for the production of ferroalloys with a larger-than-normal gap under the electrode // Metallurgist. – 2009. – V. 53. – N 5-6. – P. 300 – 308. Scopus, Q3.
4. Shkirmontov A.P. Theoretical principles and energy parameters in ferrosilicon production with an increase in the electrode spacing and the distance from the electrodes to the bath // Metallurgist. – 2009. – V. 53. – N 5–6. – P. 373 – 379. Scopus
5. Shkirmontov A.P. Determination of the energy parameters for the smelting of manganese ferroalloys with increases in the electrode gap and electrode spacing // Metallurgist.–2009.– V. 53.– N 7-8. – P.512 – 517. Scopus, Q3
6. 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.
7. Качан Yu. H. Determination of distribution of introduced energy by volume of ore-thermal furnace. / Yu.H. Качан, V.Yu. Mishchenko// Naukovyi Visnyk NHU. – 2019. – № 3. – 138-145
8. Mishchenko V.Yu. Definition ways of the current spreading process in the internal volume of the ore-thermal furnace./ V.Yu. Mishchenko, Yu.H. Качан// Electrical Engineering And Power Engineering. – №2. – 2019. – 51-57
9. 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
10. Міщенко В.Ю. Ідентифікація параметрів комплексної моделі руднотермічної печі та її адекватність. /В.Ю. Міщенко // СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕТАЛУРГІЇ. Наукові вісті. №26, (2023). – Дніпро: УДУНТ – ІВК «Системні технології», 2023. – с. 71-83

11. Єгоров, С. Г. Конструкції агрегатів кольорової металургії [Текст] / С. Г. Єгоров, І. Ф. Червоний, Р. М. Воляр, під ред. д.т.н., проф. Червоного І. Ф.; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 230 с.
12. Матрюков, Б. С. Теория, конструкция и расчёт металлургических печей. Т.2. Расчёты металлургических печей [Текст] / Б. С. Матрюков. – М.: Металлургия, 1986. – 376 с.
13. Металлургия марганца Украины / Б.Ф.Величко, В.А.Гаврилов, М.И.Гасик, С.Г.Грищенко, А.В.Коваль, А.Н.Овчарук // Київ, Техніка. 1996 – 470 с
14. Офіційний сайт АТ «Запорізький завод феросплавів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zfz.com.ua/>
15. Офіційний сайт АТ «Нікопольський завод феросплавів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nzf.com.ua/main.aspx>
16. Офіційний сайт компанії «YDD CORPORATION» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://yddcorp.kz/>

УДК 624.15

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., Д.А. КРИШКО, канд. техн. наук, ст. викладач,  
В.О. САВЕНКО, канд. техн. наук, наук. співроб., О.А. БЕЛКОВ, А.І. ГАРКУША,  
А.В. КОКОВИЧ, магістранти  
Криворізький національний університет

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ПЛИТНО-ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

**Мета.** Дослідження напружено-деформованого стану плитно-пального фундаменту і створення методів розрахунку для визначення несучої здатності та осідань для плитно-пальових фундаментів.

**Методи дослідження.** Основою досліджень є джерела в галузі геотехніки та пальових фундаментів авторами яких є вітчизняні та зарубіжні вчені, теоретичні та експериментальні методи які базуються на експериментальних дослідженнях, узагальненні та порівнянні результатів.

**Наукова новизна.** Розглянуто дані щодо особливостей поведінки плитно-пального фундаменту при циклічному навантаженні, розвитку осідань і втрати несучої здатності. Досліджено розрахункову модель деформування елементів конструкції плитно-пального фундаменту з урахуванням напружено-деформованого стану, що виникає під час циклічного навантаження. Розглянуто аналітичні залежності для опису процесу зміни несучої здатності та осідання плитно-пального фундаменту при циклічному навантаженні. Розглянуто метод розрахунку несучої здатності й осідань основ плитно-пальових фундаментів при циклічному навантаженні.

**Практична значимість.** Полягає у викладених інженерних методиках визначення несучої здатності та деформацій плитно-пальових фундаментів, які дають змогу оцінити вплив циклічного навантаження на будівлі та споруди, зведені на плитно-пальових фундаментах, з можливістю отримання оптимальних проєктних рішень під час проєктування плитно-свайних фундаментів.

**Результати.** Проведено аналіз методів розрахунку несучої здатності та деформацій пальових, плитних і плитно-пальових фундаментів у разі циклічного та статичного навантаження, які існують на сьогодні, огляд та оцінку результатів експериментальних і теоретичних досліджень та розрахункових моделей для плитно-пальових фундаментів у разі циклічного і статичного навантаження. Визначено деформації та напруження, що виникають в елементах плитно-пального фундаменту під час дії циклічного навантаження. Визначення взаємодії між елементами системи "палі - плитний ростверк - ґрунтова основа" під час дії циклічного навантаження на будь-який плитно-пальовий фундамент. Розглянуто розрахункову модель для плитно-пального фундаменту під час дії навантаження за циклічним законом.

**Ключові слова:** плитно-пальовий фундамент, несуча здатність, осідання, ґрунтова основа, напружено-деформований стан.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-57-37-43

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** В сучасних умовах при будівництві будівель тенденція полягає в збільшенні навантажень на ґрунтові основи і використанні слабких ґрунтів як основ, що сприяє поширенню плитно-пальових фундаментів як одного з найпоширеніших способів збільшення несучої здатності та зменшення осідань. При цьому цей вид фундаментів і їхні основи поряд зі статичними, піддаються впливу різного роду циклічних навантажень, які в цілому ряді випадків є основними, що визначають безпеку експлуатації будівель і споруд. Під час проєктування будівель і споруд, під час експлуатації яких виникає необхідність у спільному врахуванні статичних і циклічних впливів. Серед першочергових завдань виступає встановлення несучої здатності фундаменту, а також прогнозування