

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра металургії, матеріалознавства та організації виробництва

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП Металургія сталі

Христина МАЛІЙ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Металургія сталі»  
за спеціальністю 136 Металургія

**на тему «Дослідження умов експлуатації вогнетривів кисневих  
конвертерів і розробка диференційного футерування робочого  
шару»**

Керівник роботи

Олександр СТОЯНОВ

Консультант від  
бази практики

Євген БРАГІНЕЦЬ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання  
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Дмитро БОГДАН

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Кам'янське 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>металургії, матеріалознавства та організації виробництва</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>136 – Металургія</u>
ОПП	<u>Металургія сталі</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП Металургія сталі

Христина Малій

«05» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Богдана Дмитра Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження умов експлуатації вогнетривів кисневих параметрів конвертерів і розробка диференційного футерування робочого шару

керівник роботи Стоянов Олександр Миколайович, доцент, канд. техн. наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 15.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Пропозиції щодо покращення умов експлуатації футерівки конвертерів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження експлуатації сучасних футерівок кисневих конвертерів. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз даних роботи на знос конвертора при використанні різновидів шихтових матеріалів. Визначення взаємозв'язків впливу параметрів конвертерної плавки та вогнетривів. Розробка заходів по покращенню умов експлуатації футерівки конверторів. Розділ 3. Охорона праці. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 6 слайдів основної частини 1 слайд економічна частина.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Стоянов О.М., доцент
Розділ 2	Стоянов О.М., доцент
Розділ 3	Стоянов О.М., доцент
Розділ 4	Латишева О.В., доцент
Оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	Стоянов О.М., доцент
Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	Стоянов О.М., доцент
Захист	Стоянов О.М., доцент

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичний розділ (Аналітично-пошуковий)	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Технологічний розділ	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Охорона праці	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічний розділ	03. 01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.204 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

Дмитро БОГДАН

Керівник роботи

Олександр СТОЯНОВ

## РЕФЕРАТ

Богдан Д. С. Дослідження умов експлуатації вогнетривів кисневих конвертерів і розробка диференційного футерування робочого шару - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 136 Металургі. ОПП «Металургія сталі» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кам'янське, 2024.

Об'єктом дослідження є виробництво сталі в кисневому конвертері.

Предметом дослідження є футерування кисневого конвертеру.

В першому розділі розглянуто футерування кисневого конвертера, визначено вимоги до вогнетривких матеріалів, проаналізовано схеми футерування та засоби підвищення терміну служби футерівки.

В другому розділі проведено статистичний аналіз паспортів плавок та математичне моделювання. Встановлено, що негативним ефектом відзначається збільшення кількості шлаку та його текучості, підвищенні концентрації у шлаку оксиду кремнію та зростання температури плавки.

В третьому розділі розглянуті питання охорони праці та захисту навколишнього середовища в конвертерному цеху.

В четвертому розділі проведено розрахунок економічної ефективності від застосування раціональних з точки зору подовження кампанії футерівки параметрів конвертерної плавки.

КОНВЕРТЕР, ФУТЕРІВКА, КАМПАНІЯ, ДИФЕРЕНЦІЙНЕ ФУТЕРУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ

### Список публікацій здобувача

Bohdan D.S., Malii Kh.V., Stoianov O.M. Theoretical aspects of the causes of

the formation of a slag floor on the surface of the refresh. *International scientific conference "MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education": conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia)*. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2023. Vol. 1.pp. 12-14. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-1>

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Розвитку технологій футерування кисневого конвертеру .....	11
1.2 Схема футеровки кисневого конвертера .....	13
1.3 Сучасні технології та інновації в області футерування кисневого конвертера .....	25
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА .....	29
2.1 Особливості футерування кисневого конвертеру в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».....	30
2.1.1 Умови експлуатації футерівки конвертеру ПрАТ «КАМЕТ- СТАЛЬ» .....	34
2.1.2 Методи догляду за футерівкою конвертера.....	35
2.1.3 Аналіз стану футерування кисневого конвертеру наприкінці кампанії .....	36
2.2 Досліджень умов роботи конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ- СТАЛЬ».....	38
2.2.1 Методика дослідження.....	38
2.2.2 Основні показники роботи кисневого конвертеру ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» .....	39
2.3 Моделювання впливу технологічних показників плавки на питому витрату футерівки .....	49
2.4 Рекомендації щодо застосування диференційного футерування робочого шару конвертера.....	56
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ....	60
3.1 Охорона праці .....	60
3.1.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки .....	60
3.1.2 Заходи поліпшення умов праці.....	65
3.2 Захист навколишнього середовища.....	70

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	75
4.1 Розрахунок собівартості сталі .....	75
4.2 Розрахунок економічного ефекту .....	79
ВИСНОВКИ .....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	84

## ВСТУП

На сьогодні більша частина сталі у світі виробляється в кисневих конвертерах. При цьому спостерігається тенденція до збільшення терміну кампанії, тому питання що стосуються футерування конверторів є важливими [1].

Дослідження в галузі футерування спрямоване на вдосконалення матеріалів та технологій, що використовуються для захисту стінок конвертера дозволяє підвищити продуктивність та оптимізувати енерговитрати у сталеплавильному виробництві [2]. Також це сприяє впровадженню нових технологій та інновацій у виробництво сталі, включаючи в себе використання нових матеріалів, методів застосування та контролю процесів.

Оптимізоване футерування може призвести до зменшення витрат на матеріали та обслуговування конвертерів. Це важливо для підприємств, оскільки дозволяє ефективніше використовувати ресурси та знижує витрати на обслуговування. Зменшення витрат на футерування та вдосконалення процесів може сприяти зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Екологічна стійкість стає важливим аспектом виробництва.

Підприємства, які володіють передовими методами футерування, можуть мати конкурентну перевагу на ринку сталеплавильної продукції. Вивчення нових матеріалів та технологій футерування може розширити можливості використання кисневих конвертерів для виробництва різних видів сталі та сприяти диверсифікації продукції.

Дослідження футерування є стимулом для виробників впроваджувати нові ідеї та інноваційні рішення в галузі металургії та сталеплавильного виробництва.

Усі ці фактори обґрунтовують актуальність дослідження футерування кисневого конвертера, яке спрямоване на покращення технологічних, економічних та екологічних показників виробництва сталі.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Футерування кисневого конвертеру — це технологічний процес, спрямований на захист внутрішньої поверхні конвертера від впливу високих температур, агресивних хімічних реакцій та інших негативних факторів, що виникають під час процесу виробництва сталі. Основною метою футерування є забезпечення тривалого та ефективного функціонування кисневого конвертеру, що в свою чергу впливає на якість та кількість виробленої сталі [1].

Завдання футерування в конвертерному виробництві:

- захист конвертера від високих температур: Футерування дозволяє створити захисний шар, який витримує екстремальні температури, що виникають під час конверсії сировини в сталь. Це допомагає утримувати стабільну температуру в середині конвертера і забезпечує ефективний хімічний процес;

- захист від корозії та агресивних реакцій: Футерування використовується для створення бар'єру проти корозії та хімічних реакцій, які можуть виникнути внаслідок взаємодії розплавленої сталі з конвертером. Це покращує тривалість служби конвертера та запобігає його пошкодженню;

- підвищення ефективності виробництва: Ефективне футерування сприяє стабільному та продуктивному процесу виробництва сталі. Зменшення витрат на обслуговування та ремонт конвертера сприяє підвищенню загальної ефективності сталеплавильного виробництва;

- покращення якості виробленої сталі: Захист конвертера від негативних впливів дозволяє досягти більш високих стандартів якості виробленої сталі. Мінімізація непередбачених факторів сприяє утриманню чистоти та однорідності сталі;

- зниження витрат на енергію: Правильне футерування сприяє збереженню енергії, оскільки забезпечує ефективне проведення процесів в конвертері та зменшує тепловтрати.

В цілому, футерування кисневого конвертеру є ключовим елементом сталеплавильного виробництва, який визначає якість та ефективність виробничого процесу [3].

### **1.1 Розвитку технологій футерування кисневого конвертеру**

Практика футерування в сталеплавильному виробництві сягає свого коріння в середньовічні часи. Перші спроби створення захисного шару для конвертера базувалися на використанні невогнетривких матеріалів, але з часом технології еволюціонували. У XIX столітті виникла потреба у вогнетривких матеріалах для сталеплавильних конвертерів. Розробка вогнетривких цеглин та вуглецевих футеровок відкрила нові можливості для підвищення температурної стійкості конвертерів. У середині XX століття з'явилися кремнієво-магнієві футеровки, які виявилися більш стійкими до корозії та ефективними при високих температурах. Це відкрило нові перспективи для технологій футерування. У другій половині XX століття виробники почали використовувати азотостійкі футеровки для боротьби з впливом азоту під час конверсії сталі. Це дозволило покращити якість сталі та знизити її вартість [4].

У сучасній епохі спостерігається тенденція до використання композитних футеровок, які об'єднують переваги вогнетривких та азотостійких матеріалів. Це дозволяє досягти більшої ефективності та тривалості служби конвертерів. Останнім часом значний розвиток отримала інженерія матеріалів, включаючи використання комп'ютерного моделювання для оптимізації структури та складу футеровок. Це дозволяє покращити тепловіддачу та оптимізувати футерування для різних умов виробництва [5].

З розвитком високоекономічних технологій виробництва сталі виникають нові виклики для футерування. Зокрема, дослідження спрямовані на розробку матеріалів, які можуть витримувати екстремальні умови та забезпечувати стабільну якість сталі при високих температурах.

В цілому, історія та розвиток технологій футерування кисневого конвертеру свідчать про постійний пошук вдосконалень та адаптацію до зростаючих вимог сталеплавильного виробництва.

Вибір методу футерування залежить від конкретних умов виробництва, характеристик конвертера та виробничих потреб.

Досягнення успіху в галузі виробництва часто пов'язані з впровадженням ефективних методів футерування кисневого конвертеру, що дозволяють покращити технічні та економічні показники виробництва сталі. Низка великих металургійних підприємств виявилися успішними завдяки вдосконаленню та інноваціям у сфері футерування.

ArcelorMittal, один з найбільших світових виробників сталі, вдосконалює технології футерування для забезпечення високої продуктивності та ефективності конвертерів. Вони впроваджують високотехнологічні вогнетривкі матеріали, що забезпечують довгий термін служби футерування.

ThyssenKrupp використовує інноваційні підходи до футерування кисневих конвертерів, включаючи застосування спеціальних композитних матеріалів і термо-аналітичні методи для точного контролю процесу. Це дозволяє підприємству підтримувати високу якість сталі та знижувати витрати на обслуговування.

Японська компанія Nippon Steel активно вивчає та впроваджує передові технології футерування, такі як використання азотостійких та кремнієво-магнієвих футеровок. Це допомагає підтримувати високу якість продукції та забезпечує довгий термін служби конвертерів.

Китайська компанія Baosteel враховує новітні досягнення в області футерування для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності.

Вони вкладають ресурси в дослідження нових матеріалів та технологій, спрямованих на підвищення стійкості футеровки та зменшення витрат.

Південнокорейська компанія POSCO активно розвиває методи футерування для оптимізації енергоефективності та витрат на виробництво сталі. Вони впроваджують нові матеріали та технології для підвищення ефективності конвертерів.

## **1.2 Схема футеровки кисневого конвертера**

Вогнетривкі матеріали, які використовуються для футерування кисневого конвертеру повинні мати наступні властивості:

**Термічна стійкість:** Вогнетривкі матеріали мають відзначатися високою термічною стійкістю, що робить їх відмінними матеріалами для елементів, які працюють при високих температурах.

**Хімічна стійкість:** Вони мають бути стійкими до агресивних хімічних середовищ, таких як розплавлена сталь та відновлювальні гази, що виникають під час конверсії.

**Механічна міцність:** Вогнетривкі матеріали повинні мати високу механічну міцність, оскільки вони піддаються значним механічним навантаженням під час процесу футерування та експлуатації конвертера.

**Мінімальна теплопровідність:** Для забезпечення оптимального тепловідведення вогнетривкі матеріали повинні мати низьку теплопровідність, що дозволяє ефективно розподіляти та виводити тепло.

**Стійкість до термошоку:** Здатність вогнетривких матеріалів витримувати термошоки є важливою властивістю, особливо при швидких змінах температур під час процесу продувки.

Для кладки футерівки застосовують необпалені та обпалені вогнетриви [6].

Необпалені ( переклазовуглецеві, смолодоломитові, смоломгнезитові, смолодоломитомгнезитові).

При виготовленні необпальних вогнетривів на смоляній зв'язці використовують доломіт або магнезит, обпалені при температурі біля 1600° С, потім їх розмолюють фракцією до 15 мм і змішують із зневодненою кам'яновугільною смолою. Після з отриманої маси пресують цеглу і блоки. З цієї необпаленої цегли викладають робочий шар футерівки, після чого її обпалюють, нагріваючи по спеціальному режиму до температури 1100 °С шляхом спалювання у порожнині конвертера коксу при подачі кисню через фурму. При випаленні відбувається коксування смоли — летючі віддаляються і залишається міцний коксовий залишок, який обвалькує у вигляді тонкої плівки зерна вогнетрива скріплює їх, додаючи футерівці міцність; підвищує термостійкість; захищає зерна вогнетрива від взаємодії з шлаком. Залежно від ємності конвертера тривалість випалення близько 4 – 6 годин.

Недолік необпалених вогнетривів, і в першу чергу смолодоломита являється сильна схильність до гідратації (насичення його вологою з атмосфери), внаслідок чого цеглину втрачає міцність і розсипається в порошок. Тому смолодоломітову цеглину не можна зберігати більше 4 діб після виготовлення. Для зниження схильності до гідратації необпалених вогнетривів іноді піддають термообробці, тоді їх можна довше зберігати і транспортувати на великі відстані.

Періклазовуглецеві вогнетриви є різновидом необпальних вогнетривів. Їх виготовляють з магнезитового порошку ( MgO більше 96 %) і графіту в кількості від 10 до 23%. Як в'язучу речовину використовують кам'яновугільну смолу [7]. Для запобігання окисленню вуглецю в шихту вводять до 30 % антиокислювальних добавок Al, Mg або Si [8]. Після змішування з шихти пресують цеглину. Потім отриманий виріб сушать при температурі до 300 С для запобігання окисленню вуглецю. Періклазовуглецеві вогнетриви відрізняються від решти необпалених і від обпалених більшою стійкістю до шлаку (вуглець

перешкоджає проникненню шлаку у вогнетрив), термостійкістю [9]. Вогнетрив не схильний до гідратації .

Обпалені ( магнезитові, магнезитохромитові, хромомагнезитові). Обпалені вогнетриви – це магнезитові, магнезитохромитові, хромомагнезитові володіють в понад два рази більшою, ніж необпалені вогнетриви, міцністю при високих температурах, що забезпечує підвищення стійкості футерівки, особливо в ділянках, що піддаються ударній дії і дії потоку газів, що відходять [10].

Магнезитовий порошок отримують в результаті високотемпературного випалення мінералу гірської породи - магнезиту  $MgCO_3$ . Потім магнезит дроблять на шматочки розміром 3 – 10 мм.

Для отримання магнезитової цеглини потрібно до магнезитового порошку додати до 2% залізняку, потім із зволоженої маси під великим тиском пресують цеглину, а потім сушать і обпалюють при температурі біля  $1600^{\circ}C$ . Достоїнством магнезитової цеглини є висока вогнетривкість і шлакостійкість, тому його застосовують для кладки арматурного шару кисневих конвертерів а також подини, стін і випускного отвору мартенівських печей [11]. До недоліків відносяться висока теплопровідність, що може привести до втрат тепла, при різких коливаннях температури цеглина розтріскується [12-13].

Основу шихти для хромомагнезитових вогнетривів складає суміш з магнезитового порошку і хроміту. Для виготовлення вогнетривів використовують суміші, 80- 20%, що містять,  $MgO$  і 20- 80% хроміту. Залежно від того, який компонент переважає, вироби називають магнезитохромитові (МХ) або хромомагнезитові (ГМ). Перевагою цеглини є висока вогнетривкість (не нижче  $2000^{\circ}C$ ).

Вибір вогнетривів залежить від сортаменту сталей, типу чавунів, що переробляються, форми конвертера.

Футерівка конвертера складається з трьох шарів [4] (рисунок 1.1 і 1.2):

1) арматурний - захищає корпус конвертера від руйнування у разі прогару робочого шару і зменшує тепловтрати. Викладають його з магнезитохромитового або магнезитової цегли завтовшки 110-230 мм;

2) проміжний шар набивають із смолодоломитової маси завтовшки 50 – 100 мм. Служить для ущільнення робочого шару; є сигнальною межею остаточного зносу робочого шару і захищає арматурний шар від проникнення металу і шлаку;

3) робочий шар - забезпечує технологічний процес ведення плавки. Виконують з необпалених вогнетривів, товщина шару 500 - 900мм, застосовують цеглу великих розмірів – блоки.

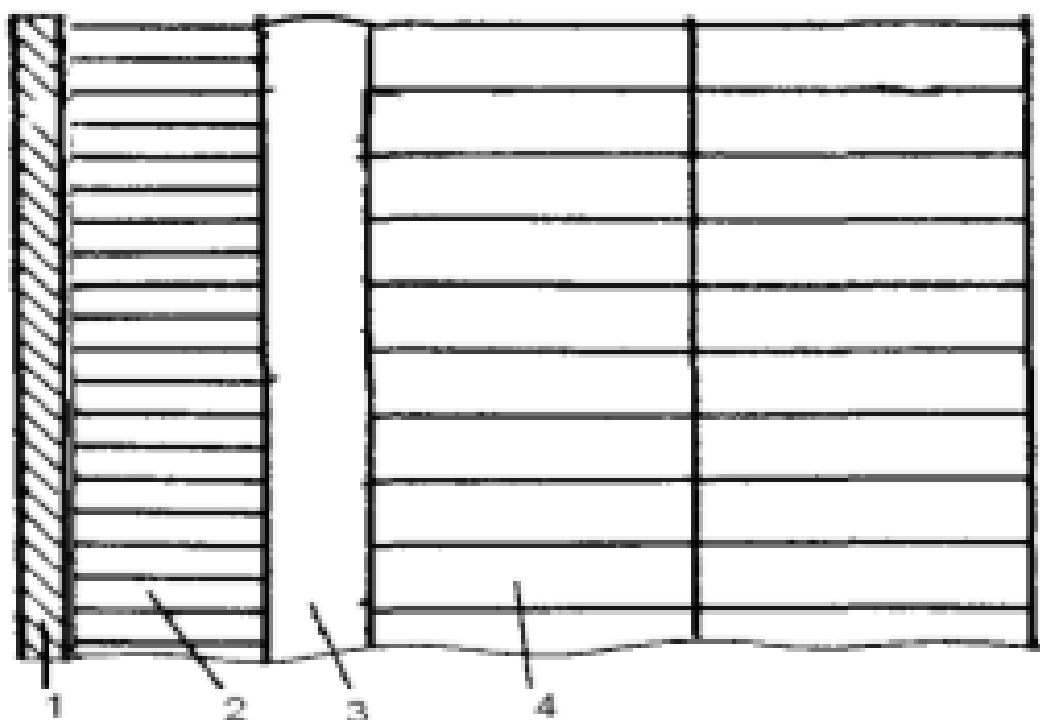


Рисунок 1.1 - Схема кладки футерівки кисневого конвертера  
1 - кожух; 2 – арматурний шар; 3 - шар набивання ; 4 - робочий шар

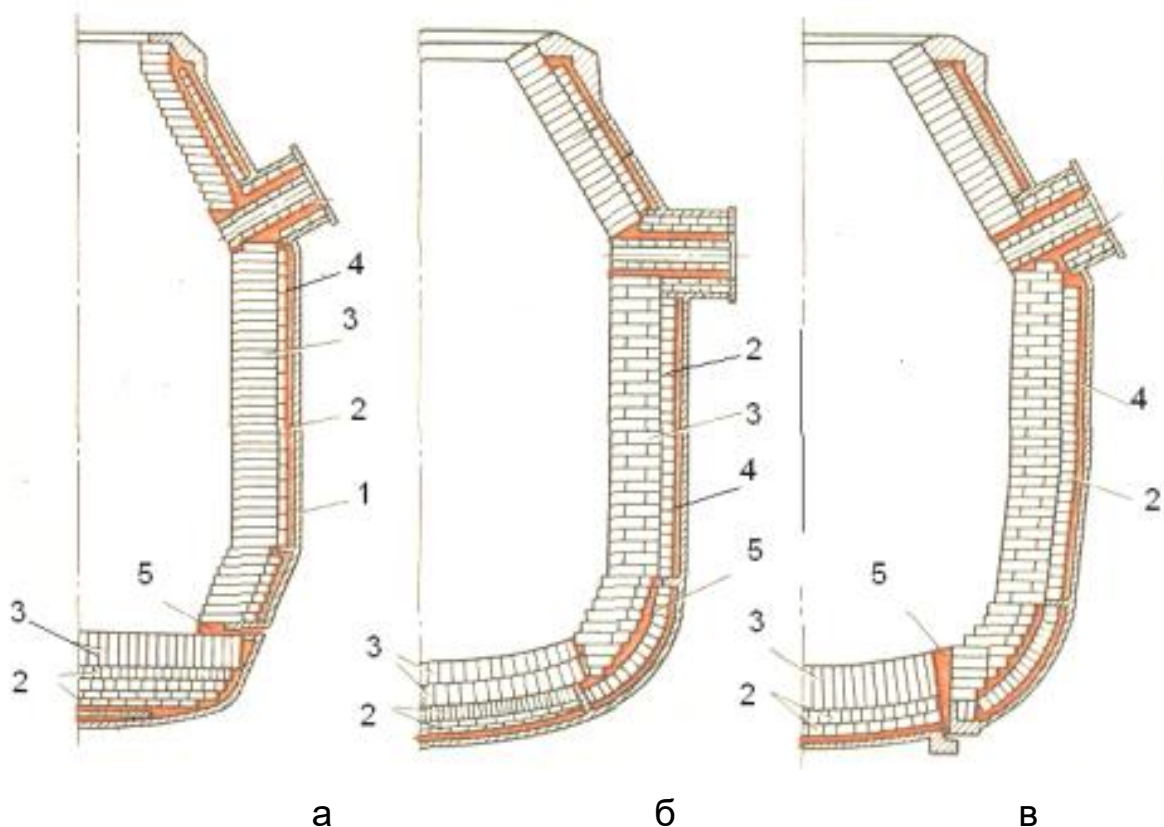


Рисунок 1.2 – Футерівка кисневих конвертерів

а – приставне днытсе; б- глуходоний конвертер; в – вставне днытсе;  
 1 – корпус конвертера; 2 – арматурний шар; 3 – робочий шар; 4 -  
 передарматурний шар; 5 – вогнетривка маса.

Днытсе конвертера виготовляють багатшаровим. Нижні ряди виконують з шамотної цеглини. Потім викладають декілька рядів магнезитової цеглини на ребро і на торець. Кладка ведеться із засипкою швів магнезитовим порошком. Кожен наступний ряд кладки зміщується на  $45^\circ$  до попереднього [14]. Робоча футеровка днытса виконується в один шар із смолодомитової цеглини із зсувом на  $45^\circ$  до останнього ряду магнезитової футерівки.( рисунок 1.3).

Робоча футеровка стін конвертера не повинна спиратися на кладку днытса. Тому уздовж стін знизу укладається набивання із смолодомитової маси з ретельною пошаровою її трамбівкою.

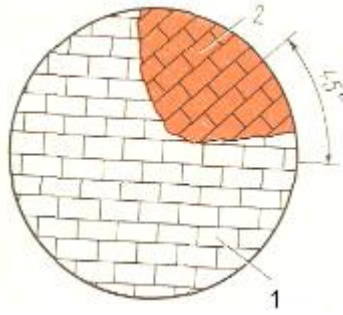


Рисунок 1.3 - Кладка паралельними рядами  
 – вище розміщений шар; 2 – нижче розміщений шар кладки

Робочий шар циліндричної частини виконують з блоків частіше всього в два ряди з перев'язкою рядів, це досягається укладанням в цих рядах блоків різної довжини (рисунок 1.4).

Стійкість футерівки конвертера на різних заводах в може бути в межах від 3000 до 4000 і більш плавок, що пов'язане як з якістю вогнетривких матеріалів, так і з технологічними умовами плавки.

Стійкість футеровки визначається стійкістю ділянок найбільшого зносу - це:

- 1) футеровка циліндричної частини конвертера в районі шлакового поясу;
- 2) футеровка горловини;
- 3) льотка.

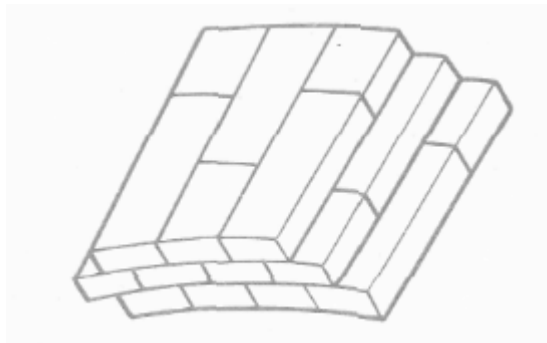


Рисунок 1.4 - Кладка робочого шару футерівки конвертера з вогнетривів різної довжини

Виготовлення футерівки конвертору складається з наступних етапів [15]:

**Підготовчий етап:** Першим етапом футерування є підготовчий етап. На цьому етапі проводять огляд стану конвертера, визначають обсяг робіт та вибирають необхідні матеріали для футерування. Також може виконуватися очищення поверхні конвертера від залишків старого футеру та інших забруднень.

**Вибір матеріалів:** На цьому етапі визначаються матеріали для футерування. Вогнетривкі матеріали, азотостійкі або кремнієво-магнієві футеровки можуть використовуватися в залежності від особливостей конкретного виробництва та умов експлуатації конвертера.

**Підготовка поверхні конвертера:** Перед нанесенням нового футерування необхідно підготувати поверхню конвертера. Це може включати в себе видалення залишків старого футерування, обробку поверхні та виправлення будь-яких пошкоджень або дефектів.

**Нанесення футеровки:** Справжній процес футерування включає нанесення вогнетривких матеріалів або футеровки на внутрішню поверхню конвертера. Це може виконуватися різними способами, такими як лиття, насипання чи розпилення. Мета - створити тонкий, але міцний шар, що захищає конвертер від високих температур та хімічних реакцій.

**Сушка та випалювання:** Після нанесення футеровки конвертер піддається сушці та випалюванню. Цей процес дозволяє видалити вологу та здійснити необхідні хімічні реакції для забезпечення стабільності футерування.

**Контроль якості:** Після завершення футерування проводиться контроль якості. Це включає в себе вимірювання товщини футеровки, оцінку її стійкості та перевірку, чи відповідає вона вимогам для ефективного функціонування конвертера.

Запуск та експлуатація: Після успішного футерування конвертер готовий до запуску та експлуатації. Важливо враховувати температурні зміни та інші фактори, щоб забезпечити тривалість служби футеровки.

Професійне футерування визначається точністю на кожному з цих етапів, щоб забезпечити ефективність та тривалість служби кисневого конвертера в сталеплавильному виробництві.

Можливими особливостями, які використання в футеруванні кисневого конвертера при його виготовленні є: лиття вогнетривких блоків, нанесення футеровочної суміші, композитні футеровки, застосування у різних зонах конвертера різних видів футерівок [16].

Лиття вогнетривких блоків. Вогнетривкі матеріали використовуються для формування литих блоків, які потім встановлюються на внутрішню поверхню кисневого конвертера. Ці блоки можуть мати різні форми та розміри для оптимального покриття поверхні [17].

Нанесення футеровочної суміші. Вогнетривкі матеріали можуть бути також використані у вигляді футеровочної суміші, яку наносять на внутрішню поверхню конвертера. Цей метод дозволяє створювати тонкі та однорідні футеровки з використанням різноманітних матеріалів.

Композитні футеровки. Вогнетривкі матеріали можуть входити до складу композитних футерівок, що комбінують різні типи матеріалів для досягнення оптимальних характеристик стійкості та термічної ефективності.

Застосування у різних зонах конвертера різних видів футерівок. В залежності від умов та функцій, вогнетривкі матеріали можуть бути використані у різних зонах конвертера. Наприклад, більш стійкі до азоту матеріали можуть застосовуватися в областях, де активно вводиться кисень.

Заходи для підвищення стійкості футерівки [18]:

- підвищення якості вогнетривів ;
- раціональний порядок завалки лому у лоток ;

- зниження вмісту  $\text{SiO}_2$  в сипких матеріалах і кремнію в чавуні до оптимальної межі;
- раннє формування високоосновного шлаку;
- забезпечення окисленості шлаків (особливо кінцевих) на певному оптимальному рівні 12-14% ( $\text{FeO}$ ), що пов'язано з двояким дією ( $\text{FeO}$ ) на службу футерівки [19];
- забезпечення рівномірного введення вапна у ванну не пізніше 6 хвилини після початку продування, використання високоякісного вапна ( $\text{CaO}$  - 95%) ;
- виключення перегрівів металу в конвертері;
- зменшення числа додувок, які викликають додаткові коливання температури футерівки, підвищення окисленості шлаку;
- зменшення тривалості продування шляхом підвищення інтенсивності подачі кисню;
- дотримання оптимального дуттьового режиму;
- застосування диференційованої кладки, коли місця підвищеного зносу викладають з вогнетривів підвищеної стійкості або робляться більшої товщини;
- скорочення міжплавочних простоїв конвертера;
- торкретування футерівки.

Суть торкретування [20] полягає в нанесенні за допомогою спеціальних торкрет- машин вогнетривкої маси на внутрішні, зношені ділянки футерівки.

Види торкретування: мокре, напівсухе, факельне. Мокре - проводять попереднє змішування торкрет-маси з водою і подають в сопло фурми стислим повітрям у вигляді пульпи. Напівсухе - змішування маси з водою відбувається у фурмі і зволожену вогнетривку масу наносять на футеровку струменем стислого повітря.

У обох випадках використовують періклазові, доломітові порошки з добавкою в'язучих - рідке скло, силікатна маса.

Недолік способів - із-за наявності вологи структура нанесеного шару рихла, тому стійкість такого шару низька.

Сутність факельного торкретування полягає в подачі за допомогою торкрет-фурми (рисунок 1.5) вогнетривкого порошку в суміші з паливом і киснем на гарячу футерівку, після зливу попередньої плавки. При горінні палива в кисні розвиваються високі температури, завдяки чому вогнетривкі частки на шляху до футерівки розм'якшуються і досягаючи футерівки, прилипають до неї.

В якості вогнетривкої складової торкрет-мас можуть застосовуватися вапно, або вапно в суміші з різними добавками ( доломіт, магнезит), в якості палива - коксик (20-25% торкрет-маси) або пропан, зріджений нафтовий газ. Товщина торкрет-покриття, що наноситься за одну операцію, становить 5-150 мм. Швидкість зношення торкрет-покриття значно вище, ніж швидкість зношення вогнетривків, і становить 2-20 мм за плавку.

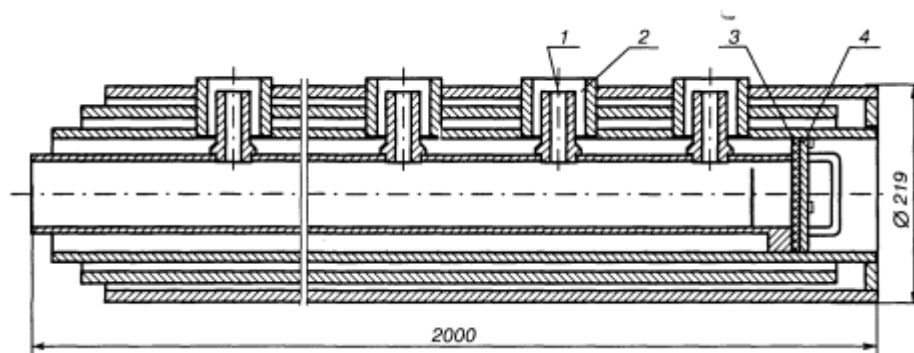


Рисунок 1.5 - Головка торкрет-фурми

1 - сопло торкрет-маси; 2 - кисневе сопло; 3 - прокладка; 4 - зйомна заглушка

Торкретування можна здійснювати, починаючи з будь-плавки. Тривалість однієї операції 5-7 хв. Питома витрата торкрет-маси становить 2-4 кг / т.

На металургійному комбінаті ПРАТ "МК" АЗОВСТАЛЬ" застосовували горизонтальний спосіб факельного торкретування представлений на рисунку 1.6.

Торкретування виконують після випуску металу з конвертера і зливу шлаку. Температура поверхні футеровки конвертера перед початком факельного торкретування повинна бути не нижче 1350 °С.

Для рівномірного нанесення торкрет-покриття операцію торкретування виробляють при постійному обертанні торкрет-фурми навколо своєї осі на 15° і зворотно-поступальному русі торкрет-машини.

За допомогою водо-охолоджуваної фурми в порожнину конвертера вводять кисень і торкрет-масу, що містить паливо (коксу пил). Маса і кисень змішуються на виході з сопла фурми. Згорання коксу в кисні забезпечує формування факела з температурою до 2000 °С і вогнетривкий порошок міцно зварюється з футерівкою. Торкрет-маса складається з паливної (20-30 % коксового пилу) і вогнетривких складових (периклазові і доломітові порошки). Тривалість торкретування 5-7 хв.

По закінченні торкретування необхідно: закрити подачу торкретмаси; закрити подачу кисню; продути масопровід фурми повітрям або азотом; вивести машину в неробочий стан; закрити подачу води на охолодження фурми; скинути тиск в робочому камерному живильнику до 0 МПа; провести огляд стану футерівки конвертера і торкретпокриття.

Недоліки горизонтального способу торкретування: виділення в цех з горловини конвертера гарячих газів і пилу; також верх горизонтально розташованого конвертера торкретирується гірше, ніж бокові стінки; не торкретирується нижня зона внаслідок натікання шлаку; торкрет-машини займає робочу площадку цеху; складність підведення до торкрет-машини гнучких рукавів.

Спосіб вертикального торкретування виключає ці недоліки. Він дозволяє однаково торкретувати всю поверхню футерівки конвертера (виключаючи днище); відводити через систему газоочистки всі запилені

високотемпературні гази; спростити підведення кисню і охолоджуючої води до торкрет-фурми.

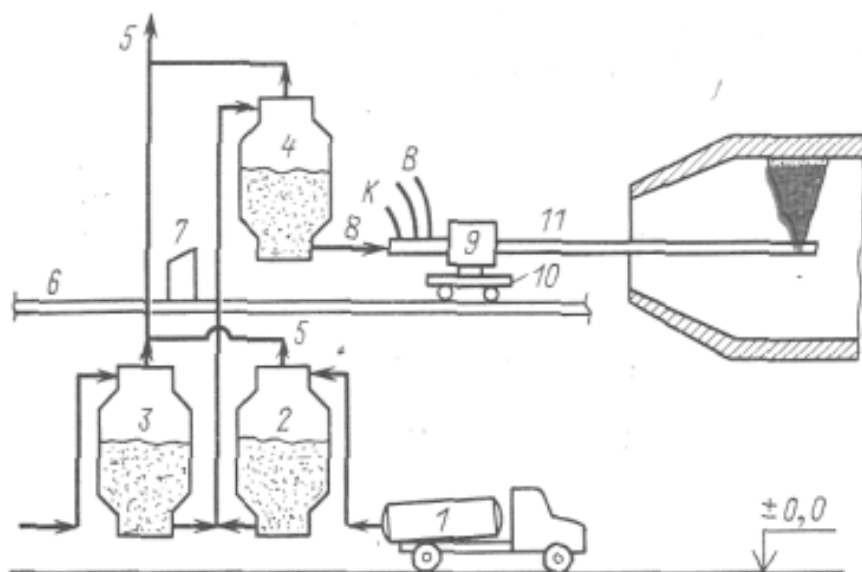


Рисунок 1.6 - Схема горизонтального факельного торкретування

К - підведення кисню; В - підведення і відведення води;

1 - автоцементовоз; 2, 3 - приймальні бункери; 4 - робочий живильник; 5 - відведення відпрацьованого повітря; 6 - робоча площадка; 7 - пульт управління; 8 - рукав для подачі торкрет-маси; 9 - торкрет машина; 10 - візок; 11 - торкрет-фурма.

На металургійному комбінаті ПРАТ " ММК " застосовували вертикальний спосіб факельного торкретування представлений на рисунку 1.7.

Перед торкретуванням торкрет – фурму встановлюють в каретці машини для подачі кисню замість однієї з продувних фурм. Каретка забезпечує переміщення торкрет – фурми у вертикальному напрямку в процесі торкретування.

Також застосовується метод ошлакування футерівки [6], який проводять залишаючи в конвертері шлаку, в'язкість якого збільшують

присадками доломіту або вапна. Проводять чотири-п'ять покачувань конвертера з витримкою на кожній стороні до 2 хв.

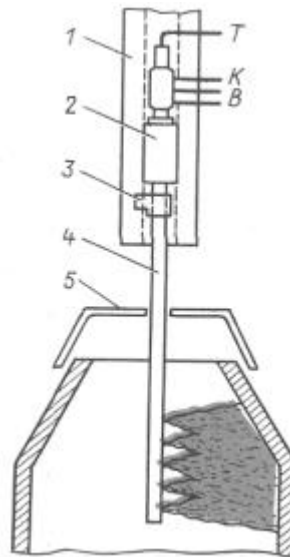


Рисунок 1.7 - Схема вертикального факельного торкретування футерівки  
Т - підведення торкрет-маси; К- підведення кисню; В - підведення і відведення води; 1 - направляюча машини подачі кисню; 2 - каретка переміщення фурми; 3 - механізм обертання торкрет-фурми; 4 - торкрет-фурма; 5 - газохід.

### 1.3 Сучасні технології та інновації в області футерування кисневого конвертера

Для покращення стійкості та властивостей футерування використовують та розробляють різні методи, серед них наступні.

Використання наноматеріалів для створення футерувальних матеріалів. Наночастинки можуть покращити термічні, механічні та хімічні властивості футеровки, забезпечуючи ефективніший захист від високих температур та агресивних середовищ [21].

Технології 3D-друку дозволяють створювати складні геометричні форми футерувальних блоків, що може покращити їхню ефективність та

пристосованість до конкретних вимог конвертера. Це також зменшує відходи матеріалу та сприяє більш точному футеруванню.

Впровадження сучасних систем моніторингу може дозволити вчасно виявляти проблеми з футеровкою та проводити діагностику стану конвертера [22]. Це сприяє плануванню та уникненню непередбачених зупинок для ремонту. Сучасні технології штучного інтелекту та аналітики даних також можуть використовуватися для моніторингу та аналізу ефективності футеровки [23]. Це дозволяє передбачати необхідні ремонтні роботи, оптимізувати процес футерування та зменшувати витрати на обслуговування [24].

Дослідження в сфері нових композитних матеріалів дозволяє створювати футерувальні суміші з оптимальними властивостями. Використання різних складових, таких як оксиди, кераміка та металеві матеріали, може покращити термічну стійкість та механічну міцність футеровки [17].

Розвиток екологічно чистих матеріалів для футеровки відіграє важливу роль у виробництві сталі. Матеріали, які не містять шкідливих речовин та мають менший екологічний відбиток, стають все більше популярними.

Автоматизація та роботизація процесів футерування може підвищити ефективність використання та точність нанесення. Роботизовані системи можуть бути програмовані для точного нанесення футерувальних матеріалів, що зменшує ризик помилок та підвищує продуктивність.

Використання комп'ютерного моделювання дозволяє інженерам аналізувати термодинамічні процеси, що відбуваються в конвертері. Моделювання дозволяє враховувати різні умови роботи та вибирати оптимальні параметри, такі як температура та тиск, для покращення ефективності футерування [25].

Прогнозування теплового режиму конвертера дозволяє оптимізувати умови для підвищення термічної стійкості футеровки. Використання інженерних програм для механічного моделювання дозволяє аналізувати вплив механічних навантажень та напруг на футерувальні матеріали. Це допомагає визначити оптимальні форми та товщини футерувальних блоків. Прогнозування деформацій та міцності матеріалів дозволяє визначити оптимальну геометрію для збільшення термічної стійкості [24].

Моделювання хімічних реакцій та взаємодій футерувальних матеріалів з розплавленою сталлю дозволяє передбачити утворення сполук та забруднень. Це важливо для забезпечення якості виробленої сталі та тривалого функціонування конвертера.

Комп'ютерне моделювання дозволяє інженерам тестувати різні комбінації матеріалів для футерування та вибирати оптимальний склад. Це важливо для досягнення балансу між термічною стійкістю, стійкістю до корозії та економічністю виробництва.

Неконтрольоване або неправильне футерування може призвести до забруднення сталі вторинними матеріалами з футеровки. Однак правильне футерування зменшує цей ризик та забезпечує високу якість сталі. Дотримання правильного футерування може забезпечити рівномірність складу сталі, оскільки воно впливає на хімічні реакції та процеси конверсії [1].

Ефективне футерування може поліпшити термічну ефективність конвертера, зменшуючи втрати тепла та забезпечуючи оптимальні умови для процесів конверсії [26].

Крім того використання ефективних футерувальних матеріалів та оптимізація процесу футерування може зменшити кількість відходів, що покращує екологічні аспекти виробництва сталі.

Таким чином в першому розділі роботи на основі аналітичного огляду літературних джерел визначено, що футерування є ключовим елементом кисневого конвертеру, спрямованим на захист його від високих температур, корозії та інших агресивних впливів.

За час свого розвитку футерування кисневого конвертеру пройшло декілька етапів із впровадженням нових матеріалів та технологій, що дозволило підвищити стійкість футерування та продовжити термін його служби.

Розглянуті етапи проведення футерування кисневого конвертера, визначено вимоги до вогнетривких матеріалів, проаналізовано схеми футерування та засоби підвищення терміну служби футерівки кисневого конвертеру.

Визначені сучасні та перспективні напрямки розвитку футерування, а саме використання передових технологій, таких як наноматеріали, комп'ютерне моделювання, штучний інтелект, автоматизація та роботизація процесів, які дозволяють підвищити стійкість футерівки.

Проаналізовано вплив футерування на фізичні та хімічні властивості сталі, що важливо для забезпечення високої якості виробленої продукції.

В основній частині роботи буде розглянуто вплив стану футерівки конвертера на основні показники плавки.

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Законодавство про охорону праці базується на положеннях, які відповідають Конституції України. Статті 43, 45, 46, 49, 50, 53, 56 і 64 Конституції України гарантують право громадян України на працю, відпочинок, охорону здоров'я, медичну допомогу та страхування, а також у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, за віком та в інших випадках [29, 30].

Дана випускна робота присвячена дослідженню впливу використання в шихті конвертора кремніймістких матеріалів на техніко-економічні показники його роботи, тому у даному розділі розглянуті основні шкідливі та небезпечні чинники кіснево-конверторного цеху (ККЦ), узагальнені питання пожежної безпеки, розглянуті засоби поліпшення умов праці та захист навколишнього середовища.

### 3.1 Охорона праці

#### 3.1.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки

Згідно ГОСТ 12.1.005-88 [31] робота в ККЦ відноситься до категорії середньої важкості ІІб, так як енерговитрати знаходяться в межах 200-250 кКал/год. Фактичні та припустимі норми температури, відносній вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні згідно ДСН 3.3.6.042-99 [32] приведені в таблиці 3.1.

Виробничий шум, джерелом якого є працююче устаткування, передана заготівля, значною мірою погіршує, умови праці і перешкоджає нормальної організації виробничих процесів. Шум є причиною швидкого стомлення, що приводить до збільшення браку. Згідно ДСН 3.3.6.037-99 [33] рівень звукового тиску по середньгеометричних частотах приведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 - Параметри мікроклімату в ККЦ

Параметри мікроклімату	В умовах цеху	Нормативні значення мікроклімату по ДСН 3.3.6.042-99	
		Тепла пора року	Холодна пора року
Температура, °С	30	33	15
Відносна вологість, %	40-70	40-60	40-70
Швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,4	0,1-0,2	0,2-0,4
Інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	90	140	140
Освітленість, лк	75	75	75

Таблиця 3.2 - Показники рівня звукового тиску по середньгеометричних частотах.

Середньо-геометричні активні смуги Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Загальний еквівалент звуку
Додатковий рівень звукового тиску, дБ	99	92	86	83	80	78	76	74	85 дБ

Ступінь небезпеки поразки людини електричним струмом [34] багато в чому залежить від середовища, де він працює. У зв'язку з цим усі приміщення по ступені небезпеки поділяють на три класи:

- а) без підвищеної небезпеки;
- б) з підвищеною небезпекою;
- в) особливо небезпечні.

У цеху категорія - з підвищеною небезпекою.

При спорудженні електроустановок неізольовані проводи і шини, а також прилади й апарати, що мають незахищені струмоведучі частини, поміщають у спеціальні шухляди, шафи, камери й інші пристрої, що закриваються суцільними чи сітчастими огороженнями.

Поразка електричним струмом відбувається при дотику, при пробі ізоляції, а також при коротких замиканнях і т.д.

При впливі електричного струму на організм людини розрізняють загальні і місцеві електротравми. До числа загальних електротравм відноситься електричний удар, тобто поразка всього організму. Місцеві електротравми яскраво виражене місцеве порушення цілісності тканин, викликане впливом електричного чи струму електричної дуги. До місцевих електротравм відносять електричний опік, металізацію шкіри механічні ушкодження і електроофтальмію (запалення зовнішніх оболонок око, що виникає в результаті впливу могутнього потоку ультрафіолетових променів, поглинають клітками організму і викликають у них хімічні зміни).

Пил, потрапляючи через верхні дихальні шляхи в організм, викликає фібрози, утрудняє подих і постачання організму повітрям.

Токсичні речовини викликають отруєння загальне і місцеве, гострі чи хронічні в залежності від кількості газів, що потрапили в організм, (токсичних речовин) [35]. При влученні в органи подиху людини, пил затримується на слизуватій оболонці носа і носоглотки, а потім поступово надходить у порожнину рота й органи травлення. Пил, що містить окисли заліза, впливає на органи подиху. Проникаючи глибоко в дихальні шляхи, цей пил може привести до розвитку специфічного захворювання - сидерозу. При більшому запилюженні повітряного середовища пилові частки, що попадають на шкіру, можуть порушити діяльність шкіри, знизити її опірність і утруднити терморегуляцію шкірним покривам тіла. Пил, що потрапив на слизувату оболонку очей, робить механічне і хімічне дратівне дія, викликаючи запальний процес слизуватих оболонок -

кон'юнктивіт. Шкідливі та небезпечні виробничі чинники в умовах цеху а також фактична загазованість і запиленість цеху приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Шкідливі та небезпечні виробничі чинники в умовах цеху

Значення	Шум, дБ	Вібрація, дБ(А)	Запиленість, г/м <sup>3</sup>	Загазованість, мл/м <sup>3</sup>			
				СО	NO <sub>x</sub>	H <sub>2</sub> S	Пил
В умовах цеху	78	60	20	4	3	0,2	4,5
ГДР	90	60	25	5	5	1	6
ГДК	80	60	25	5	5	1	6
клас безпеки	III	II	III	IV	III	III	III

Світлова обстановка у виробничому приміщенні і на робочому місці характеризується наступними параметрами: світловим потоком, освітленістю, силою світла і яскравістю джерела світла [36]. Головним є вплив освітлення на органи зору. Нормування значення КЕО при природному і сполученому висвітленні на робочих поверхнях приведена в таблиці 3.4.

Світлове випромінювання робить вплив на весь організм, воно може викликати зміну частоти пульсу й інтенсивність процесів обміну речовин, впливає на загальне нервово-хімічне становище [36].

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [37], киснево-конверторний цех по вибухопожежній безпеці відноситься до категорії В, тобто виробництво зв'язане з розплавленням матеріалів і їх обробкою, супроводжується виділенням тепла.

Джерелом виникнення пожежі можуть бути:

- газозодушні вибухонебезпечні суміші;
- олія, при влученні в нього іскри чи відкритого вогню;
- електроустаткування - при короткому замиканні.

Таблиця 3.4 - Нормування значення КЕО при природному і сполученому висвітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший об'єкт розходження	Розряд зорової роботи	Нормоване значення		Фактичне значення	
			Е, лк	КЕО, %	Е, лк	КЕО, %
Загальне спостереження за ходом виробничого процесу: постійне	Більш 5	VI	75	1	75	1

Газорятувальні служби здійснюють постійний контроль за станом газопроводів, газових засувок. На всіх нагрівальних приладах установлюють клапани безпеки, що перекривають доступ газу до колекторів у випадку аварійної ситуації.

Для запобігання короткого замикання необхідний:

- правильний вибір, монтаж і експлуатація електричних ланцюгів.
- дотримання правил експлуатації, оглядів, ремонт і іспитів електричних установок.

Для ліквідації наслідків короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, автомати і плавкі запобіжники.

На випадок виникнення пожежі для його гасіння використовуються первинні засоби пожежогасіння відповідно до НАПБ А.01.001-2014 та «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [38]. Для гасіння пожеж використовується вода технічна, пісок, вогнегасники. У випадку пожежі евакуація людей повинна проходити по справних шляхах евакуації. При цьому не допускається захаращення проходів, переходів. Норми первинних засобів пожежогасіння для ККЦ приведені в таблиці 3.6.

### 3.1.2 Заходи поліпшення умов праці

З метою недопущення травматизму, раціонального і безпечного виконання робіт пропонується:

- місця, де маються частини устаткування, що рухаються, огороджувати, виступаючі частини, що рухаються, фарбувати в попереджувальні кольори;

- рух кранів, цехового транспорту з вантажем через ділянку здійснювати тільки по обговореному і відзначеному (табличками, фарбою на підлозі цеху) маршруту;

Таблиця 3.6 – Первинні засоби пожежогасіння.

Найменування приміщень	Площа, м <sup>2</sup>	Пінні вогнегасники ОХП-10, шт.	Вуглекислотні вогнегасники, шт			Шухляда з піском, 0,5 м <sup>3</sup>
			ОУ-2	ОУ-8; 9	УП-1м, УП-2м	
Підготовка сировини та необхідних матеріалів	3000	200	-	90	60	18
Стенди продувки, розігріву конвертора та випуску сталі	5000	10	6	3	9	3
Пульт керування	-	-	-	1	-	1
Кабіни електромостового крану	на кабінку	1	-	-	1	-

- для зниження рівня вібрації і шуму вентилятори, повітродувки, повинні бути поміщені в звукоізоляційні камери (кожухи), обладнані глушителями шуму з боку усмоктування і нагнітання. Всі установки, що мають підвищений рівень вібрації, повинні мати засоби віброізоляції, що запобігають передачу вібрацій трубопроводам і фундаментам.

- при підвищенні температури цеху для її нормалізації використовувати штучну припливну вентиляцію чи природну (аераційні ліхтарі).

- для зменшення небезпеки поразки електричним струмом електричні частини механізмів керування й обслуговування печей заземлити з опором мережі захисного заземлення не більш 4 Ом у будь-який час року за ГОСТ 12.1.030-81 [39], незахищені струмоведучі частини, до яких можливий дотик людей надійно відгородити у всіх випадках, коли напруга перевищує 12 В. Для захисту від дотику струмоведучі частини розмістити в недоступному місці (на висоті, під підлогою). Усі доступні струмоведучі частини, якщо вони розміщені в робочій зоні необхідно ізолювати. Початок робочої зміни приходить на 7:00, тому в осінньо-зимовий період цех в цей час слабо освітлений і необхідне додаткове штучне висвітлення робочої зони.

З метою оцінки відповідності концентрації газу у робочій зоні приміщення згідно [31], а також через який час після аварійного відключення вентиляції у приміщенні концентрація газу буде перевищувати  $ГДК_{рз}$  і коли може утворитися вибухонебезпечна суміш газу з повітрям виконаємо розрахунки.

У робоче приміщення розмірами  $40 \times 15 \times 10$  м з апаратів та газопроводів сумарним об'ємом  $160 \text{ м}^3$ , які працюють при тиску 1,8 МПа і температурі  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , точиться газ крізь нещільності за регламентних умов герметизації обладнання. Механічна вентиляція забезпечує коефіцієнт повітрообміну у приміщенні  $0,035 \text{ с}^{-1}$  при вмісті газу у припливному повітрі

10% від його ГДК<sub>рз</sub>. Атмосферний тиск – нормальний; температура в приміщенні  $t_n = 20^\circ\text{C}$ .

Газ	$V_{\text{об}}, \text{м}^3$	$P, \text{МПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$K, \text{с}^{-1}$	$a, \%$
СО	160	1,8	90	0,035	10

Кількість газу, що точиться крізь нещільності обладнання  $G$ , кг/годину можна визначити за формулою Н.Н. Репіна:

$$G_i = K_i \cdot b_i \cdot V_i \cdot \sqrt{\frac{M_i}{T_i}}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad (3.1)$$

де  $K_i$  – коефіцієнт, що враховує ступінь зношення обладнання;  $K_i=1-2$ ;

$V_i$  – об'єм і-того апарату,  $\text{м}^3$ ;

$M_i$  і  $T_i$  – молекулярна маса газу або пари в і-тому апараті і їх абсолютна температура,  $\text{K}$ ;

$b_i$  – коефіцієнт, що залежить від тиску газу або пари в і-тому апараті і який визначається інтерполяцією з табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Витратний коефіцієнт витоку газу та пари крізь нещільності

$P,$ $\text{кГс/см}^2$	< 1	1	6	16	40	160	400	1000
$B$	0,121	0,166	0,182	0,189	0,252	0,289	0,297	0,37

$$1 \text{ кГс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

$$G_1 = 0,035 \cdot 0,1954 \cdot 160 \cdot \sqrt{\frac{28,01}{363}} = 0,304 \text{ кг/год.}$$

Повітрообмін у приміщенні:

$$V = K \cdot V_{\text{пр}}, \quad (3.2)$$

де  $V_{\text{пр}}$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ .

$$V = 0,035 \cdot 6000 = 210 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Концентрацію газу у повітрі робочої зони  $C$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$  знаходять з рівняння матеріального балансу за цим компонентом:

$$(C - C_0) \cdot V = G \cdot \frac{10^6}{3600}, \text{ мг/с}, \quad (3.3)$$

де  $C_0 = \frac{a}{100} \text{ГДК}_{\text{рз}}$  - концентрація домішка у припливному повітрі,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$\text{ГДК}_{\text{рз}}$  – гранично допустима концентрація шкідливого домішка у повітрі робочої зони приміщення,  $\text{мг}/\text{м}^3$ , яка наведена у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – ГДК шкідливих речовин у робочій зоні приміщення  $\text{мг}/\text{м}^3$

$\text{NO}_2$	$\text{NH}_3$	$\text{H}_2\text{S}$	$\text{SO}_2$	$\text{SO}_3$	$\text{HF}$	$\text{HCl}$	$\text{HCN}$	$\text{Cl}_2$	$\text{CO}$	$\text{CS}_2$
5	20	10	10	1	0,5	5	0,3	1	20	10

$$C_0 = \frac{10}{100} \cdot 20 = 2 \text{ мг}/\text{м}^3.$$

$$C = C_0 + G \cdot \frac{10^6}{3600 \cdot V} = 2 + 0,304 \cdot \frac{10^6}{3600 \cdot 210} = 2,12 \text{ мг}/\text{м}^3.$$

Як видно з розрахунку концентрація газу у повітрі робочої зони менша ніж ГДК<sub>со</sub>, це означає що повітря робочої зони відповідає санітарним нормам.

Вміст газу у повітрі робочої зони при відключенні вентиляції через час  $\tau_1$ , с складе:

$$C_1 = C + G \frac{10^6}{3600 V_{\text{пр}}} \tau_1, \text{ мг/м}^3. \quad (3.4)$$

Час досягнення гранично допустимої концентрації  $\tau_1$ , с знаходять з умови:  $C_1 = \text{ГДК}_{\text{рз}}$ .

$$\tau_1 = (C_1 - C) \cdot \frac{V_{\text{пр}} \cdot 3600}{G \cdot 10^6} = (20 - 2,12) \cdot \frac{6000 \cdot 3600}{0,244 \cdot 10^6} = 15828 \text{ с або } 0,44 \text{ год.}$$

Оскільки у повітрі приміщення до відключення вентиляції знаходиться  $C \frac{V_{\text{пр}}}{10^6}$ , кг газу, а після її відключення через час  $\tau_2$ , с його кількість зростає на  $\frac{G\tau_2}{3600}$ , кг, то з рівняння стану об'єм газу у приміщенні через час  $\tau_2$ , с становить:

$$V_{\Gamma} = \left( \frac{CV_{\text{пр}}}{10^6} + \frac{G\tau_2}{3600} \right) \frac{RT_n}{MP_a}, \quad (3.5)$$

де  $T_n$  – абсолютна температура повітря у приміщенні, К;

$P_a$  – атмосферний тиск (101325 Па);

$R$  – універсальна газова стала;  $R = 8314 \text{ Дж/(кмольК)}$ ;

$M$  – мольна маса газу, кг/кмоль.

Час досягнення вибухонебезпечної концентрації газу у повітрі  $\tau_2$ , с знаходять з умови:

$$\frac{V_r}{V_{пр}} 100\% = l_n,$$

де  $l_n$  – нижня межа спалахування газу у повітрі, % (табл.3.9).

Таблиця 3.9 – Межі спалахування газів у суміші з повітрям

Газ		H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> S
Межа спалахування, % об.	Нижня	4,1	12,5	5,3	4,3
	Верхня	74,2	74,2	14,0	45,5

$$V_r = \frac{l_n \cdot V_{пр}}{100} = \frac{12,5 \cdot 6000}{100} = 750 \text{ м}^3;$$

$$\tau_2 = \frac{\left( \frac{V_r \cdot M \cdot P_a}{R \cdot T_n} - \frac{C \cdot V_{пр}}{10^6} \right)}{G} = \frac{\left( \frac{750 \cdot 28,01 \cdot 101325}{8314 \cdot 293} - \frac{2,12 \cdot 6000}{10^6} \right)}{0,304} = 2874,3 \quad \text{с}$$

або 0,8 год.

Як видно з розрахунку після відключення вентилятору через 0,8 години може утворитися вибухонебезпечна суміш газу з повітрям.

### 3.2 Захист навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища для багатьох підприємств, особливо металургійних, є сьогодні великою проблемою. Зараз забруднення повітря і водного басейнів призводить до підвищення концентрації шкідливих речовин в атмосфері і водах.

Не виключення у цьому є і киснево-конвертерний цех.

Використовуючи воду для охолодження металургійних агрегатів при виконанні багатьох технологічних процесів утворюються умовно “чисті” води. Очищення їх відбувається у спеціальних відстійниках, ефективність чого не дуже велика. Як результат відбувається скидання фактично неочищених, перенасичених частками металу і забруднених нафтопродуктами вод, прямо у річку Дніпро, що приносить досить суттєву шкоду її екологічному стану.

Вода, яка використовується на металургійних підприємствах, повинна очищуватися від розчинених солей, зважених речовин і так званого теплового забруднення, щоб її можна було використовувати багаторазово і не зливати у річку. Також для зменшення витрат води водяне охолодження замінюють випарювальним. Якщо використовувати не технічну, а хімічно очищену воду, то можна нагрівати її до температури 100<sup>0</sup>С і вище. При цьому від охолоджуючого елемента відводиться не тільки тепло, яке використовується на нагрівання води до кипіння, але й скрита теплота пароутворення. Це дозволяє зменшити витрати води у тридцять разів.

Також від устаткування комплексу киснево-конвертерного цеху в атмосферне повітря викидаються зважені речовини, оксиди азоту, сірки, вуглецю. Пил кисневих конвертерів являє собою порошок чорного кольору, густина його 4-5,1 г/см<sup>3</sup>. Пил складається в основному з дрібнодисперсних сферичних частинок з медіанним розміром 0,08 мкм. На останніх 2-3 хвилинах плавки тонкодисперсний пил утворюється в результаті випаровування металу і оксиду заліза в цій зоні і конденсації їх парів в більш холодних частинах газового тракту. Великі частинки пилу представляють собою частинки шихти, крапельки шлаку і оболонки бульбашок оксиду вуглецю, які виносяться із ємкості газовим потоком.

У всіх нових конвертерних цехах на металургійних заводах за конверторами встановлюють котли - утилізатори. Ці котли - утилізатори постачені примусовою циркуляцією води й відрізняються від котлів -

утилізаторів інших типів більшими розмірами отвору для входу конвертерних газів, можливістю роботи в умовах запилених газів, різких коливань теплового навантаження, паропродуктивності й температурного режиму.

Звичайно в під'ємному газоході - каміні встановлюють радіаційні пучки труб, а в опускному газоході - конвективні поверхні нагрівання й економайзери. У котлах - утилізаторах газ охолоджується до температури приблизно 500°C. Перед газоочисткою його додатково охолоджують у порожніх скруберах або трубах Вентурі.

Кількість конвертерного газу після доопалення оксиду вуглецю залежить від ємності конвертера, марки сталі, що виплавляється, а також технологічного процесу плавки. Кількість конвертерних газів залежить в основному від витрат кисню, який необхідний для вигорання вуглецю, складу шлакоутворюючих добавок (вапна, вапняку), хімічного складу чавуну і сталі, що одержуються в результаті процесу, та деяких інших факторів. Гази, що відходять, виносять з собою пил сипучих матеріалів, краплі металу і шлаку, вміст яких коливається від 20 г/м<sup>3</sup> до 200 г/м<sup>3</sup>. Щоб запобігти викидам в атмосферу, конвертери обладнані газоочисними пристроями, серед яких переважають газоочистки з мокрим способом очищення газів. Такі газоочистки є основним джерелом утворення шламів - суміші твердих частинок, які містяться в стічних водах.

Принцип роботи газоочисток мокрого типу полягає у створенні між частинками пилу і краплями рідини таких відносних швидкостей, при котрих відбуваються зіткнення і захоплення частинок рідиною, що виносить пил із очисного апарату у вигляді шламу. Пиловловлювачі мокрого типу характеризуються простотою конструкції, невеликими габаритами, частковим вловлюванням разом із завислими частинками газоподібних компонентів, а також можливістю роботи на гарячих газах.

Однак газоочистки мокрого типу мають і недоліки: значні витрати енергії при високих коефіцієнтах очистки, необхідність організації циклу

оборотного водозабезпечення, корозійний знос обладнання, погіршення умов розсіювання пилу і шкідливих газів, що викидаються в атмосферу, за рахунок зниження їх температури, а також отримання вловленого шламу, що ускладнює і удорожчує підготовку до подальшого його використання. Із пиловловлювачів мокрого типу найбільше поширення отримали труби Вентурі.

Продувка киснем конвертера викликає збільшення кількості газів, що відходять. В цих умовах є доцільним використання схеми відводу і очистки газів з частковим спалюванням оксиду вуглецю, при якому їх кількість менша, аніж при повному до опалюванні.

При відводі газу з частковим спалюванням оксиду вуглецю між горловиною конвертера і кесоном залишається зазор. Однак потужність димососу регулюють на роботу в режимі відсосу газів, який на 10 - 15 % перевищує кількість конвертерного газу, що утворюється в період максимального його виділення під час плавки. Процес часткового доопалювання оксиду вуглецю здійснюють в газовідводному тракті при коефіцієнті надлишку повітря  $0,6 > a > 0,3$ . Технологічний пил, що виноситься із конвертера в газовідводний тракт, представляє собою досить дрібну дисперсну суміш, хоча в деяких випадках в ній містяться і відносно великі частинки.

Питоме пиловиділення залежить від багатьох факторів: інтенсивності дуття, конструкції фурми, тиску кисню, гранулометричного складу шихтових матеріалів, режиму плавки і т. ін.

Для очищення газу від укрупненого пилу встановлюють інерційний апарат, центробіжний циклон або скруббер, або послідовно і той, і інший. Турбулентний промивач складається із трьох частин: конфузора, горловини і дифузора. Запилений газ вводять в широкий отвір конфузора, в якому збільшується його швидкість. На деякій відстані від горловини в конфузор або безпосередньо в горловину подають воду. В горловині газ набуває високої швидкості руху; в турбулентному потоці вода дробиться

на дрібні краплини, а газова оболонка навкруг дрібних частинок пилу руйнується. Чим вище швидкість руху газу, тим дрібніші краплі і більша їх кількість.

Найважливішим напрямком зниження промислових викидів в повітряний басейн є вдосконалення технології виробництва процесів і основного технологічного обладнання.

## ВИСНОВКИ

За результатами аналітичного огляду літературних джерел визначено, що футерування є ключовим елементом кисневого конвертеру, спрямованим на захист його від високих температур, корозії та інших агресивних впливів.

Розглянуті етапи проведення футерування кисневого конвертера, визначено вимоги до вогнетривких матеріалів, проаналізовано схеми футерування та засоби підвищення терміну служби футерівки кисневого конвертеру.

Визначені сучасні та перспективні напрямки розвитку футерування, а саме використання передових технологій, таких як наноматеріали, комп'ютерне моделювання, штучний інтелект, автоматизація та роботизація процесів, які дозволяють підвищити стійкість футерівки.

Проаналізовано вплив футерування на фізичні та хімічні властивості сталі, що важливо для забезпечення високої якості виробленої продукції.

За результатами аналізу стану футерівки кисневого конвертера наприкінці кампанії встановлено, що у цапфенній зоні відсутній робочий шар футерівки, залишився арматурний шар, який вкритий шлаковим гарнисажем і також робочий шар відсутній в зоні стику циліндра і днища зі сторони зливу сталі.

Визначено, що для подовження періоду роботи футерівки конвертеру доцільно застосувати диференційне футерування – збільшену товщину робочого шару футерівки в місцях максимального зносу (цапфені зони та стик циліндру і днища зі сторони зливу сталі), а можливе встановлення в зонах максимального зносу більш стійких вогнетривів в робочому шарі. Такими вогнетривами можуть бути наприклад хромомангнетитові вогнетриви. Також для подовження терміну роботи футерівки конвертера за поточною схемою футерування доцільним є встановлення торкрет-установки, сумісної з інтерферометром для

забезпечення рівномірного розміру футеровки, у зв'язку з тим, що існуюча торкрет-установка не забезпечує належний ухід для футеровки конвертера, а саме через конструкційні особливості неможливо виконати ремонт футеровки зі сторони холостої та приводної цапфи.

За результатами статистичного аналізу паспортів плавки та математичного моделювання встановлено, що важливим є дотримання технології плавки, тому що неритмічний графік виробництва, який призводить до збільшеної кількості теплосмін футеровки конвертера, зниження вмісту MgO в конвертерному шлаку в різних періодах кампанії, а також знижена питома витрата чавуну на деяких етапах кампанії призводять до більш швидкого зносу футеровки та передчасного завершення кампанії. Також негативним ефектом відзначається збільшення кількості шлаку та його текучості, підвищенні концентрації у шлаку оксиду кремнію та зростання температури продуктів плавки.

Проведено розрахунок економічної ефективності від застосування раціональних з точки зору подовження кампанії футеровки параметрів конвертерної плавки. Визначено що при збільшенні середньої витрати чавуну, зменшенні в ньому вмісту кремнію та зменшенні середньої температури продуктів плавки на повальці знизиться питома витрата футеровки з ..... кг/т сталі до ..... кг/т сталі, що знизить собівартість сталі на ..... грн, річний економічний ефект для умов конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» складе 3,08 млн. грн.

Розглянуті питання охорони праці в конвертерному цеху. Проаналізовані шкідливі та небезпечні фактори роботи. Розраховано освітлення робочої зони. Розглянуті питання охорони навколишнього середовища в умовах конвертерного цеху.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойченко Б.М., Охотський В.Б. Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, конструкції агрегатів.: Підручник. - Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-Вал», 2006.- 454 с
2. В.С. Богушевський, О.Е. Скачок. Дослідження температурного поля футерівки конвертера. Наукові вісті НТУУ КПІ: Матеріалознавство та машинобудування. 2015. № 1. С. 52-57.  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/NVKPI\\_2015\\_1\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NVKPI_2015_1_9)
3. Kiyoto Kasai Recent advances in refractories technology for steelmaking. Nipponsteel technical report no. 61, April, 1994. P. 83-88.
4. Сталеплавильне виробництво: /В.І. Баптизманський, Б.М. Бойченко, О.Г. Величко та ін.-К.: ІЗМН, 1996. - 400 с.
5. Теоретичні основи сталеплавильних процесів: Навч. посібник /М.Я.Меджибожський, П.С.Харлашин.- К.: НМК ВО, 1993.-276 с.
6. Мовчан В. П., Бережний М. М. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги, 2001. — 336 с.
7. Lee Juhun, Myung Jaewoo, Chung Yongsug. Degradation kinetics of MgO-C refractory at high temperature. Metallurgical and materials transactions B. 2021. Vol. 52 (3). P. 1179-1185.
8. Повшук В.В. Нанозміцнені периклазовуглецеві вогнетриви для футерівки конвертерів з комплексним антиоксидантом для підвищення стійкості до окиснення / Повшук В.В., Семченко Г.Д. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 22 (1194). – С. 145 – 149.
9. Dissolution behaviour of MgO based refractory since CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> slag / Fuxiang Huang, Liu Chunyang, Nobuhiro Maruoka, S.-Y. Kitamura // Ironmaking&Steelmaking. 2015. 42 (7). P. 553-560.

10. Han Jin Sung, Chung Yongsug, Park Joo Hyun. Influence of exposure temperature on degradation of magnesia refractory by steel refining slags. *Metals and Materials International*. 2019. Vol. 25 (5). P.1360-1365.

11. Молчанов Л.С., Голуб Т.С. Дослідження зміни структурного та хімічного складу периклазовуглецевих вогнетривів у процесі експлуатації у складі футерівки кисневих конверторів. "Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії". 2022. Випуск 36 с. 226-239. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-226-239

12. Suvorov S. A., Kozlov V. V. Experimental Measurement of the Solubility of MgO in Metallurgical Slags to Control the Slag-Induced Corrosion of Periclase-Carbon Refractories. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2014. Vol. 55 (2). P. 114-116.

13. Influence of CaF<sub>2</sub> in calciumaluminate-based slag on the degradation of magnesia refractory/ Han Jin Sung, Kang Jingyu, Shin Jaehong, Chung Yongsug, Park Joo Hyun // *Ceramics International*. 2018. Vol. 44 (11). P.13197-13204.

14. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Споруди та обладнання сталеплавильних цехів» для студентів денної форми навчання напряму 6.050401 «Металургія» / Укл.: Крячко Г.Ю.- Кам'янське: ДДТУ, 2016 р., 24 стор.

15. Конспект лекцій з дисципліни «Конструювання технологічних агрегатів (за фахом)» для студентів спеціальності 136 - «Металургія за освітньо-професійною програмою «Металургія чорних металів» (з усіх форм навчання) / Укл.: к.т.н., доцент Полетаєв В ІІ Кам'янське, ДДТУ, - 2018.- 60 с.

16. Biswas, S., Sarkar, D. BOF Refractory. Introduction to Refractories for Iron- and Steelmaking. 2020, pp 289–327. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43807-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43807-4_7)

17. High temperature corrosion of ceramics and refractory materials in book: K.G. Nickel, Peter Quirnbach, J. Pötschke Shreir's Corrosion 4 th Edition, Elsevier Science, 2009. P.668-690.

18. Богушевський В.С., Сухенко В.Ю., Кадигроб С.В., Шульга А.О. Вплив параметрів устаткування конвертера на собівартість сталі. Наукові вісті НТУУ КПІ: Матеріалознавство та машинобудування. 2014, № 1. с. 42-46. <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2014.1.26532>

19. Sinelnikov V. O., Kalisz D. Influence the FeO content on slag viscosity at his spraying. Increase the life of the refractory lining. GlassCeram. 2016. Vol. 73. № 3- 4. P. 144–148.

20. Miedl, L. Refractory linings for today's BOF / Steel Times International; Redhill Vol. 16, Iss. 6, 1992:p. 16-18.

21. Kalyani R., Subir B., Sanat H., Use of low carbon content Nano-carbon added Magnesia carbon in steel ladle metal zone at Tata Steel, Jamshedpur / Taikabutsu, Vol. 71, № 4, 2019, pp 158–164.

22. Takashi M., Mitsuo S., Shigeki U., Minoru S. Backward inclined lining, a new design for BOF cone linings / Shinagawa Technical report, Vol 50, 2007, pp 21–30.

23. Богушевський В.С., Антоневи́ч А.К. Прогнозування температурного режиму ванни плавильної печі // Наук. вісті НТУУ “КПІ”. — 2012. — № 2. — С. 108—113.

24. J.C. Huber et al., “Dynamic thermal characterization of BOF: a tool for energy optimization,” Metall. Res. Technol., vol. 104, no. 11, pp. 534—539, 2007.

25. Богушевський В.С., Жук С.В. Теплові втрати конвертера як складові динамічної моделі контролю температурного режиму // Наук. нотат. Міжвуз. збірн. — Луцьк, 2012. — № 38. — С. 6—9.

26. Martino M., Fenu M., Anfosso A. Refractory Lining for Oxygen Converters: Recent Experiences in this Field. Proceedings of 5-th European

Steelmaking Conference, 26- 28 June, 2006, Aachen, Germany. Dusseldorf: Steel Institute VDEh. 2006, P. 229- 233.

27. Poirier J. Recent tendencies in refractories in relation with service conditions in the steel industry // XXXIX-th International colloquium on refractories, Aachen – 24-25 september 1996. – P. 6-16.

28. Kumar D. S., Prasad G., Vishwanath S. C., Ghorui P. K., Mazumdar D., Ranjan M., Lal P. N. Converter life enhancement through optimization of operating practices // Iron and Steelmaker. – 2007. – № 6. – P. 521-528

29. Закон України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР «Конституція України» зі змін. та доп. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>.

30. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 614 від 13.12.2004 «Про затвердження Порядку складання та вимоги до санітарно-гігієнічних характеристик умов праці». [Електронний ресурс] – Режим

31. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Издательство стандартов, 1988.

32. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – К.: Мінздрав, 1999.

33. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К.: Держстандарт, 1999.

34. Правила улаштування електроустановок ПУЕ-2017. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

35. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 95 с.

36. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_v\\_2\\_5\\_28/1-1-0-11887](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-11887).

37. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – К.: Мінрегіон України, 2016.

38. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. – К.: МВС, 2014. – 47 с.

39. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. - М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.