

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 впливу параметрів продукції сталі в  
конвертері на процеси дефосфорації і десульфурації сталі при  
виробництві напівспокійних марок сталі»**

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

Катерина МЕДВЕДЄВА

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

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Кам'янське 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП Металургія сталі

Христина Малій

«05» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Медведевої Катерини Олегівни  
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження впливу параметрів продувки сталі в конвертері на процеси дефосфорації і десульфурзації сталі при виробництві напівспокійних марок сталі

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 розробка заходів щодо покращення умов рафінування сталі в конвертері

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження процесів рафінування сталі в конверторі. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз даних роботи конвертора при використанні різновидів шихтових матеріалів. Визначення взаємозв'язків впливу параметрів конвертерної плавки на процеси дефосфорації і десульфурзації сталі. Розробка пропозицій по покращенню умов видалення фосфору і сірки в конверторі. 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

Катерина МЕДВЕДЄВА

Керівник роботи

Олександр СТОЯНОВ

## РЕФЕРАТ

Медведєва К. О. Дослідження впливу параметрів продувки сталі в конвертері на процеси дефосфорації і десульфурації сталі при виробництві напівспокійних марок сталі - 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 технологія виробництва сталі в кисневому конвертері.

Предметом дослідження є процеси десульфурації та дефосфорації в кисневому конвертері.

В першому розділі розглянуто процеси дефосфорації та десульфурації сталі в кисневому конвертері.

В другому розділі проведено дослідження впливу технологічних параметрів роботи кисневого конвертеру на процеси десульфурації та дефосфорації. Визначено раціональні значення цих параметрів.

В третьому розділі розглянуті питання охорони праці і навколишнього середовища в умовах конвертерного цеху.

В четвертому розділі оцінена економічна ефективність від застосування отриманих значень параметрів конвертерного процесу.

КОНВЕРТЕР, СІРКА, ФОСФОР, МОДЕЛЮВАННЯ, АНАЛІЗ, ШЛАК

### Список публікацій здобувача

Medvedieva K.O., Stoianov O.M., Malii Kh.V. On the possibility of steel saturation with nitrogen in the steel smelting process. *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. 84-86. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-25>

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Аналіз процесів дефосфорації металув кисневому конверторі.....	15
1.2 Аналіз процесів десульфурації металу в кисневому конверторі.....	18
1.3 Інтенсифікація процесів шлакоутворення, дефосфорації та десульфурації металу в кисневому конвертері.....	22
Висновки до розділу 1 .....	26
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА .....	28
2.1 Методика досліджень .....	29
2.2 Основні показники роботи кисневого конвертеру для умов ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».....	30
2.3 Аналіз впливу основних показників конвертерної плавки на процес десульфурації та вміст сірки в сталі .....	37
2.4 Аналіз впливу основних показників конвертерної плавки на процес дефосфорації та вміст фосфору в сталі.....	44
2.5 Визначення раціональних параметрів конвертерної плавки для умов ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» .....	51
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	57
3.1 Аналіз умов праці .....	57
3.2 Виробнича санітарія та гігієна праці.....	63
3.3 Техніка безпеки .....	65
3.4 Пожежна профілактика .....	66
3.5 Захист навколишнього середовища.....	68
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	70
4.1 Оцінка витрат матеріалів .....	70
4.2 Розрахунок річного економічного ефекту .....	71
ВИСНОВКИ .....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

## ВСТУП

В кисневому конвертері шкідливі домішки в першу чергу такі як сірка і фосфор розподіляються між металом, шлаком та газовою фазою. Для успішного переходу шкідливих домішок у шлак найважливішою складовою технології конвертерної плавки є процес шлакоутворення, який визначає хід дефосфорації, десульфурації металу, істотно впливає на стійкість футеровки. Швидке утворення активного основного шлаку, який до моменту інтенсивного окислення вуглецю покриває метал достатньо товстим шаром, супроводжується зазвичай значним зменшенням виносу і викидів металу. У викидах міститься до 65 % металевої фази. Повільне шлакоутворення викликає перевитрату вапна, що не завжди забезпечується необхідну ступінь десульфурації і дефосфорації металу. У звичайних умовах плавки шлакоутворення часто проходить з недостатньою швидкістю, що призводить до неповного засвоєння вапна шлаком (60-90 %) і затягування процесів видалення шкідливих домішок.

Тому аналіз технологічних параметрів конверторної плавки з точки зору впливу їх на процеси дефосфорації та десульфурації є актуальним завданням, яке дозволить для конкретних умов визначити технологічні параметри, що забезпечать низький вміст сірки та фосфору в готовому металі.

## 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Для виробництва сталі з 1956 року використовується киснево-конверторний спосіб виплавки. Він достатньо економний, дозволяє переплавляти металобрухт, дає можливість контролювати кількість і якість сталі, не потребує додаткового палива у вигляді природного газу; процес виплавки триває до 50 хвилин [1].

Процес займає чільну роль серед існуючих способів масового виробництва сталі. Такий успіх киснево-конверторного способу полягає в можливості переробки чавуну практично будь-якого складу, використанням металобрухту від 10 до 30 %, можливість виплавки широкого сортаменту сталей, включаючи леговані, високою продуктивністю, малими витратами на будівництво, великою гнучкістю і якістю продукції.

При виплавці сталі використовують такі вихідні матеріали: металошихта, флюси та окислювачі.

Основна частина металошихти (до 80%) — це переробний чавун і сталевий брухт. Іноді — ще й феросплави та інші матеріали. У якості флюсу використовують вапняк та інші матеріали. У якості окислювача — залізну руду та інші матеріали.

Основне призначення переробки чавуну в сталь — це зниження вмісту в ньому вуглецю, кремнію, марганцю і фосфору шляхом окислення і переводу їх у шлак або газу. Вуглець чавуну, з'єднуючись з киснем, перетворюється на газ CO і переходить в газову фазу. Інші домішки перетворюються у шлак [2].

При використанні киснево-конверторного методу застосовуються три основні технології: киснево-конверторний процес із продувкою киснем зверху, знизу й комбінована продувка [3]. Найбільше розповсюдження отримали кисневі конвертори з продувкою зверху.

Ємність сучасних конвекторів дорівнює 250-450 т, а тиск дуття 0,3-1,35 Мн/м. Кількість кисню необхідного для переробки 1 т чавуну, складає 350 м<sup>3</sup> [1].

Конвертер має грушоподібну форму з концентричною горловиною. Це забезпечує кращі умови для уведення в порожнину конвертера кисневої фурми, відводу газів, заливання чавуну, завалки лому й шлакоутворюючих матеріалів. Кожух конвертера виконують звареним зі сталевих листів товщиною від 20 до 100 мм. У центральній частині конвертера кріплять цапфи, що з'єднуються із пристроєм для нахилу. Механізм повороту конвертера складається із системи передач, що зв'язують цапфи із приводом. Конвертер може повертатися навколо горизонтальної осі на 360° зі швидкістю від 0,01 до 2 °/хв. Для конвертерів ємністю від 200 т застосовують двосторонній привід, наприклад, чотири двигуни по два на кожну цапфу [4].

У шлейній частині конвертера є лютка для випуску стали. Випуск стали через лютку виключає можливість потрапляння шлаків у метал.

Хід процесу. Процес виробництва стали в кисневому конвертері складається з наступних основних періодів: завантаження металобрухту, заливання чавуну, продувки киснем, завантаження шлакоутворюючих, зливу сталі й шлаків [5].

Етапи роботи кисневого конвертера [3] наведені на рисунку 1.1. Завантаження конвертера починається із завалки сталевого лома. Лом завантажують у нахилений конвертер через горловину за допомогою завалочних машин лоткового типу. Потім за допомогою заливальних кранів заливають рідкий чавун, конвертер установлюють у вертикальне положення, уводять фурму й включають подачу кисню із чистотою не менш 99,5 % кисню. Одночасно з початком продувки завантажують першу порцію шлакоутворюючих (40 — 60 % від загальної кількості). Іншу частину сипучих матеріалів подають у конвертер у процесі продувки однієї

або декількома порціями, найчастіше 5 — 7 хвилин після початку продувки [6].

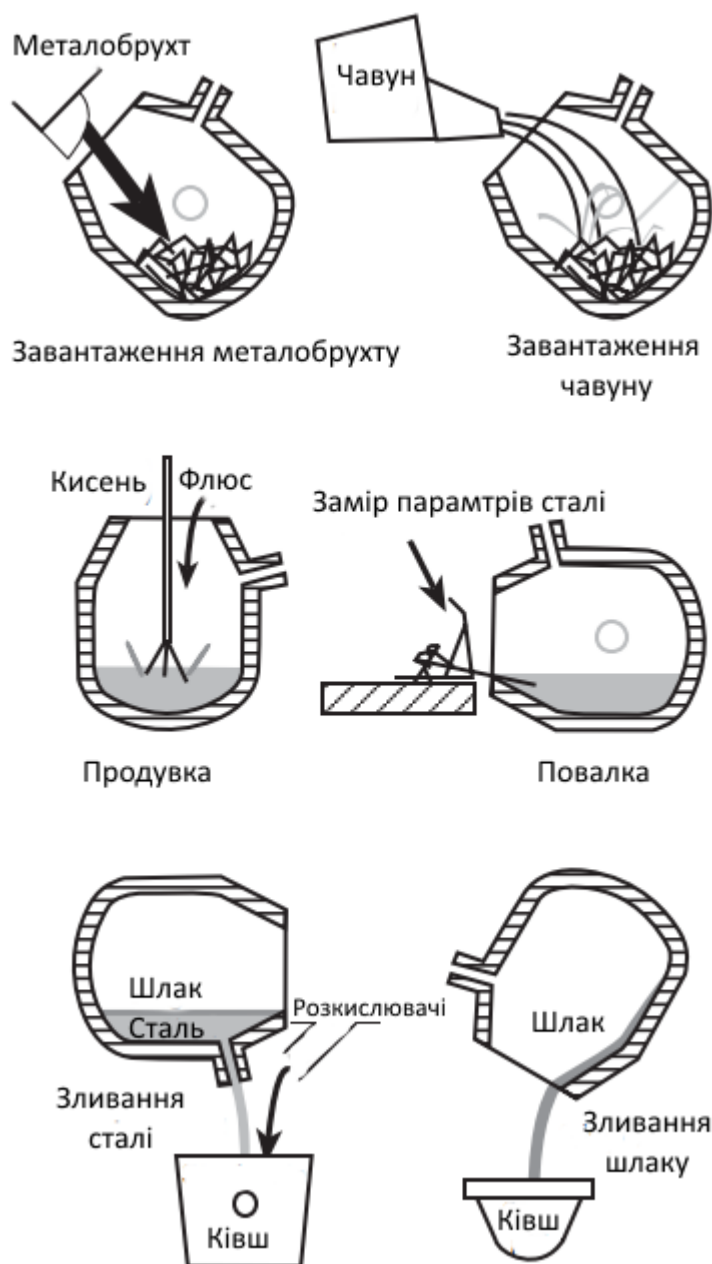


Рисунок 1.1 – Етапи виробництва сталі в кисневому конвертері

На процес рафінування значний вплив роблять положення фурми (відстань від кінця фурми до поверхні ванни) і тиск кисню. Звичайно висота фурми підтримується в межах 1,0 — 3,0 м, тиск кисню 0,9 — 1,4 МПа. Правильно організований режим продувки забезпечує гарну

циркуляцію металу і його перемішування зі шлаками. Останнє, у свою чергу, сприяє підвищенню швидкості окислювання наявних в чавуні С, Si, Mn, P [2].

На рисунку 1.2 показано залежність ізобарного потенціалу від температури при окисненні елементів. Необхідно пам'ятати, що послідовність окислення елементів визначається величиною ізобарного потенціалу тільки у випадку нестачі окислювача. За його надлишку окислюються всі елементи. Дані рисунку 1.2 свідчать, що найбільш сильним окислювачем є газоподібний кисень, потім слідує кисень, розчинений у металі, та оксид заліза. Залізо може окислюватися лише за надлишку кисню, що має місце у реакційній зоні. Звідси також можна зробити висновок, що при достатньому вмісті хоча б одного з трьох елементів (С, Si, Mn) та дефіциті кисню відновлення оксидів заліза не буде відбуватися [7].

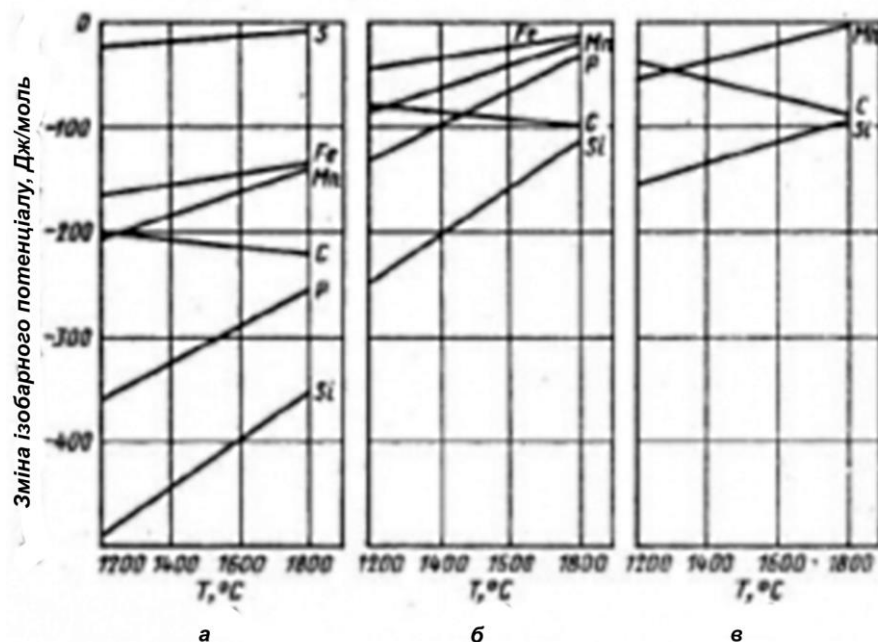


Рисунок 1.2 – Зміна ізобарного потенціалу при підвищенні температури.

а - газоподібний кисень,

б - кисень, розчинений у металі,

в - оксид заліза.

З всіх елементів у всьому діапазоні температур в першу чергу окислюється кремній. Марганець окислюється раніше вуглецю газоподібним киснем при температурі до 1250 °С, киснем, розчиненим у металі при температурах до 1230 °С, оксидом заліза - до 1300 °С. Окислення вуглецю в присутності цих елементів до вказаних температур можливо тільки за наявності надлишку окислювача. Слід відзначити, що вуглець є єдиним елементом, спорідненість якого до кисню з підвищенням температури збільшується [7].

Не зовсім звичайна поведінка фосфору. При окисненні газоподібним киснем фосфор має більше спорідненість до кисню, ніж вуглець. При окисненні киснем, розчиненим у металі, ця залежність зберігається до температури 1460 °С. При окисненні оксидами заліза такою межею є температура 1300 °С. Отже, окислення фосфору можливо тільки на початку плавки, а далі - лише за надлишку кисню. У середині продування оксид фосфору повинен неминуче відновлюватися, якщо не сталося утворення фосфату кальцію [7].

Характерні криві поведінки домішок по ходу продувки конвертерної ванни представлені на рис. 1.4.

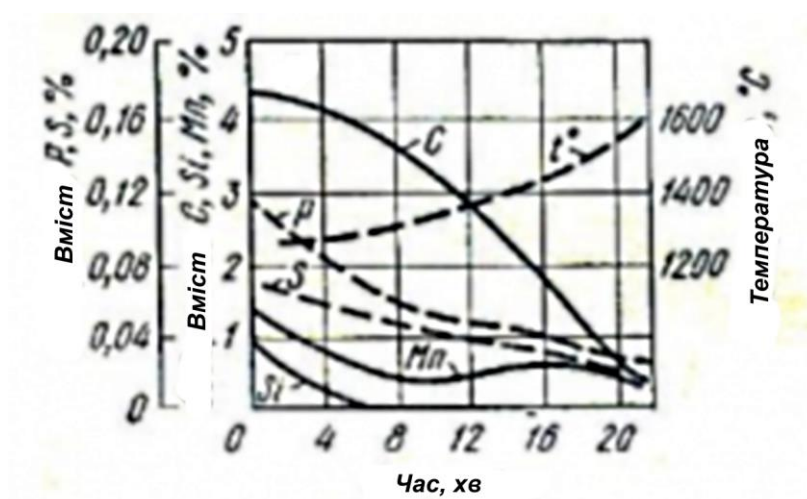


Рисунок 1.3 – Характерні криві поведінки домішок по ходу продувки конвертерної ванни.

Тут загалом спостерігається три періоди, що відрізняються за інтенсивністю окислення елементів.

Для прогнозування зміни вмісту вуглецю по ходу продування важливо знати швидкості окислення інших домішок.

Важливим у технології киснево-конвертерного процесу є шлакоутворення. Шлакоутворення значною мірою визначає хід видалення фосфору, сірки й інших домішок, впливає на якість виплавленої сталі, вихід придатного і якість футеровки. Основна ціль цієї стадії плавки полягає у швидкому формуванні шлаків з необхідними властивостями (основністю, рідкотекочістю й т.і. ). Складність виконання цього завдання пов'язана з високою швидкістю процесу (тривалість продувки 14 — 24 хвилини). Формування шлаків необхідної основності й заданими властивостями залежить від швидкості розчинення перевелися в шлаку. На швидкість розчинення перевелися в шлаку впливають такі фактори, як склад шлаків, його окисленість, умови змочування шлаками поверхні перевелися, перемішування ванни, температурний режим, склад чавуну й т.і. Ранньому формуванню основних шлаків сприяє наявність первинної реакційної зони (поверхня зіткнення струменя кисню з металом) з температурою до 2500 °С. У цій зоні вапно піддається одночасному впливу високої температури й шлаків з підвищеним вмістом оксидів заліза. Кількість вапна на плавку визначається розрахунком і залежить від складу чавуну й вмісту Si в ньому та інших факторів. Загальна витрата вапна становить 5 - 8 % від маси плавки, витрата бокситу 0,5 - 2,0 %, плавикового шпату 0,15 - 1,0 %. Основність кінцевих шлаків повинна бути не менш 2-2,5 [4].

Окислювання всіх домішок чавуну починається із самого початку продувки. При цьому найбільше інтенсивно на початку продувки окисляється кремній і марганець. Це пояснюється високою спорідненістю цих елементів до кисню при порівняно низьких температурах (1450 °С і менш) [5].

Окислювання вуглецю в киснево-конвертерному процесі має важливе значення, тому що впливає на температурний режим плавки, процес шлакоутворення й рафінування металу від фосфору, сірки, газів і неметалічних включень [2].

Характерною рисою киснево-конвертерного виробництва є нерівномірність окислювання вуглецю як по об'єму ванни, так і протягом продувки.

З перших хвилин продувки одночасно з окислюванням вуглецю починається процес дефосфорації — видалення фосфору. Найбільш інтенсивне видалення фосфору йде в першій половині продувки за порівняно низької температури металу, високому вмісту в шлаку (Fe), в цей період основність шлаків і його кількість швидко збільшується. Киснево-конвертерний процес дозволяє одержати < 0,02 % P у готовій сталі [1].

Умови для видалення сірки при киснево-конвертерному процесі не можна вважати таким же сприятливим, як для видалення фосфору. Причина полягає в тім, що шлаки містять значну кількість (Fe) і висока основність шлаків (> 2,5) досягається лише в другій половині продувки. Ступінь десульфурації при киснево-конвертерному виробництві перебуває в межах 30 - 50 % і вміст сірки в готовій сталі становить 0,02 - 0,04 % [3].

По досягненні заданого вмісту вуглецю дуття відключають, фурму піднімають, конвертер нахиляють і метал через лютку (для зменшення перемішування металу й шлаків) виливають у ківш.

Отриманий метал містить підвищений вміст кисню, тому заключною операцією плавки є розкислення металу, що проводять у сталерозливному ковші. Для цієї мети одночасно зі зливом стали по спеціальному поворотному жолобі в ківш попадають розкислювачі й легуючі добавки [6].

Шлаки з конвертера зливають через горловину в ківш, установлений на шлаковозі під конвертером.

Плин киснево-конвертерного процесу обумовлюється температурним режимом і регулюється зміною кількості дуття й введенням у конвертер охолоджувачів — металобрухту, залізної руди, вапняку. Температура металу при випуску з конвертера близько 1600 °С.

Під час продувки чавуну в конвертері утворюється значна кількість відходящих газів. Для використання тепла газів, що відходять, і відчищення їх від пилу за кожним конвертером обладнані котел-утилізатор і установка для очищення газів [5].

Керування конвертерним процесом здійснюється за допомогою сучасних потужних комп'ютерів, у які вводиться інформації про вихідні матеріали (склад і кількість чавуну, шлакоутворюючих), а також про показники процесу (кількість і склад кисню, відходящих газів, температура й т.і.) [6].

### **1.1 Аналіз процесів дефосфорації металу в кисневому конверторі**

У процесі плавки потрібна обов'язкова дефосфорація металу, в результаті якої вміст фосфору знижується у 100 і більше разів. Сприятливі умови для видалення фосфору можна створити тільки в окисних умовах сталеплавильного агрегату, у тому числі й у кисневому конвертері. При проведенні розкислення та легування металу, подальшої ковшової обробки вміст фосфору в сталі тільки зростає [7].

Негативний вплив фосфору на властивості сталі пов'язаний насамперед із тим, що він має необмежену розчинність у рідкому залізі, але погано розчиняється у твердому.

В результаті цього знижується пластичність металу, особливо ударна в'язкість при низьких температурах, тобто фосфор викликає холодноламкість сталі. У зв'язку з цим встановлюються особливо суворі

межі вмісту фосфору в сталях, призначених для роботи при низьких температурах [5].

Підвищений вміст фосфору також погіршує міцність та зварюваність нагрітого металу. Це може призвести до утворення гарячих тріщин при безперервній розливці металу і до поганого заварювання порожнин у злитках і литих заготовках при обробці металу тиском. При цьому збільшуються відходи металу у вигляді обрізи із злитків, розшарування металу в готовому прокаті і т.п. Фосфор разом із сіркою і киснем підвищує анізотропію властивостей міцності прокату [5].

Основним заходом боротьби зі шкідливим впливом фосфору на властивості сталі є забезпечення як можливо низького вмісту їх у готовому металі шляхом дефосфорації.

Зазвичай фосфор із металу видаляється внаслідок його окислення. Однією з основних реакцій дефосфорації металу в сталеплавильних процесах є утворення петоксиду фосфору за реакцією:



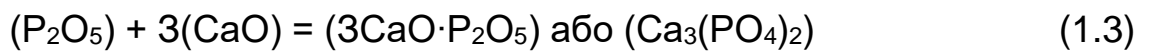
Однак унаслідок малої хімічної спорідненості фосфору до кисню пентоксид термічно нестійкий і при температурах сталеплавильних процесів у вільному стані існувати неспроможний, тобто перебіг реакції утворення  $P_2O_5$  є необхідною, але недостатньою умовою дефосфорації металу [7].

Для успішної дефосфорації металу додатково необхідне утворення міцних фосфатів у шлаку. У кислих шлаках внаслідок надлишку  $SiO_2$  утворення фосфатів отримує обмежений розвиток та коефіцієнт розподілу фосфору між кислим шлаком та металом  $L_p = (P)/[P]$  складає всього 1–3, тому дефосфорація металу в кислих процесах не відбувається [7].

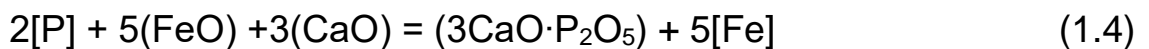
В основних шлаках при низьких температурах початку плавки можуть утворитися трифосфати заліза в основному по реакції:



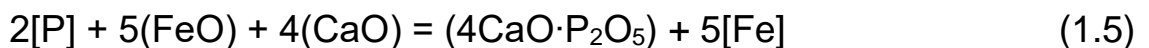
Найбільш стійким є трифосфат кальцію  $3CaO \cdot P_2O_5$ , який порівняно з іншими фосфатами кальцію має найбільшу температуру плавлення і гострий максимум на діаграмі стану  $CaO-P_2O_5$ . Тому на кінцевих стадіях плавки додатковою умовою забезпечення процесу дефосфорації металу є протікання реакції:



Комбінуючи останнє рівняння з рівнянням реакції утворення  $P_2O_5$ , отримуємо рівняння сумарної реакції основного процесу дефосфорації металу:



При високій основності шлаку не виключена можливість утворення з'єднання  $4CaO \cdot P_2O_5$ , тобто. можливим є перебіг реакції:



Усі реакції дефосфорації металу є дуже екзотермічними [8].

Для збільшення ступеню видалення фосфору з металу застосовують технологію конверторної плавки зі зкачуванням проміжного шлаку [9].

Втім при такій схемі збільшується витрата шлакоутворюючих речовин, а також збільшується загальний час конверторної плавки, що негативно впливає на продуктивність процесу виробництва сталі [10].

## 1.2 Аналіз процесів десульфурації металу в кисневому конверторі

Сірка є найшкідливішою домішкою, що знижує механічну міцність і зварюваність сталі, а також електротехнічні, антикорозійні та погіршує її інші характеристики [11]. Помітний негативний вплив сірки на властивості сталі зазвичай проявляється вже за її вмісту 0,005 - 0,010 %, у деяких випадках навіть за 0,002 - 0,003%. Сірка має необмежену розчинність у рідкому залізі (до 38 % при переході її в сульфід заліза FeS 36,5%) [6].

Якщо не вживати заходів, наприклад, не розкислювати метал, то під час кристалізації та при подальшому охолодженні металу весь надлишок сірки виділяється у вигляді сульфиду заліза FeS спільно з FeO, оскільки в нерозкисленому металі завжди міститься кисень у кількостях, що значно перевищують його розчинність у твердому залізі [12].

Чистий сульфід заліза має температуру плавлення 1190°C, а оксисульфідний розплав є евтектикою FeO–FeS має температурою затвердіння ~ 989°C, тобто значно нижчу за температуру плавлення металу. Внаслідок цього при кристалізації металу відбувається виділення сульфиду та оксисульфиду заліза в рідкому вигляді [7].

Маючи високу змочуваність, сульфідні включення, що виділяються, розташовуються за межами зерен металу у вигляді тонких плівок. Утворення рідких плівок різко знижує міцність металу при температурах червоного гартування (>1000°C) і під впливом зовнішнього тиску викликає наступне

- утворення гарячих тріщин на зливках та безперервнолитих заготовках;
- появу рваних, тріщин та інших поверхневих дефектів на прокаті;
- погане зварювання внутрішніх усадкових порожнеч металу під час прокатки [6].

Внаслідок чого обріз від злитків зростає при підвищенні вмісту сірки, тобто спостерігається збільшення витрат металу на прокаті.

Цей негативний ефект називається явищем червоноламкості. Високий вміст сірки негативно впливає на службові, насамперед на міцносні властивості сталі, також і при низьких температурах  $< -30$  °С. Отже, підвищений вміст сірки викликає як червоноламкість, так і холодноламкість сталі [5].

Зниження міцносних властивостей сталі з підвищенням вмісту сірки пов'язано з тим, що сульфідні і оксисульфідні включення, що виділяються з металу, порушують цілісність металу, а самі включення мають незначну міцність, є крихкими, особливо при низьких температурах.

Для зменшення негативного впливу сірки на властивості сталі необхідно завжди прагнути отримувати як можливо нижчий вміст її в готовому металі та забезпечувати виділення сульфідних та оксисульфідних включень, що мають переважно форму глобулів, які практично не деформуються в процесі обробки металу тиском [13].

Теоретично ідеальний вміст сірки в сталі має бути менше 0,0005%, а в деяких випадках - менше 0,0001% [6].

Позитивним є введення в розплав кальцію, який утворює з сіркою практично не розчиняються в рідкому залізі сульфіди та оксиди кальцію.

Незважаючи на відносно низьку температуру кипіння ( $445$ °С), сірка в елементарному вигляді в газову фазу практично не переходить, що свідчить про знаходження сірки в металі у вигляді сполук, головним з яких є сульфід заліза FeS [14].

Основним летким з'єднанням, яке утворює сірка в сталеплавильних процесах, є SO<sub>2</sub>. Зміна вмісту сірки в металі відбувається за такими реакціями [8]:

- на кордоні газ-метал (у бульбашках CO, що знаходяться в об'ємі металу):



- на межі газ-шлак (у бульбашках CO, що знаходяться в об'ємі шлаку):



- на кордоні газ-метал за участю кисню газової фази:



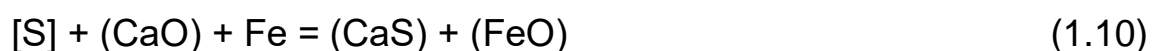
- на кордоні газ-шлак, над ванною:



У сталеплавильній ванні реакції окислення сірки металу і шлаку на поверхні бульбашок CO протікають лише у напрямку окислення сірки, внаслідок чого відбувається безперервне видалення сірки із ванни у газову фазу. У сталеплавильних процесах термодинамічно можливе протікання реакцій окислення сірки з утворенням газу SO<sub>2</sub>, але ці реакції досягають рівноваги при дуже малих значеннях парціального тиску SO<sub>2</sub> у газовій фазі. Перехід сірки з металу в газову фазу навіть при сприятливих умовах незначний і не забезпечує помітної десульфурзації металу [8].

Десульфурация металу при плавці сталі насамперед досягається переходом сірки в шлак [1].

Існує кілька схем опису процесу розподілу сірки між шлаком та металом. У загальному вигляді десульфурация проходить по реакції:



Як видно з рівняння реакції (1.10) для прискорення десульфурації металу насамперед необхідне підвищення у шлаку вмісту вільного CaO, яке досягається при зростанні основності шлаку, та зниження вмісту FeO, яке залежить від концентрації вуглецю в металі та, особливо, від розкислення шлаку [7]. Мінімальний вміст FeO у шлаку забезпечують присадками алюмінію або вуглецю:



Сіркопоглинальна здатність шлаку оцінюється коефіцієнтом розподілом сірки між шлаком і металом [1].

$$L_S = \frac{(\text{S})}{[\text{S}]} = \frac{K_S \cdot \alpha_{(\text{MeS})} \cdot \gamma_{[\text{S}]}}{\alpha_{(\text{FeO})} \cdot \gamma_{(\text{S})}} \quad (1.13)$$

В первинній реакційній зоні можливе пряме окислення сірки і у газову фазу переходить 5-15 % загальної кількості сірки, що виводиться в ході плавки. Отже, сірка переважно переходить в шлак, де утворює сульфіди.

Зростання  $L_S$  зумовлене підвищенням і  $\alpha_{(\text{CaO})}$  і зниженням  $\alpha_{(\text{FeO})}$ , а також наявністю в металі [C], [P], [Si], що збільшують  $\gamma_{[\text{S}]}$ .

При окислювальній плавці шлак містить понад 5 % (FeO) і тому умови конвертерної плавки у цілому несприятливі для десульфурації,  $L_S$  наприкінці процесу становить лише 4-7.

Найефективніше знесірення металу протікає при основності (B)  $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2) > 2$ . Але при  $B > 3-3,5$  вміст (CaO) досягає межі насичення, шлак стає гетерогенним і густим, що знижує його десульфуруючу

здатність. Звичайно ступінь десульфурації у конвертері становить 30-40 % (рідко досягає 50 %) [15].

Сучасний етап розвитку сталеплавильних процесів характеризується прагненням використовувати будь-які сталеплавильні агрегати, тільки для окислювального рафінування, отримуючи при цьому напівпродукт із заданою температурою, вмістом вуглецю та інших домішок, крім сірки [16]. Десульфурація металу в агрегаті проводиться тією мірою, яка можлива під час роботи на окислених шлаках. Якщо в отриманому напівпродукті вміст сірки виявляється вище допустимого в готовій сталі, то додаткова десульфурація металу проводиться в сталерозливному ковші при суміщенні її з розкисленням – легуванням та обробкою твердою шлакоутворювальною сумішшю, особливо ефективна десульфурація при ковшовій обробки на агрегаті «ківш-піч» [17].

### **1.3 Інтенсифікація процесів шлакоутворення, дефосфорації та десульфурації металу в кисневому конвертері**

Для більш повного та швидкого розчинення вапна в шлаці можуть бути використані наступні заходи [11]:

1. Зменшення вмісту кремнію в чавуні до 0,2 - 0,5% і  $\text{SiO}_2$  в твердій шихті, що призводить до зниження концентрації кремнезему в первинних шлаках і перешкоджає утворенню плівки тугоплавкого ортосилікату кальцію ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) на поверхні шматків вапна.

2. Збільшення окисленості шлаку шляхом підйому кисневої фурми або зниження тиску дуття. Наприклад, для швидкого формування шлаку на початку киснево-конвертерної плавки продування починають за допомогою фурми, розташованої на висоті 1,5 - 3 м над рівнем спокійного металу, яку потім ступінчасто опускають у робоче положення.

3. Збільшення вмісту оксидів марганцю в шлаці в результаті підвищення концентрації марганцю в чавуні, застосування вапна, збагаченого оксидами марганцю та ін.

4. Подача у ванну флюсів, що знижують в'язкість шлаку і сприяють розчиненню вапна. У цьому відношенні найбільш ефективною є присадка плавикового шпату  $\text{CaF}_2$  який не тільки зменшує в'язкість шлаку, але і різко знижує температуру плавлення розчинів системи  $\text{CaO-CaF}_2$ . За даними деяких досліджень, введення в шлак  $\text{MgO}$  у кількості 4 – 6%, наприклад, у вигляді доломітизованого вапна, також сприяє зниженню в'язкості шлаку та поліпшенню шлакоутворення [18].

5. Вдування порошкоподібного вапна в первинну реакційну зону кисневого конвертера в потоці кисню. Найбільш виправдане вдування вапна в конвертерах донного дуття, де через низький вміст оксидів заліза в шлаці (5 - 6%) швидкість розчинення вапна дуже мала. У кисневих конвертерах донного дуття окиснення шлаку збільшується тільки в заключному періоді продування при вмісті вуглецю в металі менше 0,1%. Тому при виплавці таким способом середньо- і високовуглецевої сталі з використанням для наведення шлаку кускового вапна процеси десульфурзації та дефосфорації не набувають розвитку [19].

6. Подача у ванну високоосновного агломерату та синтетичних матеріалів, виготовлених з порошоків вапна та залізорудного концентрату, у вигляді брикетів або окатишів.

7. Збільшення кількості подач вапна, що вводиться в кисневий конвертер під час продування. Введення у ванну великої кількості вапна одночасно сприяє його комкуванню та погіршує шлакоутворення.

8. Для інтенсифікації шлакоутворення можна залишати в конвертері до 30% шлаку попередньої плавки. При цьому потрібна обережність при заливанні чавуну в конвертер.

9. Заміна односоплових фурм багатосопловими сприяє розосередженню дуття по поверхні ванни, яке супроводжується збільшенням окиснення шлаку [21].

Одним з ефективних способів є рафінування сталі вдування порошкоподібних матеріалів. Вдування порошоків у розплав забезпечує максимальну поверхню контакту та швидкість взаємодії реагентів з рідким металом. При цьому реагенти вдуваються в розплав струменем газу-носія, який також надає певний вплив на метал, що рафінує. Все це сприяє досягненню високої швидкості процесів масообміну і найповнішому видаленню з металу шкідливих домішок при значно меншій витраті реагентів.

В публікаціях [21-23] було показано можливість інтенсифікації плавки та підвищення якості сталі вдуванням порошкоподібних матеріалів безпосередньо у ванни сталеплавильних агрегатів з метою прискорення шлакоутворення, дефосфорації, десульфурзації металу. Для виплавки сталі з низьким вмістом фосфору, сірки, неметалевих включень необхідна комплексна технологія продування металу порошкоподібними металами в сталеплавильному агрегаті з метою дефосфорації та сталерозливного ковша для десульфурзації та видалення неметалевих включень.

Швидкий підйом температури при продувці киснем і відносно повільне утворення шлаку під час використання кускових шлакоутворюючих матеріалів не дозволяє отримати низький вміст фосфору в кінці плавки сталі в кисневому конвертері [22].

Проведені поглиблені дослідження щодо вивчення впливу кінетики та оптимізації технологічних параметрів на дефосфорацію сталі при вдуванні порошкоподібних матеріалів дозволили сформулювати основні положення технології глибокої дефосфорації конструкційних сталей [22]:

- для вдування застосовується порошкоподібна суміш із 65 % вапна, 25 % залізної руди та 10 % плавикового шпату в кількості 2,5–3,0 % маси

металу з розміром частинок не більше 2 мм та вмістом вологи у суміші перед її використанням не вище 1 %;

- порошки вдувають після розплавлення шихти при температурі металу не більше 1540–1560 °;

- метал перед вдуванням суміші повинен містити не більше 0,60% Mn , 0,30% Si , 0,30% Cr ; при вищому вмісті цих елементів необхідна попередня продування металу чистим киснем для їх окислення до вдування дефосфоруєчої суміші;

- інтенсивність вдування суміші в метал повинна становити не менше 5,0-5,5 кг/хв на 1 т металу при тиску газу, що транспортує в камерному живильнику не менше 0,5-0,6 МПа;

- після закінчення вдування порошкоподібної суміші здійснюється продування металу чистим киснем під тиском 0,7-1,0 МПа до заданого вмісту вуглецю.

Виробництво конструкційних легованих сталей за вказаною технологією дозволяє за 5-6 хв вдування порошків знизити концентрацію фосфору в металі до слідів і отримати його вміст у готовій сталі не більше 0,005%. При цьому вміст фосфору в готовому металі не залежить від його початкового вмісту і в середньому вдвічі менше, ніж за звичайною технологією (рис. 1.4).

Збільшення вмісту фосфору в готовій сталі до 0,004–0,005 % пов'язане з подальшим відновленням фосфору із залишків окисного шлаку та надходженням його з розкислювачів та феросплавів. Навіть при використанні розкислювачів та феросплавів з відносно низьким вмістом фосфору їхня присадка збільшує концентрацію фосфору в металі на 0,001–0,002 %.

Застосування комплексної технології обробки сталі вдуванням порошкоподібних матеріалів у конвертері та обробка в ковші забезпечує отримання в готовому металі стабільно низьких вмістів фосфору ( $\leq 0,005$  %), сірки ( $\leq 0,003$  %) та неметалічних включень [24]. Внаслідок настільки

низьких концентрацій фосфору та сірки, зниження вмісту неметалевих включень більше ніж у 2 рази значно зростають механічні властивості сталі, підвищується їх стабільність у 2-3 рази [25]. Макроструктура сортового та листового прокату характеризується більшою однорідністю.

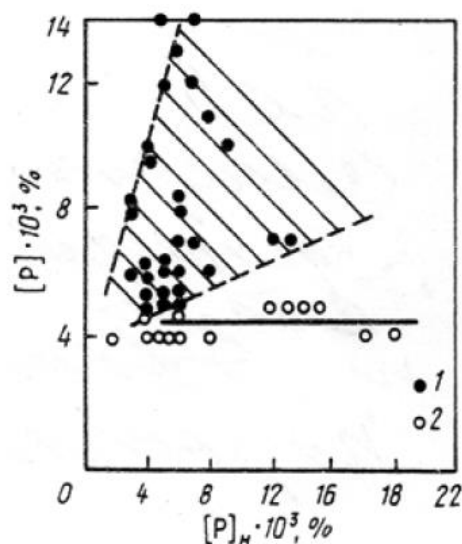


Рисунок 1.4 - Залежність вмісту фосфору в готовій сталі  $[P]$  від його початковій концентрації  $[P]_н$ :

1 – звичайна технологія ; 2 – нова технологія

Висока чистота металу, що отримується при комплексній обробці сталі вдуванням порошкоподібних реагентів у конвертері та обробкою в ковші, відкриває можливість створення нових марок сталі з підвищеними властивостями при відсутності та значному зниженні ступеня їх легування дорогими та дефіцитними елементами.

### Висновки до розділу 1

Проведено аналіз процесів дефосфорації та десульфурзації сталі в кисневому конвертері.

Визначено технологічні параметри, що впливають на процеси дефосфорації та десульфурзації сталі в кисневому конвертері.

Проаналізовано шляхи інтенсифікація процесів шлакоутворення, дефосфорації та десульфурації металу в кисневому конвертері.

В наступному розділі буде проведено дослідження впливу технологічних параметрів роботи кисневого конвертеру на процеси десульфурації та дефосфорації для умов конвертерного цеху ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У рішенні задач соціально-економічного прогресу країни важлива роль належить охороні праці: законодавству про працю, нормам і правилам промислової санітарії, техніці безпеки, а також протипожежній профілактиці, які безпосередньо визначають розвиток економіки і приріст суспільного багатства, підвищення добробуту.

Охорона праці - система законодавчих актів, соціально-економічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і коштів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Небезпечний виробничий чинник - чинник, вплив якого на працюючого в певних умовах, приводить до травми або іншого раптового різкого погіршення здоров'я.

Шкідливий виробничий чинник - чинник, вплив якого на працюючого в певних умовах приводить до захворювання або зниження працездатності.

У даному розділі дипломної роботи приведені основні і небезпечні виробничі чинники, а також розроблені заходи щодо їх усунення або зменшення на ділянці конвертерного прольоту. Вибрані засоби індивідуального захисту, побутові і допоміжні приміщення для обслуговуючого персоналу для вказаної ділянки, розроблена пожежна профілактика, а також вироблені розрахунки аерації та сумарного рівня шуму.

### **3.1 Аналіз умов праці**

Основні шкідливості і небезпечності на ділянці конвертерного прольоту категорія фізичної роботи визначається як середньої важкості (IIб) тому, що енерговитрати працівника знаходяться в межах 172-293

Дж.с. Значення метеорологічних умов в робочих зонах ділянки відповідно ДСН 3.3.6.042-99 [27] наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Оптимальні, допустимі і фактичні значення метеоумов в робочій зоні ділянки конвертерного прольоту.

Категорія важкості робіт	Оптимальні			Допустимі			Фактичні		
	Температура °C	Відносна вологість	Швидкість руху повітря	Температура °C	Відносна вологість	Швидкість руху повітря	Температура °C	Відносна	Швидкість руху повітря
II б	Холодні перехідні періоди року								
	17-19	60-40	0,3	16-21	75	0,4	12-21	60	0,5-1
II б	Теплий період року								
	20-28	60-40	0,4	24	75	0,5-1	25-34	50	1,5-2

Основні шкідливі речовини, якими забруднюється повітря робочого місця: аерозолі оксидів заліза, вуглецю, азоту, метану. Кількість шкідливих викидів цих речовин наведено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Кількість шкідливих викидів.

Найменування викидів	Продуктивність установки, тис. тонн сталі на рік	Питомі, ГК	Максим альні кг/год.	Добові кг
1. Пил	350	240	33,6	240
2. Закис вуглецю	350	120	17,2	120
3. Закис азоту	350	88	12	88
4. Метан	350	360	30	175

Дані по фактичному вмісту основних шкідливих речовин у повітрі, їх ПДК, а також клас небезпеки відповідно ГОСТ 12.1.005-88 [26] - наведені в таблиці 3.3.

Металевий пил має загально-токсичну і дратівну дію, викликає запалювальні хвороби легень, порушення функції печінки, зниження шлункової секреції, зміни в крові і серцево-судинні системи. Оксид вуглецю має гостро направлену дію на організм людини. Він витискує кисень із крові, при цьому його вміст в повітрі легень може знижуватись з 18-20 до 8%, що припиняє віддачу кисню трахеям легень.

Таблиця 3.3 - Фактична концентрація, ПДК і клас небезпеки шкідливих речовин у повітрі робочої зони ділянки конвертерного прольоту.

Шкідлива речовина	Фактична концентрація мг/м <sup>3</sup>	ПДК мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки	Дія на організм
Металевий пил Fe	до 20	6	III	На легені, печінку
CO	до 12	20	IV	Гостро направлена дія
NO <sub>2</sub>	до 1,2	2	III	Гостро направлена дія
SO <sub>2</sub>	до 5	6	IV	Фіброгенна дія

Ці шкідливі речовини при невірній організації виробництва і недотриманні певних профілактичних заходів можуть надавати шкідливий вплив на здоров'я, призводити до гострих хронічних отруєнь і професійних захворювань працівників. Крім того, шкідливим фактором є виділення теплоти, джерелом якої є поверхні рідкої сталі. Температура рідкої сталі сягає 1560<sup>0</sup>C. Теплове опромінювання робітників не повинне перевищувати 140 Вт/м<sup>2</sup>.

Надлишок тепла викликає у працівника підвищене потовиділення, що призводить до збіднення тканини рідиною і солями, а також крові з порушенням серцево-судинної та нервової діяльності.

В цеху також знаходиться багато рухаючихся механізмів, які можуть викликати підвищений рівень шуму. Шум є також шкідливою складовою виробничого процесу. Шум впливає на центральну-нервову систему - через кору головного мозку на підкоркові центри вегетативної нервової системи, які керують роботою внутрішніх органів і систем (травлення, кровообігу, залоз внутрішньої секреції і т.п.), що призводить до сумбуру в роботі , цих органів і загальному недомаганню людини, тобто до "шумового захворювання"

Ще одним чинником, який може впливати на організм людини є вібрація, яка виникає внаслідок роботи устаткування і механізмів. Загальна вібрація може, впливаючи на центральну нервову систему, викликати головний біль, головокружіння, поганий сон і погане самопочуття, порушення серцевої діяльності і працездатності.

Наявність на ділянці електроустаткування та металевих споруд потребує захисту працюючих від дії електротоку пошкодженої електрики.

Умови праці на робочих місцях виробничих приміщень або майданчиків складаються під впливом великого числа чинників, різних за своєю природою, формах вияву, характеру дії на людину.

До основних шкідливих і небезпечних чинників які можуть виникнути на ділянці конвертерного прольоту являються:

- 1) Виробничий шум.

Джерелами підвищеного шуму на ділянці конвертерного прольоту є кисневий конвертер. Фактичний рівень шуму на ділянці конвертерного прольоту складає 86 дБ. Шкідливий вплив шуму на організм людини:

- а) Безпосередній вплив на органи слуху:

- короткочасний вплив на органи слуху імпульсного шуму, що перевищує 150 дБ, може викликати травму барабанної перетинки і слухових паличок і миттєве безповоротне настання глухоти;

- тривалий вплив шуму, що перевищує гранично допустимий рівень (по 28. ДСН 3.3.6.037-99- 80 дБ) [28], може викликати переродження нервової слухової тканини в сполучну, що приводить до зниження чутливість слуху до звуків високих частот.

б) Вплив на центральну нервову систему через кору головного мозку на підкоркові центри вегетативної нервової системи, керівної роботою внутрішніх органів і систем (травлення, кровообіг, залоз внутрішньої секреції т.д.), що приводить до сумбуру в роботі цих органів і загального нездужання людини, тобто до "шумової хвороби".

2) Загазованість і запиленість повітряної середовища.

До речовин, що мають місце в повітряному басейні району розміщення сучасних підприємств чорної металургії, відносяться сірчастий ангідрид, пил, сірководень, оксид вуглеводу, оксиди азоту, бензапірен, бензол.

Шляхи утворення пилу на ділянці конвертерного прольоту:

- дезінтеграційний (при подрібненні, помелі футерівки, чищенні ковщів, ломки окалини і т.д.);

- конденсаційний (при випаровуванні металу з подальшим окисленням і конденсацією).

Шкідливий вплив пилу на організм людини залежить від хімічного складу, форми і розмірів часток.

Згідно ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 [29] шкідливі хімічні чинники поділяються на: токсичні (отруйні), дратівливі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні, що впливають на репродуктивну функцію.

Якщо в суміші знаходиться декілька отруйних речовин, то вони можуть надавати на людину наступні варіанти спільного впливу:

- аддитивний (підсумовуючі)

- потенцірованне (що взаємно посилюють)
- що взаємно ослаблює.

У результаті постійного впливу на організм, обслуговуючий персонал може отримати захворювання дихальних шляхів, очей, шкіри, отруєння.

### 3) Освітленість

У зв'язку з тим, що будівля конверторного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» по своїх габаритах є досить великою, де шляхом природного освітлення досягти освітленості в 200 лк не можна, тому потрібно додаткові джерела штучного освітлення [30]. У результаті поганого освітлення зростає напруга на очі, що приводить до погіршення зору. Також у конверторному цеху і на ділянці конвертерного прольоту зокрема, людям приходится працювати при сильному світловому випромінюванні від розплавленого металу (у момент відбору проб металу), що може привести до такого захворювання як катаракта (помутніння роговиці кристалика ока)

### 4) Теплове випромінювання.

Основним джерелом тепловиділення служить кисневий конвертер. Фактична величина інтенсивності теплового випромінювання на робочому місці сталевара (два метри від джерела) складає 1978 ккал/м<sup>2</sup>год.. Норма інтенсивності теплового випромінювання складає 301 ккал/м<sup>2</sup>год. При теплових виділеннях мікроклімат в гарячих цехах переважно радіаційний, причому, чим вище температура джерела, тим вище частка тепла, що виділяється випромінюванням. Шкідливий вплив вказаного чинника на організм обслуговуючого персоналу полягає в тому, що в результаті постійного впливу на організм, обслуговуючий персонал може отримати профзахворювання. Захворювання, що викликаються впливом теплоти:

а) Гіпертермія (перегрів): в легкій формі теплове виснаження.

Температура тіла підвищується на 0,3 - 1,0<sup>0</sup>С, шкіри на 0,5 - 1,5<sup>0</sup>С; у важкій формі тепловий удар. Температура тіла підвищується до 39- 41<sup>0</sup>С.

б) Судорожна хвороба (теплові судороги) в результаті порушення водно- сольового обміну.

в) Катаракта (помутніння рогівки кришталіка очей). Підвищується також загальна захворюваність в гарячих цехах: хвороби серця, шлунка, простудні і гнійничкові захворюванн

### 3.2 Виробнича санітарія та гігієна праці

Обслуговуючий персонал ділянки конвертерного прольоту повинен забезпечуватися засобами індивідуального захисту безкоштовно, згідно з штатним розкладом на основі "Типових галузевих норм видачі засобів індивідуального захисту". Розрахунок річної потреби засобів індивідуального захисту для обслуговуючого персоналу на ділянці позапічної обробки сталі розраховані і приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Річна потреба засобів індивідуального захисту

№	Професія	Кількість працюючих, чол.	Засоби індивідуального захисту	Термін носіння, мес	Річна потреба
1	Сталевар і підручний сталевара	8	Костюм суконний	6	16
			Черевики шкіряні	6	16
			Рукавиці азбестові	чергові	до зносу
			Фартух азбестовий	чергові	до зносу
2	Машиніст крана	4	Костюм суконний	12	4
			Черевики шкіряні	12	4
3	Майстер	1	Костюм суконний	12	1
			Черевики шкіряні	12	1
			Капелюх повстяний	2	6

Загальна кількість працюючих на ділянці конвертерного прольоту повинна складати 13 чоловік: кількість працюючих в найбільш численній зміні 4 людини, в інших змінах працюють по 3 людини.

Обслуговуючий персонал на ділянці конвертерного прольоту повинен забезпечуватися побутовими, допоміжними приміщеннями і пристроями згідно ДБН В.2.2-28:2010 [31].

Виробничий процес на цій ділянці згідно ДБН В.2.2-28:2010 за санітарно-гієнічною характеристикою відноситься до групи 2б. У зв'язку з цим обслуговуючий персонал цієї ділянки повинен бути забезпечений наступними побутовими приміщеннями і пристроями: гардеробні, душеві, умивальники, уборні, курилки, пристрої питного водопостачання, приміщення підприємств громадського харчування і охорони здоров'я.

Вуличний одяг зберігається відкритим способом на передбачених для цього гачках і вішалках. Число гачків приймаємо рівним чисельності працюючих в двох суміжних змінах (одна з яких найбільш численна) з урахуванням резерву 5% на практикантів.

Інші приміщення розраховуються по кількості працюючих в найбільш численній зміні. У жіночих і чоловічих душевих 1 сітка душу передбачена на обслуговування трьох чоловік. В умивальниках 1 кран розрахований на обслуговування 20 чоловік. Душеві і умивальники розміщені суміжно з гардеробними.

Для живлення трудящих працює столова, в якій одне посадочне місце розраховане на обслуговування чотирьох чоловік. Для заповнення втрат вологи і мінеральних солей в цеху розміщені питні фонтанчики, автомати з підсоленою газованою водою. Джерела питного водопостачання розташовані від робочих місць, ділянки конвертерного прольоту, не далі 75 м. Кількість джерел водопостачання для групи 2б розрахована по нормі один питний пристрій на 100 чоловік.

Уборні віддалені від робочих місць, на ділянці позапічної обробки сталі, не більше за 75 м. Кількість санітарних приладів в них визначено по нормі 1 санітарний прилад на обслуговування 18 чоловіків в чоловічих і 12 жінок в жіночих уборних.

Працюючі на ділянці конвертерного прольоту цілодобово повинні обслуговуватися лікарським пунктом 1 кат.

### 3.3 Техніка безпеки

Для зменшення кількості пилу та газу на робочих місцях необхідно встановити аераційний витяжний ліхтар.

Розрахунок аерації витяжного отвору ліхтаря.

Вихідні дані:

- Об'єм споруди - 8640 м<sup>3</sup>;
- тепловиділення - 200 ккал/год м<sup>3</sup>

Надмірне тепловиділення в цеху:

$$Q_{\text{над}} = q \times V_{\text{прим}} \times 0,8 \quad (3.1)$$

де:  $Q_{\text{над}}$  - надмірне тепловиділення в цеху ;

$q$  - питоме тепловиділення ккал/м<sup>3</sup> год;

$V_{\text{прим}}$  - об'єм приміщення в м<sup>3</sup> ;

Тоді:

$$Q_{\text{над}} = 200 \times 8640 \times 0,8 = 1,4 \times 10^6 \text{ ккал/год.}$$

Кількість повітря, яке повинно пройти крізь витяжні отвори ліхтаря

$$V_{\text{пов}} = Q_{\text{над}} / C \times \Delta t = 1,4 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.2)$$

де:  $C$  - об'ємна теплоємність повітря в ккал/м<sup>3</sup> ;

$\Delta t$  - різниця температур у витяжного отвору і навколишнього повітря (звичайно приймається у межах від 4 до 10 град)

3. Площа витяжних отворів ліхтаря :

$$P = V_{\text{пов}} / m \times (2 \times g \times ((f_1 - f_2) / f_2) \times H)^{1/2} \times 3600 \text{ (м}^2\text{)} \quad (3.3)$$

де:  $m$  - коефіцієнт враховуючий опір відтворений отворами;

$f_1, f_2$  - різність питомих ваг навколишнього і внутрішнього повітря, кг/м<sup>3</sup> ;

$H$  - відстань між осями приточних і витяжних отворів, м.

тоді:

$$P=0,78 \times 10^6 / 0,65 \times (2 \times 9,81 \times ([1,173 - 1,15] / 1,15) \times 12)^{1/2} \times 3600 = 153,4 \text{ м}^2$$

Розподілив цю площу з обох боків витяжного отвору ліхтаря при довжині робочого майданчика в 36 м і кількості рядів ліхтарів 1 отримаємо висоту витяжного отвору :

$$h_{\text{отв}} = P / 2 \times L \times n = 153,4 / 2 \times 36 \times 1 = 2,13 \text{ м} .$$

Площу приточних отворів приймаємо з запасом рівним 50% :

$$F_{\text{пр}} = 1,5 \times F = 1,5 \times 153,4 = 230,1 \text{ м}^2$$

Для зменшення впливу шуму необхідно: раціональне розміщення технологічного устаткування і робочих місць, створення шумозахисної зони, засобів індивідуального захисту.

Розрахунок сумарного рівня шуму.

Вихідні дані:

- рівень шуму на крані - 85 дБ;
- рівень шуму від конвертора - 92 дБ.

При спільній дії 2-х джерел з різними рівнями шуму, сумарний рівень шуму знаходиться по формулі:

$$L = L_1 + D_1, \text{ дБ} \quad (3.4)$$

де:  $L_1$  - рівень шуму на більш гучному агрегаті;

$D_1$  - добавка, розраховуємо з наступної формули:

$$L = L_1 + D_1 = 92 + 0,8 = 92,8 \text{ дБ}$$

Сумарний рівень шуму складе 92,8 дБ

### 3.4 Пожежна профілактика

Промисловий процес в конвертерному прольоті за вибухопожежною небезпекою, згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [32], належить до категорії Г, а по вогнестійкості згідно до 2 ступеню.

Причиною виникнення вибуху в конвертерному прольоті може бути:

- порушення нормальної експлуатації обладнання, яке працює під тиском;

- запилення газо-, паро- та пило- повітряних сумішей, які утворюються під час технологічного процесу;
- контакти води з рідним металом і шлаком.

Запобігання загоранню вибухонебезпечних сумішей досягається припиненням підсосу повітря в газові пристрої, а також контролем за запалюванням палива. Крім того, роботою передбачається встановлення в конвертерному прольоті вогнегасників, розрахунок яких приводиться в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 - Первинні засоби пожежогасіння для конвертерного прольоту.

Найменування (призначення) приміщення	Одиниця виміру	Найменування первинних засобів пожежогасіння					Ящик з піском і лопатою, шт.
		Вогнегасники, шт.					
		Пінні ОВП-10 шт.	Вуглекислотні			УП-2	
			ОУ-2	ОУ-5 ОУ-8	УМ-М		
1	2	3	4	5	6	7	
Конвертерний прольот (1260 м <sup>2</sup> )							
Пости управління	на 1 приміщення	-	-	1	-	1	
Пункти контрольно-вимірювальні	на 1 приміщення	1	2	-	-	-	
Робочий майданчик (900м <sup>2</sup> )	250м <sup>2</sup>	-	-	4	-	1	

В різних газових пристроях конвертерного прольоту можуть утворюватись вибухонебезпечні суміші в результаті підсосу повітря. Вибухонебезпечні суміші утворюються при певному запаленні палива, а

також в результаті просочування газу в навколишнє середовище біля газових пристроїв.

З метою запобігання перерахованих важче причин передбачаються такі дії [33]:

- а) передбачення утворення вибухонебезпечних сумішей;
- б) не допускати возгорання цих сумішей, тобто виключаючи можливість дії джерел енергії на вибухонебезпечні суміші, якщо вони утворюються окрім того треба прийняти міри до локалізації вибухів на випадок їх утворення, а також запобігти можливості попадання вологи під рідний метал та шлак.

### **3.5 Захист навколишнього середовища**

Виплавка сталі в конверторі супроводжується інтенсивним виділенням газу, що містить до 200 г/м<sup>3</sup> дрібнодисперсного пилу. Вихід конверторних газів залежить від кількості кисню, складу чавуну і шлакоутворюючих (вапняку, вапна). Температура газу на виході з конвертору під час проведення кисневого продування підвищується від 1250–1300 °С на початку продування до 1600–1700 °С в середині і в кінці продування. Хімічний склад конверторного газу коливається зазвичай у наступних межах, %: 85–90 CO; 8–14 CO<sub>2</sub>; 1,5–3,5 O<sub>2</sub>; 0,5–2,5 N<sub>2</sub>.

Для вловлювання і відведення газу з конвертора над його горловиною розташовують ковпак-кесон, з'єднаний з газовідвідним газоходом-каміном (охолоджувач конверторних газів (ОКГ) або котел-утилізатор). Конструкція газовідвідного тракту та методи очищення газу залежать від того, чи використовується конверторний газ як паливо чи ні.

За способом відведення та використанням конверторного газу газові тракти кисневих конверторів зазвичай поділяють на три групи:

1. Відведення конверторного газу з повним спалюванням.
2. Відведення газу без допалювання.

### 3. Відведення газу з частковим допалюванням.

На теперішній час ці схеми очищення газів використовують за кордоном. Схема очищення газів за допомогою рукавних тканинних фільтрів, яка використовується у Франції. При цьому теплота газів утилізується для нагріву цеглової насадки повітрянагрівачів. У водоохолоджуючому каміні газу допалюють та охолоджують, а потім направляють в акумулятор. Кінцеве охолодження газу перед подачею його в тканинні фільтри здійснюється у випарному скрубєрі . Кінцева запиленість газу складає 4–7 мг/м<sup>3</sup>.

В системі очищення газу за допомогою сухого електрофільтра газ спочатку охолоджується до 600 °С в котлі-утилізаторі , а потім до 200 °С у випарному скрубєрі. Потім за допомогою димососу очищений газ викидається через димову трубу в атмосферу.

## ВИСНОВКИ

Проведено аналіз процесів дефосфорації та десульфурзації сталі в кисневому конвертері.

Визначено технологічні параметри, що впливають на процеси дефосфорації та десульфурзації сталі в кисневому конвертері.

Проаналізовано шляхи інтенсифікація процесів шлакоутворення, дефосфорації та десульфурзації металу в кисневому конвертері.

Проведено дослідження впливу технологічних параметрів роботи кисневого конвертеру на процеси десульфурзації та дефосфорації для умов конвертерного цеху ПрАТ "КАМЕТ-СТАЛЬ".

Визначено раціональні параметри конвертерної плавки з точки зору покращення умов десульфурзації та дефосфорації. Витрату чавуну на рівні до ..... кг / т чавуну, тому що перевищення цього значення знижує розвиток процесів десульфурзації та дефосфорації, а зменшення кількості чавуну погіршує тепловий баланс плавки, що потребуватиме спалювання більшої кількості вугілля та коксу, які містять значну кількість сірки, а також збільшуватиметься вміст FeO в шлаці. Витрату вапна потрібно підтримувати на рівні ..... кг/т чавуну для забезпечення розвитку процесів десульфурзації та дефосфорації. Зменшення витрат призводить до гальмування обох процесів, а збільшення понад вказане значення призводить до гальмування процесу десульфурзації і є недоцільним в більшості випадків. Збільшення витрати вапна понад вказане значення може бути доречним при збільшеному вмісті фосфору в чавуні. Температуру сталі на повальці потрібно підтримувати на рівні не більше ..... °С, не допускати перегріву металу а також передуву.

Також доцільним є з точки зору зменшення вмісту сірки та покращення умов десульфурзації зменшити витрату коксу та вугілля. Для забезпечення необхідного теплового рівня при зменшені витрат коксу та вугілля потрібно вводити додатковий вуглецьмісний матеріал з низьким

вмістом сірки. Таким матеріалом може бути відходи графітових електродів – подрібнені залишки електродів після використання та зламані електроди. Це дозволить частково замінити вугілля та кокс на матеріал, вміст сірки в якому буде на рівні .....-..... % що в ...-..... разів менше поточного в коксі і вугіллі.

Розглянуті питання охорони праці та захисту навколишнього середовища в умовах конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», розраховано параметри витяжного зонду.

Оцінена економічна ефективність від застосування отриманих раціональних значень параметрів конвертерного процесу. Розраховано, що підтримання витрати чавуну, вапна на визначеному рівні, а також заміна вугілля відходами електродів дозволить знизити собівартість сталі на ..... грн, річний економічний ефект для умов конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» складе ..... млн грн.

## 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. Сталеплавильне виробництво: /В.І. Баптизманський, Б.М. Бойченко, О.Г. Величко та ін.-К.: ІЗМН, 1996. - 400 с.
3. T.W. Miller, J. Jimenez. A. Sharan, D.A. Goldstein. Steelmaking and Refining. Oxygen Steelmaking Processes. The AISE Steel Foundation. Pittsburgh, Pa. 1998. P 475-478.
4. 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.
5. Мовчан В. П., Бережний М. М. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги, 2001. — 336 с.
6. Basic oxygen steelmaking Walker, Keith. Steel Times International; Redhill Vol. 38, Iss. 5, (Jul/Aug 2014): 21-23.
7. Теоретичні основи сталеплавильних процесів: Навч. посібник /М.Я.Меджибожський, П.С.Харлашин.- К.: НМК ВО, 1993.-276 с.
8. Теорія металургійних процесів: Підручник / В.Б. Охотський, О.Л. Костьолов, В.К. Сімонов та ін. – К.: ІЗМН, 1977.– 512 с.
9. Pat. CN102212640 People's Republic of China, IPC C21C 5/28. Converter steelmaking method capable of reducing slag quantity / Shougang Co., Ltd. № 201110146021.0; appl. 01.06.2011; publ. 12.10.2011.
10. Frank Nicolaas Hermanus Schrama, Elisabeth Maria Beunder, Bart Van den Berg, Yongxiang Yang, Rob Boom. Sulphur removal in ironmaking and oxygen steelmaking. Ironmaking & Steelmaking, 2017, № 44:5, pp. 333-343. DOI: 10.1080/03019233.2017.1303914

11. Електронний ресурс: <https://readmetal.com/?p=13059>
12. Електронний ресурс: <https://uas.su/books/metstali/34/razdel34.php>
13. Kagechika H. Recent progress and future trends in the research and development of steel / H.Kagechika // NKK Technical Review. – 2003. – V.88. – pp.6-9.
14. Hess E. Equipment and processes in basic oxygen steel making plant for the adjustment of ultra-low contents of C, P, S and N / E.Hess // Metallurgical Plant and Technology. – 1990. – V.13. – №2. – P.26-34.
15. Kumar R.V., Liu J. Opportunity for using steelmaking/EAF of BOF laden dust to desulfurise hot metal. 2nd International Slag Valorisation Symposium Leuven, 2011. P. 287–298.
16. Schrama Frank Nicolaas Hermanus, Beunder Elisabeth Maria, Berg Bart Van den, Boom Rob. Sulphur removal in ironmaking and oxygen steelmaking. Ironmaking & Steelmaking. 2017. Vol. 44. No. 5. P. 333–343. DOI: <https://doi.org/10.1080/03019233.2017.1303914>
17. О.С. Воденнікова, Л.В. Воденнікова. Десульфуріація сталі: сучасні технології, тенденції та перспективи Met. lit'e Ukr., vol. 30, 2022, No 1 (328), 42-53. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.042>
18. Bannenberг N., Bernsmann G., Delhey H.M., Florin W., Hees E., Hausen P., Schlackenfuhrung und – optimierung von der Roheisenentschwefelung bis zum Konverterabstich. Stahl und Eisen .- 111(1991). Nr. 1. Pp. 119-124
19. К.О. Сергеева. Зв'язок температурного режиму конвертерної плавки з введенням сипких матеріалів / Литво. Металургія, 2014. с. 384-835.
20. Камкіна Л.В., Мішалкін А.П., Камкін В.Ю., Мянoвська Я.В., Дворковий О. І., Ісаєва Л.Є. Моделювання впливу режиму продування ванни на масообмінні процеси та шлакоутворення у кисневому конвертері / Теорія і практика металургії, №1, 2022. с 27-37.

21. Ding Guo Zhao, Jian Sheng Li, Shu Huan Wang, Hong Wei Liu. Practical Research on Desulfurization in Converter with the Analysis of Sulfur in Steel for Civil Engineering. 2012. Advanced Materials Research. 568:17 -20. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.568.17>
22. Improvement of hot metal defosphorization technique / N.Sasaki, Y.Ogawa, S.Mukawa et al. // ShinNittetsu Giho. – 2012. – № 394. – pp.26-32.
23. Masataka Yoshii, Masayoshi Ichinohe. On the Desulfurization in the Basic Oxygen Converter. Tetsu-to-Hagane. Volume 56. 1970, Issue 2. P. 178-185. [https://doi.org/10.2355/tetsutohagane1955.56.2\\_178](https://doi.org/10.2355/tetsutohagane1955.56.2_178)
24. Şener, B., Hüsken, R., & Cappel, J. Desulphurization strategies in oxygen steelmaking. Article in Metallurgical Plant and Technology International. 2012, Abs ID: 2395, Paper No. : 30613. p. 14.
25. Meyer, H.W., Porter, W.F., Smith, G.C. et al. Slag-Metal Emulsions and Their Importance in BOF Steelmaking. JOM, 1968. № 20, pp. 35–42. <https://doi.org/10.1007/BF03378731>
26. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Издательство стандартов, 1988.
27. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – К.: Мінздрав, 1999.
28. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К.: Держстандарт, 1999.
29. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007. Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. К.: Держстандарт, 2007.
30. 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).
31. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення – К.: КИЇВЗНДІЕП, 2010.

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

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