

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії та організації виробництва

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП



Сергій СЕМІРЯГІН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

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

на тему «Дослідження впливу донної продувки сталі в ковші на ефективність рафінування сталі при позапічній обробці»

Керівник роботи

Євген СИНЕГІН

Наставник від бази
практики

Валерій КОСИХ

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

Здобувач

Андрій ТОРІН

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

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Запоріжжя 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

Сергій СЕМІРЯГІН

25 грудня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Торіну Андрію Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Дослідження впливу донної продувки сталі в ковші на ефективність рафінування сталі при позапічній обробці»
керівник роботи Синегін Євген Володимирович, доцент, канд. техн. наук.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №238/14.10.2024 від 14.10.2024 р
2. Термін подання роботи: 15 лютого 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна, методична література зі спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики сталеплавильного виробництва, науково-технічні літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» м. Кам'янське.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження технології позапічної обробки сталі, пристроїв для продувки сталі в ковші. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз паспортів обробки сталі на УКП. Визначення взаємозв'язків між параметрами обробки сталі на УКП та показниками ефективності обробки сталі. Розробка пропозицій щодо покращення технології обробки сталі на УКП. Розділ 3. Охорона праці у відділенні позапічної обробки сталі. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 7 слайдів основної частини, 1 слайд економічна частина.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Синегін Є.В., доцент
Розділ 2	Синегін Є.В., доцент
Розділ 3	Синегін Є.В., доцент
Розділ 4	Латишева О.В, доцент

7. Дата видачі завдання 25.12.2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичний розділ (Аналітично-пошуковий)	25.12.2024-03.01.2025
2	Розділ 2. Технологічний розділ	03.01.2025-23.01.2025
3	Розділ 3. Охорона праці	23.01.2025-26.01.2025
4	Розділ 4. Економічний розділ	26.01.2025-30.01.2025
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, автореферат	30.01.2025-03.02.2025
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.2025-05.02.2025
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	05.02.2025-15.02.2025
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	15.02.2025-20.02.2025

Здобувач

Андрій ТОРІН

Керівник роботи

Євген СИНЕГІН

АНОТАЦІЯ

Торін Андрій Ігорович. Дослідження впливу донної продувки сталі в ковші на ефективність рафінування сталі при позапічній обробці. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

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

Об'єктом дослідження є технологія донної продувки сталі в ковші інертним газом.

Предметом дослідження є дослідження впливу донної продувки сталі в ковші на ефективність її рафінування.

У першому розділі проаналізована досвід експлуатації пристроїв для продувки ковшової ванни. Надана загальна характеристика сучасної технологічної схеми виробництва якісної металопродукції. Приведено аналіз рішень перемішування сталі в ковші. В результаті визначена необхідність встановлення впливу параметрів продувки сталі в ковші на ефективність обробки

У другому розділі проведено аналіз актуальної технології продувки сталі інертним газом в ковші, наведено регулювання витрати газу, наведення ковшового шлаку та його розкислення. Проаналізовано вплив параметрів продувки на ефективність позапічної обробки сталі, зокрема ступінь десульфурзації, витрати феросплавів та ін.

У третьому розділі виконано аналіз умов праці в сталеливарному цеху, розглянуті питання техніки безпеки та пожежної профілактики, а також захисту навколишнього середовища.

У четвертому розділі оцінено планову економічну ефективність від впровадження запропонованих заходів.

ПРОДУВКА СТАЛІ, ПОРИСТІ ПРОБКИ, РЕЖИМ ПРОДУВКИ, ДЕСУЛЬФУРАЦІЯ, ПОЗАПІЧНА ОБРОБКА

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	6
1.1 Досвід експлуатації пристроїв для продувки ковшової ванни	6
1.2 Аналіз сучасної технологічної схеми виробництва якісної металопродукції.....	8
1.3 Вплив продувки інертними газами на якість металевого розплаву	11
1.4 Аналіз основного технологічного устаткування та параметрів обробки розплаву інертним газом	15
1.5 Досвід використання методів перемішування сталі в ковші	20
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	33
2.1 Технологія продувки сталі при обробці на УКП в умовах ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	33
2.1.1 Регулювання витрати газу на продувку.....	34
2.1.2 Наведення рафінувального шлаку	36
2.1.3 Розкислення рафінувального шлаку	37
2.2 Методика статистичного аналізу паспортів плавок	40
2.3 Результати статистичного аналізу.....	43
2.4 Висновки та рекомендації до практичного впровадження	57
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	58
3.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки	58
3.2 Заходи щодо поліпшення умов праці	61
3.3 Захист навколишнього середовища	64
Висновки	66
4 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	67
4.1 Обґрунтування економічної ефективності запропонованої технології	67
4.2 Визначення економічного ефекту від запропонованих заходів	69
Висновки	71
ВИСНОВКИ	72
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

ВСТУП

Позапічна обробка металу визнана високоефективним методом підвищення якості та поліпшення властивостей металопродукції, що випускається серійно, з одночасним зниженням споживання енергетичних і матеріальних ресурсів. Для зниження матеріало- та енергоємності сталі під час позапічної обробки на установці піч-ківш важливим є дотримання встановлених режимів продувки. Ці режими суттєво впливають на формування барботаژної зони і рафінування сталі від неметалевих включень і сірки.

Продування металу інертними газами є обов'язковою складовою сучасного сталеплавильного процесу. Вона функціонує як складовий елемент технологічного циклу виробництва високоякісного металу в кисневих конвертерах з комбінованою продувкою, при доведенні металу на установках печ-ківш і при вакуумуванні, а також як самостійна операція позапічного рафінування металургійних розплавів. Продування металу інертними газами суттєво впливає на фізико-хімічні процеси, що відбуваються в рідкому металевому розплаві, сприяючи видаленню неметалевих включень і газів, а також підвищенню однорідності розплаву за хімічним складом і температурою.

На даний момент в світовій металургійній практиці використовуються донні продувальні блоки для сталерозливних ковшів трьох конструкцій (циліндричні з направленою пористістю, щілинні з направленою пористістю та з ненаправленою пористістю) для кожного з яких емпірично або шляхом чисельного або фізичного моделювання підбираються режими продувки. При цьому достовірно невідомо, які з конструкцій та режимів продувки забезпечують оптимальні показники рафінування сталі, що робить актуальним визначення раціональних режимів продувки.

1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Досвід експлуатації пристроїв для продувки ковшової ванни

В сучасних умовах продувка металевого розплаву у ковші на етапі позапічної обробки є обов'язковою операцією. При цьому вказана операція в значній мірі має вплив на якість металу так само, як обробка вакуумом. Застосовуючи продувку інертними газами об'єм металу пронизують тисячі бульбашок інертного газу (зазвичай аргону) [1]. Кожна бульбашка являє собою маленьку «вакуумну камеру», так як парціальний тиск водню і азоту у такій бульбашці рівні нулю. Крім цього при продувці інертним газом здійснюється інтенсивне перемішування металу, усереднення його складу; перемішування полегшує протікання процесу асиміляції неметалевих включень; проходить і десульфуратія металу. Необхідно мати на увазі, що продувка інертним газом супроводжується зниженням температури металу, тому її часто використовують для регулювання температури металу у ковші.

Під час позапічної обробки обов'язковим є перемішування розплаву в ковші. Встановлено, що перемішування підвищує швидкість рафінування металу різними технологічними засобами, що сприяє ефективному дуговому нагріву і вакуумній обробці розкисленої сталі. Крім того, перемішування забезпечує необхідну однорідність температури і хімічного складу сталі для умов розливання, що істотно впливає на техніко-економічну ефективність виробничого процесу [1-3].

Процес продувки розплаву інертним газом на стадії позапічного виробництва сталі може здійснюватися за двома технологіями: продувка через занурювальну фурму і через донні дуттьові блоки. У сучасному виробництві більша частина продувки виконується через донні дуттьові блоки. При цьому продування сталі інертним газом відбувається на різних стадіях у значному діапазоні - від 3...6 до 35...50

м³/год. (що еквівалентно від 50...100 до 600...800 л/хв.). Це вимагає від донного блоку здатності забезпечити продуктивність в межах встановленого діапазону [4, 5].

З досвіду промислової експлуатації видно, що пористі пробки рекомендуються лише для умов експлуатації з відносно коротким часом продувки і часом перебування металу в ковші. Це пов'язано з тим, що через високу пористість і безсистемне розташування газових каналів на практиці сталь швидко проникає в пори продувального вузла. Подальші термічні удари і хімічне (кисневе) очищення призводять до швидкого руйнування пробки (протягом 7...15 плавок). Крім того, тривалий час продувки може посилити вищезгадану проблему, що потенційно може призвести до аварійних ситуацій [4 - 6].

Практичний досвід експлуатації пористих блоків показав, що їх конструкція здатна забезпечити високу інтенсивність подачі газу і, навіть за відсутності тиску газу, запобігти проникненню сталі або шлаку в пори вставки. Це досягається за рахунок одночасної роботи пор діаметром від 0,6 до 1 мм [6, 7].

Технологічно операція продувки великих мас металу інертними газами у ковші легше і дешевше, ніж обробка вакуумом, тому там, де це можливо, тривала за часом продувка інертними газами, проходить через пористі пробки у днищі ковша, або через полий стопор, замінює обробку вакуумом. У багатьох випадках продувку металу інертним газом проводять одночасно з вакуумуванням. Оскільки через продувку прискорюється перемішування металу, прискорюється і процес вакуумування, що робить вакуумування більш ефективним. В якості інертного газу частіше використовують аргон. Таким чином при продувці металу інертними газами досягають: енергетичного перемішування розплаву, полегшення протікання процесів видалення у шлак не бажаних домішок; усереднення складу металу за температурою та

складом; зменшення вмісту газів у металі; полегшення умов протікання реакцій окислення вуглецю; зниження температури металу [8 - 11].

Враховуючи вказані особливості значно зростає роль пористих донних вставок, як основного технологічного устаткування сучасного сталерозливного ковша.

1.2 Аналіз сучасної технологічної схеми виробництва якісної металопродукції

Сучасні технологічні схеми (рис. 1.1) виробництва якісної сталі в умовах найбільш прогресивних металургійних підприємствах передбачають використання значної кількості технологічних газів (технічного кисню, азоту та аргону) [12 - 14].

При цьому технологічні гази для потреб виробництва починають використовувати ще на етапі виплавки чавуну. Вдування в металевий розплав реагентів здійснюється ще на етапі позапічної десульфурзації чавуну. Для інжекції активних реагентів у розплав при використанні технологій моноінжекції металевого магнію та коінжекції сумішей системи CaO-Mg (CaC_2). При цьому для інжекції реагентів-десульфураторів використовуються занурні фурми. Процес виробництва сталі в кисневих конвертерах в умовах провідних металургійних підприємств здійснюється відповідно до технології подачі кисню через верхню продувальну фурму та нейтрального газу (азот, аргон) через донні продувочні вузли. Що стосується конструкцій сучасних кисневих фурм для вдування кисню в металеву ванну, то на даний момент розроблена значна кількість оптимізованих конструкційних рішень для конкретних виробничих умов (класична конструкція, двоярусна, двоконтурна та багатоярусна). На даний момент вони у повному ступені забезпечують весь комплекс потреб киснево-конвертерного виробництва сталі [12 - 14, 15 - 19].

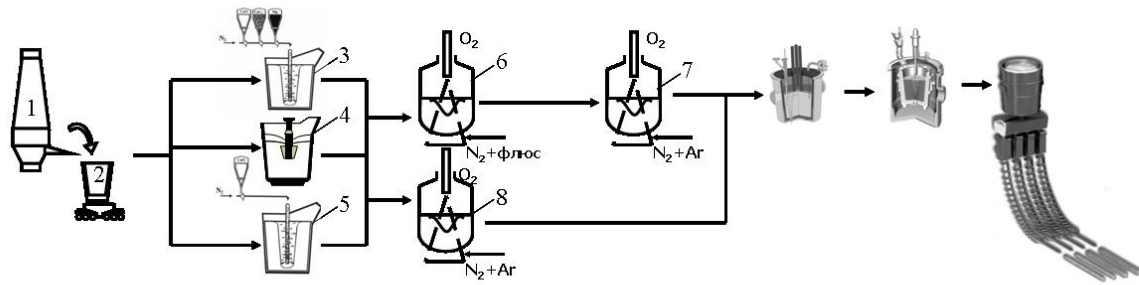


Рисунок 1.1 – Сучасна технологічна схема виробництва якісної металопродукції: 1 – доменна піч; 2 – чавуновозний ківш (залівний); 3 – десульфурація чавуну на установці коінжекції; 4 – десульфурації чавуну KR-процесом; 5 – десульфурація чавуну гранульованим магнієм; 6 – конвертер з комбінованою продувкою для дефосфорації і десиліконізації; 7 – конвертер з комбінованою продувкою для зневуглицьовування; 8 – конвертер з комбінованою продувкою для послідовного видалення кремнію, фосфору та вуглецю; 9 – установка «під-ківш»; 10 – установка камерного вакуумування; 11 – машина безперервного лиття заготовок

Необхідно відзначити, що процес перемішування розплаву в ковші є обов'язковою операцією позапічної обробки сталі. Встановлено, що в поєднанні з перемішуванням значно підвищується швидкість рафінування металу різними технологічними методами, що інтенсифікує процеси ефективного дугового нагріву і вакуумної обробки розкисленої сталі. Крім того, перемішування сприяє досягненню необхідного рівня однорідності температури і хімічного складу сталі, що є необхідною умовою для забезпечення умов розливання, які, в свою чергу, істотно впливають на техніко-економічну ефективність виробничого процесу [20].

Здійснення процесу продувки розплаву інертним газом на стадії позапічної обробки сталі можливий відповідно до двох технологій: продувка через занурну фурму та через донні продувальні блоки.

Загальна класифікація технологій з вдування технологічних газів у сталь представлена на рис. 1.2. В умовах сучасного виробництва продувку здійснюють в основному через донні продувальні блоки. При цьому продувку сталі інертним газом ведуть на різних етапах зі зміною інтенсивності в широких межах: від 3-6 до 35-50 м³/год (від 50-100 до 600-800 л/хв.), що вимагає від донного продувального вузла можливість забезпечення працездатності в указаному діапазоні [4 – 7, 12, 21].

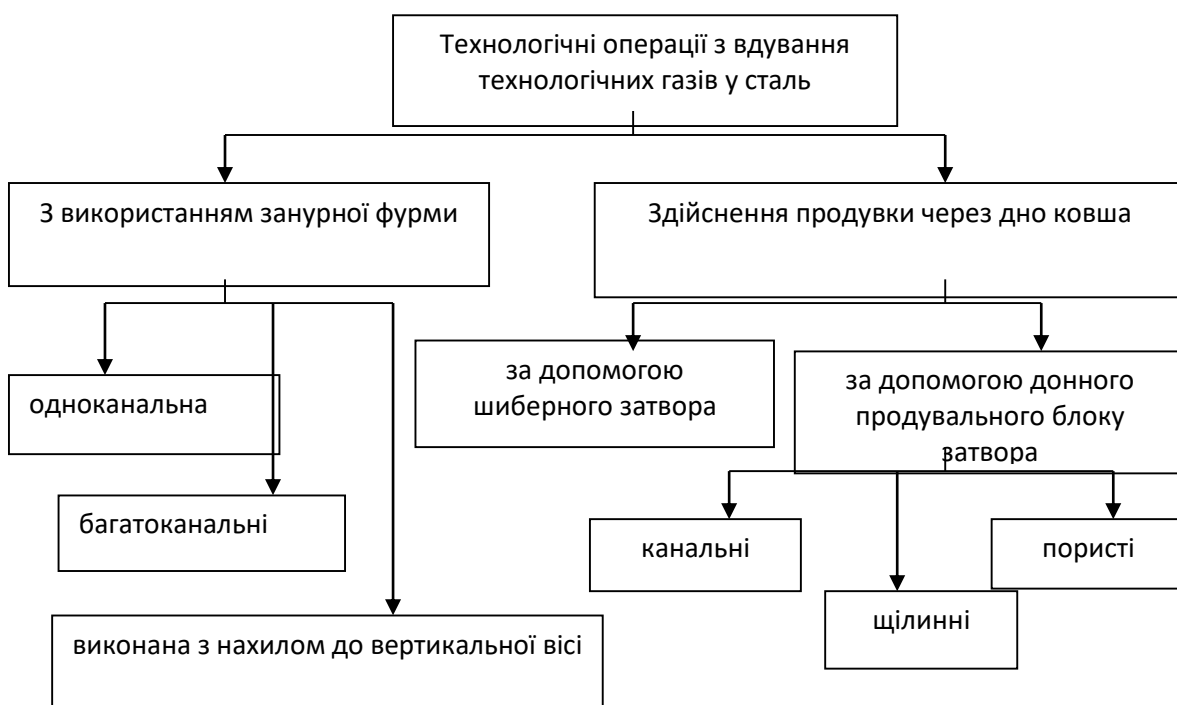


Рисунок 1.2 – Схема класифікації методів продувки сталі нейтральним газом на етапі позапічної обробки

На основі значного промислового досвіду встановлено, що використання пористих пробок є доцільним у випадках, які характеризуються відносно коротким часом продувки та обмеженим періодом перебування металу в ковші. Це зумовлено тим, що висока пористість і хаотичне розташування газових каналів у структурі пробки сприяють інтенсивному проникненню рідкої сталі в пори продувального вузла. У подальшому це призводить до термічних ударів та хімічної

деградації (окислення), що значно прискорюють руйнування пробки. З огляду на це, слід зазначити, що подовження часу продувки може прискорити процес руйнування пробки, що, у свою чергу, створює ризик виникнення аварійних ситуацій [5, 6].

Більш висока експлуатаційна стійкість продувних вузлів може бути досягнута в разі застосування спеціальних блоків з спрямованою пористістю. При цьому збірна пробка з щілинними каналами виявляється найкращою з точки зору організації процесу продувки та підбору найкращих по стійкості матеріалів для окремих керамічних елементів, що входять в конструкцію продувочного вузла. При використанні пробки сегментного типу їх проникність для газу зберігається в 90% і більше випадків без застосування кисневої очистки перед черговим наливом. Експлуатаційна стійкість такої пробки може зберігатися протягом 30-50 плавок і більше (до 4000 хвилин продувки), що забезпечує її рівну стійкість в порівнянні з вогнетривами днища ковша. При цьому за допомогою вибору початкової висоти пробки можливе регулювання її експлуатаційної стійкості [5, 6].

1.3 Вплив продувки інертними газами на якість металевого розплаву

Продувка металу аргоном у ковші приводить до зміни структури ближнього порядку розплаву і його фізичних властивостей. Ці зміни в значній мірі пояснюють підвищення якості сталі після продувки. Закономірне затухаюче змінення фізичних властивостей в залежності від тривалості обробки дозволяє обрати оптимальне її значення за найбільшим збільшенням густини, поверхневого натягу або в'язкості розплаву [12, 15, 17, 18, 22].

Тому обробка сталі аргоном є обов'язковою складовою, що передує розливі на установках безперервного лиття заготовок, тому

що сприяє усередненню температури й хімічного складу сталі у об'ємі металу в ковші. Ефективність усереднення металу визначається величиною роботи перемішування металу аргонем, яку згідно з першим законом термодинаміки можливо визначити, як роботу зміни об'єму газу при ізотермічному процесі.

Важливим технологічним параметром обробки сталі аргонем є зміна температури сталі в результаті її обробки. На рис. 1.3 результати впливу на зміну температури металу, основних технологічних параметрів обробки сталі аргонем у 350-тоному сталерозливному ковші: часу обробки і витрати газу. На достатньо великих масивах промислових плавок встановлено якісний і кількісний вплив тривалості вдування і витрати аргону на зміну температури сталі для чотирьох варіантів охолодження сталі. Отримані результати відносяться до варіанту технології обробки сталі аргонем через занурювальну футеровану фурму з внутрішнім діаметром 37 мм і витратою газу від 40 до 80 м³/год [11].

Єдиним дієвим методом, що може успішно конкурувати з усередненням металу за рахунок продувки аргонем може бути електромагнітне перемішування. Порівняння основних технологічних ефектів від впровадження зазначених технологічних ефектів приведено в таблиці 1.1 [14].

В цілому технологічна схема застосування електромагнітного перемішування для ковшів малої місткості видається цілком конкурентоспроможною технологією в порівнянні з продувкою аргонем в разі її використання в технологічному ланцюзі з вакуумуванням сталі [11].

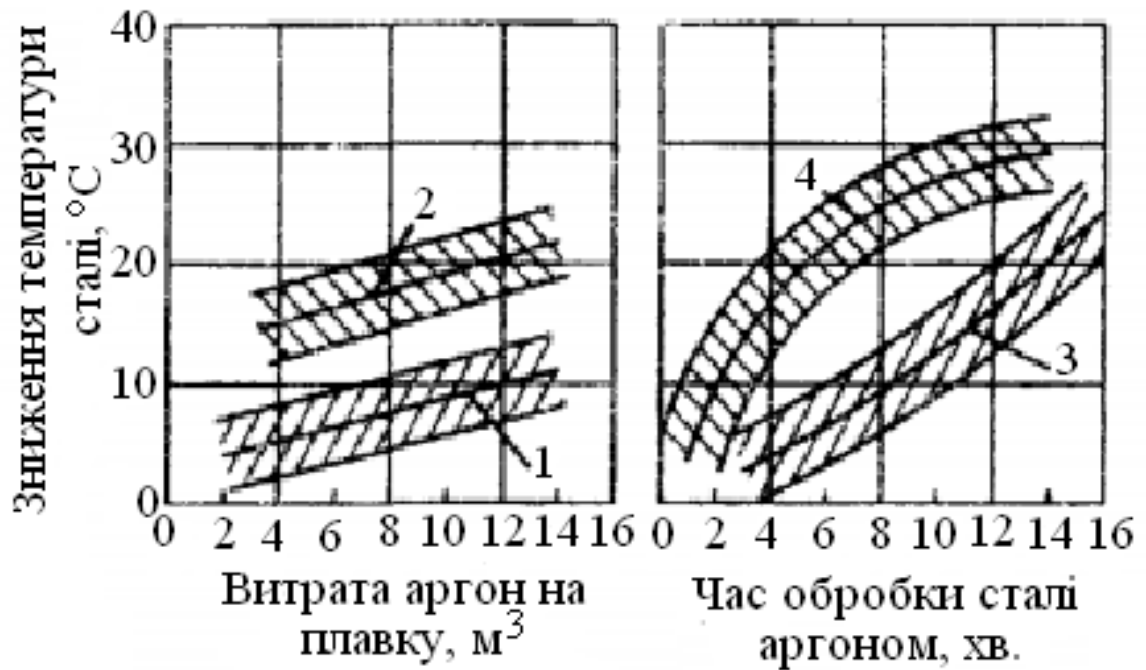


Рисунок 1.3 – Якість охолодження сталі: 1 – продувкою аргонном(123 плавки); 2 – аргонном з присадкою металевої виштамповки (81 плавка); 3 – аргонном (342 плавки); 4-аргонном з занурюванням у розплав слабу (263 плавки)

Підтвердити вірність наведених вище аргументів можливо результатами експериментів з десульфурзації сталі у ковші синтетичним шлаком, що змішувався з металом за рахунок зовнішнього впливу (продувка аргонном, електромагнітне перемішування). Для здійснення обробки використовувався шлак наступного хімічного складу: 50-60% CaO; 10-15% SiO₂; 6-8% MgO; 15-20% Al₂O₃; FeO <1,5%. Порівняння отриманих даних представлено на рис. 1.4. Відповідно до нього визначено, що електромагнітне перемішування є достатньо ефективним методом усереднення розплаву [12, 14].

Таблиця 1.1 – Порівняння характерних технологічних ефектів для методів електромагнітного перемішування і продувки металу аргоном через пористий блок [14]

Технологічна ознака	Електромагнітне перемішування	Продувка металу інертним газом
Характеристика фазового складу рідкої ванни	Рідка ванна представлена однією фазою - розплавленим металом	Рідка ванна представлена, щонайменше, двома фазами – розплавлений метал і газ, що інжектуються
Взаємодія зі шлаком	Шлаки в рідку ванну металу практично не втягуються	Шлаки втягуються в перемішування досить активно (в залежно від інтенсивності продувки)
Характеристика примусових конвекційних потоків	Потоки носять сталий характер, маючи максимальну швидкість поблизу стінки ковша з боку індуктора	Конвекційні потоки розвиваються відповідно до уявлень про спливаючий вгору газометалевий стовп й при цьому розвиток конвекційних потоків характеризується високою турбулентністю
Інтенсивність перемішування	Досить висока, але в рідкій ванні є застійні зони (з низькою швидкістю руху потоків)	Інтенсивність перемішування приблизно на 20-30% вище (при тих же енергетичних параметрах), ніж при електромагнітному; в перемішування втягується практично весь обсяг рідкої ванни
Вторинне окислення сталі	В ході електромагнітного перемішування металу практично не спостерігається	Досить високе в силу оголення частини дзеркала металу в процесі продувки
Вплив на знос вогнетривів	Значно посилює знос стінок ковша в зоні розташування індуктора	Підсилює знос стінки ковша з боку установки продувального вузла, а також сприяє зносу шлакового поясу в зоні виходу бульбашок газу

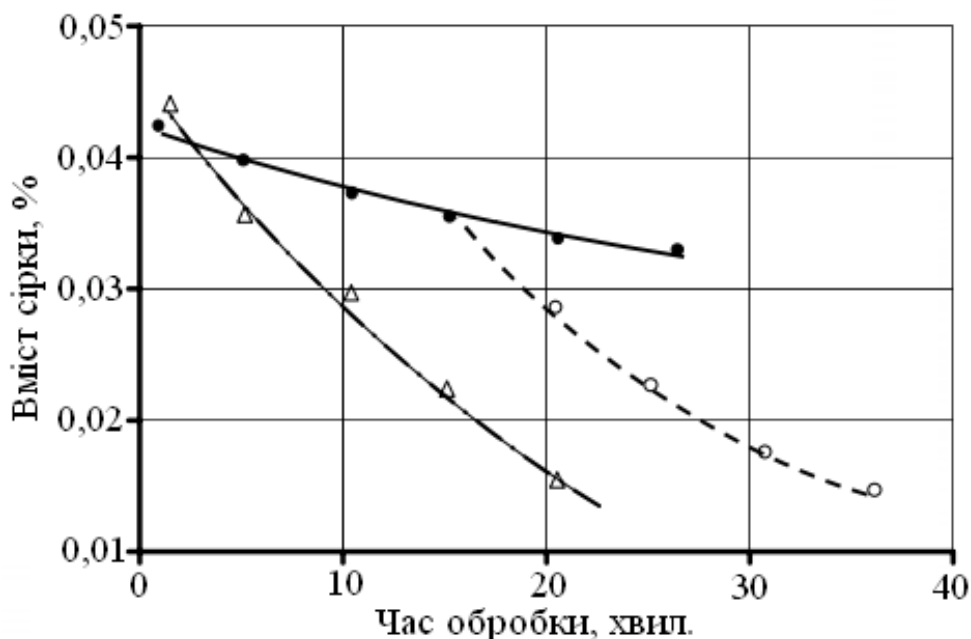


Рисунок 1.4 – Динаміка десульфурації сталі синтетичним шлаком при електромагнітному перемішуванні в ковші під атмосферним тиском (•) і в процесі вакуумування (o); продувки аргоном (Δ)

1.4 Аналіз основного технологічного устаткування та параметрів обробки розплаву інертним газом

Продувка нейтральним газом через донну частину ковша може здійснюватися або через шиберний затвор, або через продувальний донний блок. Продувка через шиберний затвор здійснюється в умовах підприємств, де ускладнена модернізація виробництва. Загальна схема побудови пристрою для здійснення продувки нейтральним газом через шиберний затвор наведена на рис. 1.5 [20] При цьому продувку ведуть протягом 10-20 хв. з моменту початку випуску сталі і закінчують при появі пічного шлаку на поверхні розплаву. На початку продувки витрата газу встановлюють на рівні 0,5-1,0 м³/хв, у міру наповнення ковша збільшуючи його до 2-3 м³/хв. Тиск нейтрального газу звичайно становить 0,4-0,5 МПа. Витрату газу підтримують на такому рівні, щоб

кипіння металу в ковші відбувалося рівномірно. Питома витрата газу на обробку не перевищує $0,1 \text{ м}^3/\text{т}$ сталі [20].

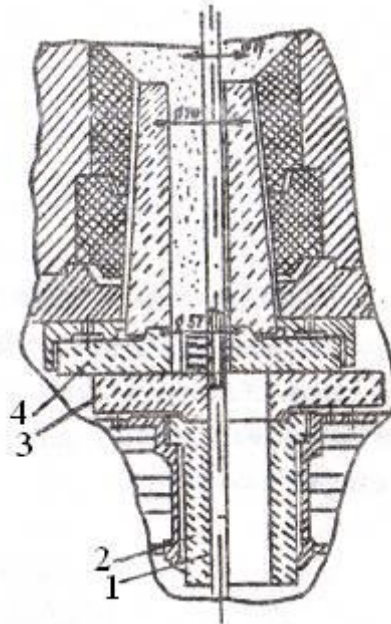


Рисунок 1.5 – Схема побудови шиберного затвора, що може використовуватися для продувки сталі нейтральним газом: 1 – продувна пола штанга; 2 – сталерозливний стакан; 3 і 4 – рухома і нерухома плита

Практичний досвід експлуатації пористих вставок показав, що їх конструкція здатна забезпечити високу інтенсивність подачі газу і, навіть за відсутності тиску газу, запобігти проникненню сталі або шлаку в пори вставки. Це досягається за рахунок одночасної роботи пор діаметром від 0,6 до 1 мм [18, 22, 23]. Ці величини визначаються феростатичним тиском стовпа металу в ковші, температурою металу і кутом змочування між металом і вогнетривом. Продувний блок для продувки монтується в днище ковшу (рис. 1.6) і включає два основних елементи: продувну пористу вставку і гніздову цеглу. Продувний блок оснащений оболонкою з листового металу. Підведення нейтрального газу здійснює за допомогою патрубків. Гніздова цегла і вставка виступають над рівнем дна ковша, таким чином запобігаючи утворенню

настилу на поверхні ковша після розливання. Продувний пристрій у повному обсязі кріпиться до зовнішньої поверхні днища ковша. В днище можуть встановлюватися одна або кілька систем для продувки. Завдяки сталевій листовій оболонці вставки, дуття надходить тільки через продувний вогнетрив, що зменшує ймовірність утворення тріщин. Товщина оболонки у стінок вставки від 0,8 до 1,8 мм, у днища 1,5-3,0 мм [14, 15].

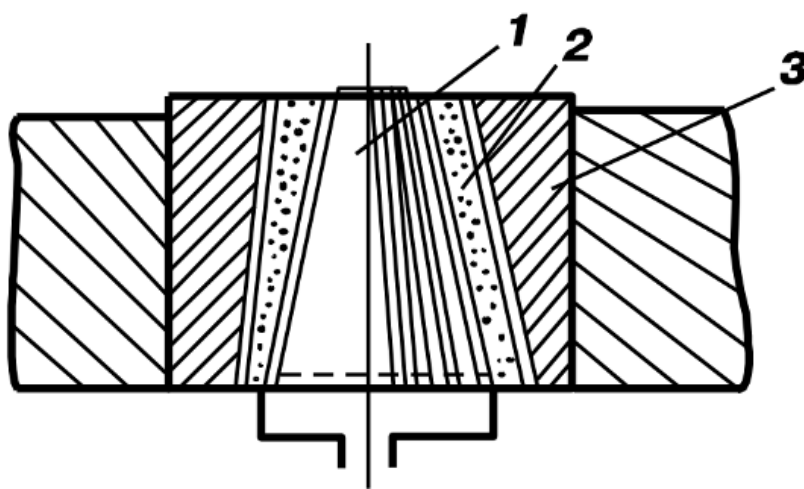


Рисунок 1.6 – Установка пористої вставки в днище ковша:
1 – вставка; 2 – проміжна гільза; 3 – гніздова цегла

Установка великої кількості пористих блоків послаблює механічну міцність металевого кожуха дна ковша і знижує стійкість його футерівки. Тому існує необхідність у збільшенні пропускної здатності блоків. У зв'язку з вищезазначеним, актуальним є використання у виробництві блоків зі спрямованими каналами, пропускна здатність яких у кілька разів перевищує пропускну здатність звичайних блоків з ненаправленою пористістю [15,24]. Завдяки цьому вдається вводити в метал аргон в кількостях, необхідних для його глибокого зневуглицювання і дегазації. Продувні вставки, як правило, виготовляють з якісних високо глиноземних і основних вогнетривів. Дані про хімічний склад матеріалів вставок наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад матеріалу вогнетривких продувних вставок, % за масою [5]

Компоненти	З ненаправленою пористістю	З орієнтованою пористістю
SiO ₂	0,6	1,3
Fe ₂ O ₃	13,4	11,6
Al ₂ O ₃	7,1	5,1
Cr ₂ O ₃	23,4	18,5
CaO	1,6	1,2
MgO	53,9	62,6

Відповідно до проведеного в прикладному пакеті ANSYS моделювання встановлено, що процес перемішування рідкої сталі в ковші відбувається у кілька стадій: початкова, проміжна і встановилася. На початковій стадії (рис. 1.7 а, г), що відповідає початку продувки, спостерігається формування потоку, що рухається від продувного вузла вгору до вільної поверхні розплаву [25, 26]. Максимальні швидкості потоку відзначаються в зоні продувних отворів, основна частина розплаву тільки починає приходити в рух. Далі по ходу продувки вихідний потік розвивається, захоплюючи в рух все більші верстви рідкої сталі у всім обсязі ковша і формуючи циркуляційні зони. Максимальні швидкості руху характерні для вихідної області потоку розплаву [25, 26].

Такий стан можна розглядати, як проміжну стадію процесу (див. рис. 1.7 б, д). Приблизно через 300 секунд після початку продувки в більшості випадків спостерігається стабілізація картин перемішування розплаву, що можна вважати усталеною стадією процесу (див. рис. 1.7 в, е). У цьому випадку відзначаються усталені траєкторії руху розплаву і стабільні циркуляційні зони [25, 26].

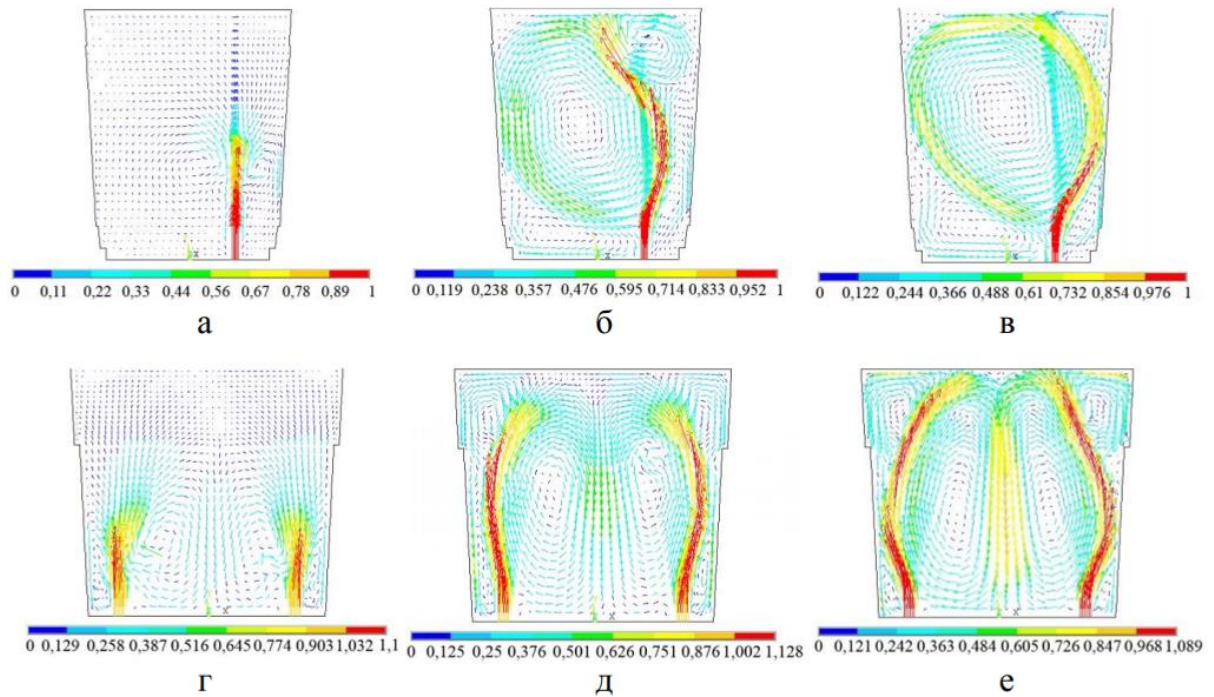


Рисунок 1.7 – Розвиток потоків при перемішуванні рідкої сталі в процесі продувки інертним газом через: а, б, в - один продувний отвір; г, д, е - два продувних вузли

На підставі аналізу отриманих схем руху потоків розплаву в ковші була запропонована класифікація режимів перемішування сталі в агрегаті «ківш-піч» при продувці нейтральним газом (рис. 1.8) [21].

Запропонована класифікація дозволяє забезпечити системний вибір режимів обробки в залежності від виробничої або технологічної ситуації. Найбільш повному перемішуванню обсягу розплаву відповідає розташування продувних пристроїв (і в разі одного, і в випадку двох) при їх зміщенні від центру днища ковша на відстань $r_n/R_n = 0,6-0,95$ [25].

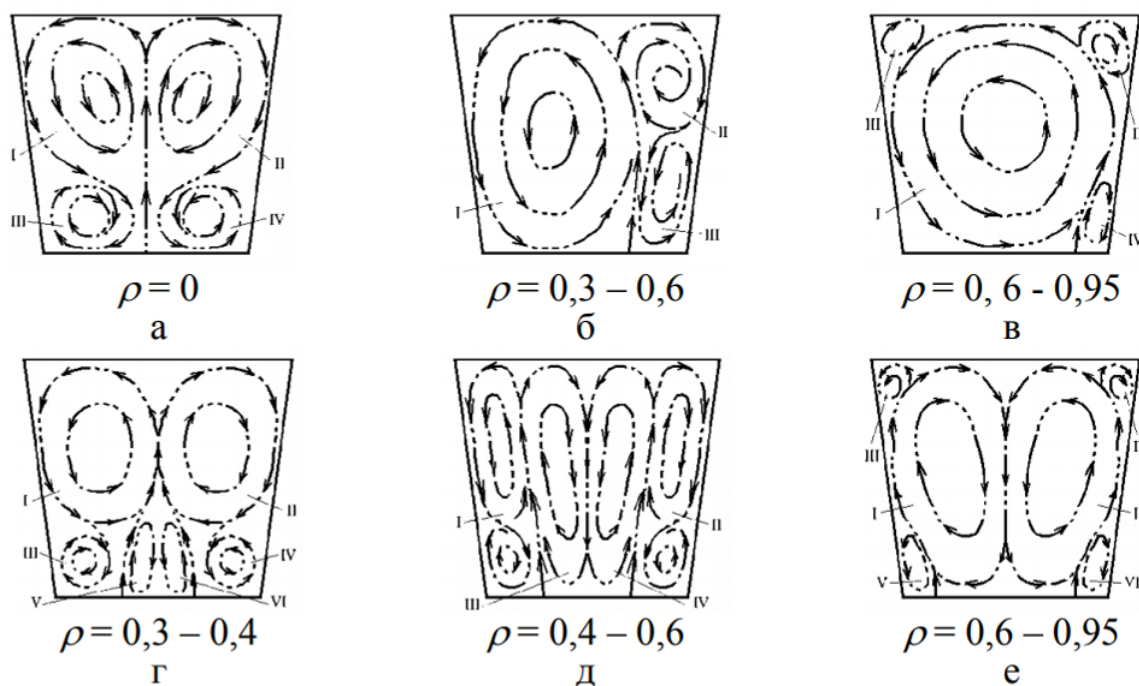


Рисунок 1.8 – Основні схеми, що визначають класифікацію режимів перемішування металу в ковші при донній продувці через:

а, б, в – один продувний вузол; г, д, е - два продувних вузла, при їх різному розташуванні ρ

1.5 Досвід використання методів перемішування сталі в ковші

У роботі [27] представлені результати промислових і лабораторних досліджень двофазового потоку, барботажної зони і розриву шлакового шару при продувці рідкого металу в ковші. Процес продувки інертним газом застосовується з метою гомогенізації хімічного складу і температури, а також видалення неметалевих включень. Промислові дослідження проводилися в заводських умовах в 30-тонному ковші. Під час лабораторних досліджень використовувалася гідравлічна модель ковша (масштаб 1:4,5), причому витрати газу встановлювалися відповідно до критерієм подібності Мортонна [27].

Використання гідравлічних моделей для вивчення гідродинаміки продувки рідкої сталі газом не є новими. Процеси перемішування і

розриву шлакового шару при продувці, використовуючи гідравлічні моделі з різними маслами. При цьому, площа розриву шлаків шару або розмір продувної плями вимірювалися як функції геометрії газового сопла, кількості сопел, швидкості продувки, співвідношення діаметра і висоти ковша, а також товщини шлакового шару. Як критерій подібності в роботі використовувався критерій Фруда.

Геометричні характеристики і швидкість руху двофазового потоку показують сильну залежність від кількості аргону що вдувається. Аналіз подібності показав, що критерій Мортон підходить для моделювання процесу продування рідкої сталі газом. Експериментально підтверджена хороша збіжність результатів лабораторних і виробничих досліджень [28].

У сучасних умовах розвитку сталеплавильного виробництва основна роль в отриманні якісних сталей відводиться процесам позапічної обробки сталі. Однією з ключових операцій позапічної обробки сталі є її продування інертним газом через заглибні фурми або донні продувальні блоки в сталерозливних ковші. При виробництві сталей з підвищеними вимогами до технологічних властивостей особлива увага надається змісту в ній неметалічних включень (НВ), кількість яких визначається окислення металу і ступенем видалення продуктів розкислення в шлак в процесі продувки, ефективність якої визначається конструкцією і місцем установки продувочного пристрою, інтенсивністю і тривалістю обробки. Не дивлячись на велику кількість досліджень, пов'язаних з удосконаленням технології продувки сталі в сталерозливних ковші, значимість цих робіт залишається досить актуальною [29].

Стан неметалевих включень, що відбувається в ході позапічної обробки і безперервного розливання сталі, безпосередньо пов'язане з поведінкою кисню, що знаходиться в металі, шлаку і футерівки сталеразливочного і проміжного ковшів, а також з емульгуванням

частинок шлаку при примусовому перемішуванні і технологічних переливах металу [30, 31]. Видалення неметалевих частинок зі сталі при продувці інертними газами відбувається завдяки їх прикріплення до бульбашки на кордоні метал-газ [32]. За даними [33] час, необхідний для переходу неметалічних включень через міжфазну межу метал - газ, може оцінюватися як $10^{-4} - 10^{-6}$ с. Це свідчить про те, що практично будь-яке зіткнення неметалевої частки з бульбашкою газу незалежно від її хімічного складу і гідродинамічних умов повинно приводити до прикріплення неметалевої фази до бульби. Результати експерименту представлені на рис. 1.9, які показують усередненні даних по 15 дослідом.

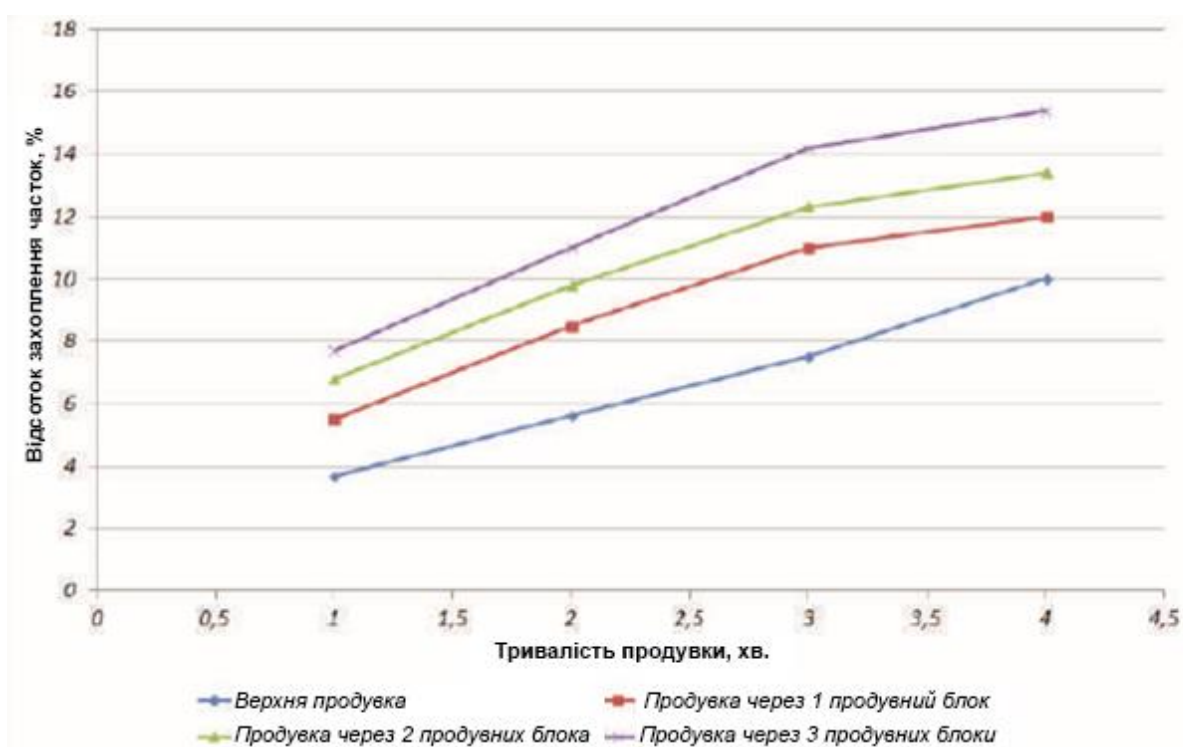


Рисунок 1.9 - Вплив часу і виду продувки на захоплення частинок шлаком

Альтернативою продувці сталі є електромагнітне перемішування металу, яке може застосовуватися як у сталерозливних ковшах, так і в електродугових печах. Прикладом використання цього методу на

електродугових печах є нове покоління електромагнітних мішалок (EMS) ArcSave, розроблених компанією ABB для електродугової печі, що дозволяє підвищити безпеку роботи, збільшити продуктивність і знизити експлуатаційні витрати. Сьогодні електродугова піч звичайно працює з високим енергоспоживанням та має високі вимоги до гідродинаміки ванни, що суттєво впливає на тепло- і масообмін. Електромагнітна мішалка встановлена під дном печі утворює повністю змішувальний ефект ванни, тим самим прискорюється гомогенізація температури та хімічного складу сталі [34], що робить її надійним рішенням для вдосконалення процесу в електродуговій печі.

ArcSave стабілізує електричну дугу та підвищує ефективне енергоспоживання протягом періоду плавки та зменшує споживання електричної енергії, електродів, кисню, вогнетривів [35,36].

На підставі отриманих в роботі [37] даних можна сказати, що ефективність видалення включень під час продування знизу ефективніше, ніж через верхню фурму, причому при збільшенні кількості продувних блоків ефективність видалення включень також зростає. Це пов'язано з тим, що більша кількість включень втягується в циркуляційний рух і захоплюється шлаком. При цьому необхідно відзначити, що перші 2 хвилини видалення відбувається більш інтенсивно, ніж за наступні. Це пов'язано з тим, що НВ стає менше і до того ж деяка частина частинок втягується в циркуляційний рух з рідиною. З отриманих даних, можна сказати, що для підвищення ефективності видалення включень в процесі продувки необхідно забезпечити м'який режим продувки з залученням в гідродинамічні потоки більшої кількості включень [37].

У світовій практиці позапічна обробка металу кусковими та порошковими рафінувальними сумішами (ТШС) є складовою наскрізної технологічної схеми виробництва високоякісної сталі. На відміну від цього, вітчизняна практика комплексної позапічної обробки сталі як

етапу коригувальної підготовки металу до розливання і виробництва «чистих» сталей з низьким вмістом сірки ($S < 0,010\%$) обмежується досвідом окремих заводів. «АрселорМіттал Кривий Ріг» і ПАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» найкраще оснащені новими технологіями та обладнанням для їх впровадження.

Дослідженнями встановлено, що продування металу в ковші вапном і його сумішшю з плавиковий шпат дозволяє додатково реалізувати десульфуруючу здатність ковшового рафінування шлаку за рахунок інтенсифікації перемішування, підвищення його сульфідної ємності.

На комбінаті «АрселорМіттал Кривий Ріг» інжекцію порошкоподібного вапна здійснювали в процесі випуску плавки з 150-т конвертера, розкислення і обробки сталі кусковими ТШС ($\text{CaO}:\text{CaF}_2 = 4:1$). Подачу порошкового вапна проводили через дуттєвий пристрій шибєрного затвору з витратою 0,8-2,3 кг/т, а газу-носія $\sim 1,0$ м³/хв. Ступінь десульфурації металу при використанні тільки кускових ТШС в кількості 2,3-7,8 кг/т з одночасною подачею аргону через шибєрний затвор в ковші з кислую футеровкою складала 20-30%. При інжекції в метал порошкоподібного вапна та присадки в ківш ТШС ступінь десульфурації досягла 60-65%. Встановлено, що при такій комплексній обробці ступінь використання рафінуючої здатності ковшового шлаку підвищується до 0,52 при витратах порошкового вапна до 2,0-2,3 кг/т. Під час продування металу тільки аргонем в процесі обробки сталі в ковші кусковими ТШС в ході випуску плавки цей показник становить 0,4-0,45.

Таким чином, проведені промислові дослідження показали, що інжекційна обробка металу порошкоподібними шлакоутворювальними сумішами на основі вапна є ефективним засобом глибокої десульфурації сталі [38].

Сучасні технології виробництва сталі передбачають широке використання різних методів обробки металу в ковші, в тому числі добре зарекомендувало себе введення силікокальцію у вигляді порошкової проволочки [39]. Відповідний вибір режиму подачі проволочки обумовлює момент початку взаємодії реагенту з рідким металом, повноту його засвоєння і в результаті – висока якість сталі при економічних витратах силікокальцію. Ця проблема є особливо актуальною для умов електросталеплавильного виробництва, що відрізняється широким діапазоном ємностей ковшів і різноманітністю марок виплавленої сталі.

У роботі [40] наведено опис математичної моделі, яка досить коректно враховує всі зазначені фактори і призначеної для визначення оптимальної швидкості введення порошкової силікокальцієвої проволочки в сталь.

При відсутності шлаку відразу після введення проволочки в ківш на її поверхні утворюється скоринка затверділої сталі, товщина якої зростає до деякого максимального значення і потім у міру прогріву оболонки і наповнювача зменшується аж до її повного розплавлення [40].

За наявності ковшового шлаку перший етап взаємодії проволочки з розплавом характеризується утворенням на поверхні оболонки шару затверділого шлаку, товщина якого збільшується (від нуля) до деякого значення, що залежить від тривалості проходження проволочки через шлак і його теплофізичних характеристик. Якщо температура плавлення шлаку нижче, ніж температура ліквідус сталі (що зазвичай відповідає умовам її обробки в ковші), то на поверхні затверділого шлаку можливо наростання і подальше оплавлення скоринки, закристалізованої сталі і одночасне плавлення шлаку з утворенням рідкого прошарку, що розділяє шлакову та металеву скоринки [41]. Після зникнення металевої скоринки і повного розплавлення залишкового шару шлаку, проволочка вступає в безпосередній контакт зі сталлю.

Одночасно із зазначеними процесами відбувається нагрів порошкового силікокальцію всередині проволочки.

Для кожного шлакового режиму існують оптимальні умови введення порошкової проволочки в сталь (оптимальна швидкість при фіксованій температурі розплаву або оптимальна температура розплаву при фіксованій швидкості), при яких звільнення наповнювача відбувається на максимально можливій глибині (на дні ківша). Визначення цих умов при заданій сукупності всіх конструкційних і режимних параметрів може бути проведено за допомогою запропонованої математичної моделі. У практичному плані доцільно її використання для створення керуючої програми типу "порадник сталевара", що працює в діалоговому режимі і дозволяє в кожному конкретному випадку оперативно встановлювати параметри ефективного здійснення технології позапічної обробки сталі порошковою проволочкою [42].

У роботі [43] представлені результати оцінки ефективності використання різних видів позапічної обробки для зниження вмісту сірки і забрудненості неметалевими включеннями сталі 09ГСФ, що містить, %: С – 0,07-0,12; Si – 0,50-0,80; Mn – 0,50-0,80; P ≤ 0,020; S ≤ 0,010; Cr ≤ 0,30; Ni ≤ 0,30; Cu ≤ 0,30; Ti ≤ 0,030; N₂ ≤ 0,012; Al – 0,020 - 0,050; V – 0,08-0,15; Nb – 0,015-0,060.

Сталь призначена для виробництва товстолистового прокату і подальшого виготовлення зварних нафтопровідних труб діаметром 530-1020 мм. Однією з відмінних рис вимог до прокату зі сталі 09ГСФ (порівняно з 17Г1С, 17Г1С-У для труб того ж класу міцності К52) є введення контролю та нормування величини неметалевих включень (сульфідів, оксидів, силікатів) – не більше 2,5 бали за середнім значенням при оцінці по ДСТУ 1778.

На підставі результатів оптико-металографічного аналізу неметалевих включень в товстолистовому прокаті зі сталі 09ГСФ

(призначеному для виготовлення зварних нафтопровідних труб великого діаметра) встановлено, що за інших рівних умов з застосовуваних в ЕСПЦ ПрАТ "НОСТА" способів позапічного рафінування сталі найбільш ефективною є обробки на установці "підківш» з подальшим модифікуванням неметалічних включень силікокальцієм, що вводиться в ківш у вигляді дроту з наповнювачем. Розроблена технологія позапічної обробки забезпечує стабільне виробництво сталі з вмістом сірки не більше 0,010% і з нормованою величиною неметалевих включень в готовому прокаті не більше 2,5 бала (ДСТУ 1778) [43].

Комплекс позапічної обробки сталі вирішує завдання по корекції температури (в сторону зменшення), вмістом хімічних елементів (в бік збільшення), глибоке рафінування, легування і модифікування, однак, відсутність коштів для підвищення температури сталі в ковші для забезпечення необхідного температурного режиму розливання на МБЛЗ призводило до необхідності підвищення температури металу в конвертері при зливанні на 30-50 °С, що в свою чергу підвищувало витрати чавуну, шлакоутворюючих, кисню, і різко знижувало стійкість футерування конвертерів.

Розробка та впровадження системи хімічного нагріву сталі в ковші була досягнута завдяки використанню обладнання агрегату доводки сталі. Ця система функціонує завдяки екзотермічній реакції між легуючими елементами та киснем.

У роботі [44] розглядається термодинаміка нагріву сталі внаслідок окислення алюмінію в умовах обробки сталі в ковші. Алюміній окислюється до Al_2O_3 в результаті реакції з киснем:



Не враховуючи втрат тепла під час хімічного підігріву згоряння в струмі кисню 1 кг/т алюмінію дозволить підвищити температуру металу в ковші приблизно на 38°C.

Фактичні витрати кисню при окисленні 1 кг Al становить близько 1 нм³, що в 1,6 рази вище стереометричного значення. Підвищена витрата кисню пов'язаний з додатковими його витратами на окислення в сталі C, Mn, Si.

Хімічний підігрів не збільшує загального вмісту неметалевих включень в сталі. Низький рівень об'ємного вмісту оксидних включень (<0,02 %) відповідає 0,008 % (масс.) або 0,004 % (масс.) вмісту кисню в металі і характеризує високу чистоту по кисню готового прокату. З утворюється при хім. підігріві Al₂O₃ в листі залишається не більше 4%, решта 96% глинозему видаляються з металу в процесі продувки аргоном і киснем, витримці в ковші і при розливанні.

У конвертерному цеху впроваджена у виробництво технологія хімічного підігріву сталі в ковші, яка дозволила без погіршення якості готового прокату [45]:

- практично виключити повернення холодних плавов на розливання в виливниці зверху;
- знизити з 3,21 до 1,34% кількість не повністю розлитих плавов;
- підвищити в два рази серійність розливання плавов на МБЛЗ і знизити, тим самим, обсяг обрізків і браку;
- знизити витрату металошихти при виробництві литих слябів і зливків [45].

Особливості розробленої технології при застосуванні базової ТШС [46] полягають в застосуванні матеріалів фракції 5-12 мм, що зменшує в середньому на 10°C необхідний перегрів металу для компенсації втрат при обробці, але порівняно із застосуванням, наприклад, вапна фракції 30-50 мм. При витраті 7-10 кг ТШС на 1 т. сталі ступінь десульфурзації становить 20-35% (від.) При введенні в

стальківша системою трайб-апаратів 0,15 кг/т, кальцію із застосуванням CaAl дроту і 0,4 кг/т.ст. кальцію з SiCa дротом забезпечується стійка ступінь десульфурзації до 25%, причому з низьких початкових значень сірки 0,009% і менше.

Важливим показником розливаної сталі є ставлення вмісту в ній [Ca] і [Al] [47]. Розроблена технологія забезпечує відношення $[Ca]/[Al] > 0,1$ на 75-80% плавках, коли переважають включення $Ca \times Al_2O_3$, які не осідають на стінках розливного стакану, чим і досягається нормальне розливання на МБЛЗ.

Розроблена технологія позапічної обробки штрипсової сталі призначеної для газонафтопровідних труб з використанням агрегату доведення дозволяє повністю контролювати хімічний склад металу і отримувати гарантовані службові властивості, що відповідають вимогам нормативної документації і відповідають світовому рівню [48].

Застосування чистих лужно-земельних металів (ЛЗМ) для глибокого рафінування та модифікування залізо-вуглецевих розплавів важко здійснюється через їх низьку температуру кипіння і високого спорідненості до кисню, що змушує вживати заходів проти утворення викидів і піроефектів, викликаних неконтрольованим випаровуванням ЛЗМ, а також мати, в ряді випадків, добре розкислений розплав перед їх присадкою. Відомий спосіб рафінування та модифікування чавуну магнієм, відновлюваних в оброблюваному металі з хлоридів і фторидів магнію силікокальцієм [49].

На кафедрі «Металургія чорних металів» Донбаського гірничо-металургійного інституту запропонований і розробляється варіант обробки залізо-вуглецевих розплавів парами ЛЗМ, відновленими зі спеціальних формованих блоків, що містять оксиди ЛЗМ і відновник. При цьому енергія для відновлення ЛЗМ надходить з дугового розряду. Наявність парів, що утворюються в зоні дуги, перешкоджає електричному замиканню металу на розташований всередині блоку

електрод. Відновлені з матеріалу блоку ЛЗМ у вигляді пару надходять в розплав і взаємодіють з його компонентами. Перспективність дугового глибинного відновлення (ДГВ) полягає в малих (в порівнянні з електролізом) енерговитратах на відновлення, дешевизні витратних матеріалів та повної акумуляції розплавом надлишкового тепла. У порівнянних умовах корисне використання ЛЗМ при ДГВ завжди краще, ніж з металевого стану, а їх отримання в обсязі розплаву значно дешевше [50].

Необхідність модифікування неметалевих включень в сталі з метою поліпшення якості, підвищення експлуатаційних властивостей металопродукції і поліпшення розливання металу на УНРС зумовило інтенсивне застосування у виробництві сталі кальцієвмісних матеріалів. У конвертерному цеху металургійного комбінату «Азовсталь» засвоєна та застосовується обробка сталі силікокальцієм в 350-тонних сталерозливних ківшах на трьох установках доведення металу (УДМ) вдуванням порошкоподібного силікокальцію в струмі аргону, а також введення силікокальцію і кальцію порошковими дротами.

Обробку конвертерної сталі марок 09Г2ФБ, St 52.3, RSt 37.2, А36 (А5ТМ), SS400 та ін. порошкоподібним силікокальцієм марок СК15 - СК30 проводили на установках із вдування порошкоподібних реагентів за допомогою пневможивлення через занурюючу футеровану фурму. Вдуваюча суміш, крім силікокальцію, містила до 5% плавикового шпату [51] та виготовлялась в спеціалізованому відділенні помелу силікокальцію. Фракція порошку менше 1 мм. (В тому числі понад 90% фракції менше 0,4 мм) та сумарна витрата аргону на «транспорт» та «аерацію» від 30 до 40 м³/т. забезпечували продуктивність пневмооживильників від 70 до 115 кг/хв. та стабільне інжектування порошку. Вміст кальцію в металі після обробки коливався в межах від 10 до 30 ppm.

При оцінці макроструктури металу, обробленого кальцієвмісними матеріалами, відзначається зниження балу по осьовій рихлості та поява глобулярних комплексних НВ – сульфосилікатів, силікатів, сульфідів з одночасним зниженням кількості оксидів. Включення розподіляються рівномірно в обсязі металу. Розміри включень 2-3 мкм, окремі – до 6-10 мкм. Кращі показники макроструктури має метал, оброблений алюмокальцієвим порошковим дротом.

Таким чином, розробка та освоєння позапічного модифікування конвертерної сталі кальцієвмісними матеріалами забезпечує поліпшення якості та підвищення службових властивостей металопродукції, в тому числі металу, виплавленого за вимогами міжнародних стандартів [52].

Застосування порошкового дроту має ряд переваг в порівнянні з вдуванням порошкоподібних реагентів: не збільшується вміст газів в металі; в 1,5-2 рази підвищується і стабілізується засвоєння елементів, що вводяться; менше знижується температура металу при обробці (10-15 °С замість 25-30 °С при вдування); можливий точний контроль добавок, що вводяться, який дозволяє отримувати зміст елементів у вузьких межах; значно нижчі (майже в 5 разів) капітальні витрати; зменшуються експлуатаційні витрати; поліпшуються екологічні умови внаслідок меншого виносу пилу з розплаву [53].

Для коригування хімічного складу сталі по кремнію і вуглецю в конвертерному цеху на станції позапічної обробки сталі (СВОС) №3 був змонтований трайбапарат. Порошковий дріт виготовляла фірма «КОМР» (м. Донецьк) з холоднокатаної стрічки товщиною 0,4 - 0,45 мм. зі сталі ст. 08Ю з наповнювачем з меленого порошку феросиліцію або вуглецю фракцією 0-3 мм. Дріт подавався в сталерозливний ківш за допомогою трайбапарата. Трайбапарат представляє собою три пари тягнучих роликів діаметром 115 мм., що приводяться в рух ремінною

передачею від електродвигуна змінного струму, потужністю 6 кВт. Швидкість введення порошкового дроту варіювалася від 0 до 3 м/с.

При коригуванні хімічного складу сталі в ковші з кремнію та вуглецю з використанням порошкового дроту засвоєння кремнію склало 40-99%, а вуглецю – 19-100%. До того ж економія на феросплави становить 0,32 грн./т [54].

Висновки

Ретельний аналітичний огляд сучасних технологій позапічної обробки сталі показав, що існуючі практики, які застосовуються при продувці сталі в ковші для десульфурзації сталі та видалення неметалевих включень, є досить різноманітними, і що ці методи мають неоднаковий вплив на матеріальні та енергетичні витрати, а також на якість сталі. Тому проведення досліджень з визначення раціональних режимів продувки сталі в сталерозливному ковші при продувці через донні дуттьові пристрої, дозволять визначити ефективність позапічної обробки сталі. Наступний розділ випускної роботи буде присвячений визначенню впливу режимів продувки на ефективність рафінування сталі та встановленню раціональних режимів продувки.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Державна політика в галузі охорони праці регулюється Законом України «Про охорону праці», КЗпП, санітарними, санітарно-гігієнічними та гігієнічними нормами [56, 57].

Згідно з темою кваліфікаційної роботи: «Дослідження впливу донної продувки сталі в ковші на ефективність рафінування сталі при позапічній обробці» в даній частині виконано аналіз умов праці в сталеливарному цеху, розглянуті питання техніки безпеки та пожежної профілактики, а також захисту навколишнього середовища.

3.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки

Сталеливарне виробництво згідно з норм ДСП 173-96 [58] відноситься до підприємств I класу небезпеки виробництва тому розмір санітарно-захисної зони повинен бути не менш 1000 метрів.

У сталеливарному цеху проводяться роботи з витратою енергії більшою за 250 ккал/год, а це відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [59], ГОСТ 12.1.005-88 [60] III категорія важкості робіт.

Основними шкідливими і небезпечними факторами в цеху (ГОСТ 12.0.003-74) [61] є:

- а) підвищена загазованість;
- б) підвищена вибухонебезпечність;
- в) підвищена запиленість;
- г) підвищений рівень шуму.

Оптимальні та припустимі параметри метеорологічних умов за [59] зазначені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри метеорологічних умов у робочій зоні цеху

Період року	Температура, °С			Відносна вологість,			Швидкість руху повітря, м/с		
	Оптимальні значення	Допустимі значення	Фактичні значення	Оптимальні значення	Допустимі значення	Фактичні значення	Оптимальні значення	Допустимі значення	Фактичні значення
	18-20	≤ 26	20-26	40-60	75 (при 24°С)	60	0,4	0,2-0,6	0,3
Теплий	16-18	17-19	19-24	40-60	75	60	0,3	≤ 0,5	0,3

Підвищену загазованість в цеху створюють гази оксид азоту (NO і NO₂) та монооксид вуглецю (CO). Гранично допустима концентрація шкідливих речовин у робочій зоні, згідно [60], становить для NO – 5,0 мг/м³, для NO₂ – 2,0 мг/м³, для CO – 20,0 мг/м³. До третього класу небезпеки відносяться NO і NO₂, а CO до четвертого, згідно з ГОСТ 12.1.007-76 [63]. Фактична загазованість в цеху становить для NO – 4,8 мг/м³, для NO₂ – 1,6 мг/м³, для CO – 17,0 мг/м³ і не перевищує гранично допустимі норми.

Шум впливає на центральну нервову систему і може призвести до «шумової хвороби». Рівень звуку і еквівалентний рівень звуку за ГОСТ 12.1.003-83 [64] становить 80 дБ. Фактичний рівень шуму становить 115 дБ.

Освітлення в цеху здійснюється за допомогою природного денного світла і штучних джерел.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 [65], у цеху VII розряд зорової роботи. Штучне освітлення при системі загального освітлення складає 200 лк, показник осліпленості 40% і коефіцієнт пульсації 20%. При верхньому або комбінованому природному освітленні КПО – 3%, а при боковому природному освітленні – 1%. В той час коли при суміщеному верхньому або комбінованому освітленні КПО – 1,8%, а при боковому – 0,6%. Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати найменшу

освітленість на підлозі основних проходів (або на землі) і на сходах: у приміщеннях 0,5 лк, на відкритих територіях - 0,2 лк. Найменша охорона освітленість 5 % , яка нормується для робочого освітлення від загального, але не менше 2 лк в середині приміщення і не менше 1 лк - для територій підприємств, відповідно [65].

Потенційно небезпечні чинники властиві даним умовам праці:

- а) вантажопідйомні машини і пристрої, робота на висоті;
- б) розжарений і розплавлений метал, гарячі матеріали та поверхні обладнання, установок, відкрите полум'я, іскри.

Можливі також фізичні та нервово-психічні перевантаження, які згубно впливають на здоров'я людини.

Згідно НАПБ Б.03.002-2007 [66], ДБН В.1.1-7-2002 [67] цех має категорію пожежовибухонебезпеки Г і II ступінь вогнестійкості будинку, П - III клас пожежонебезпеки приміщення за ПУЕ-9000 (правила улаштування електроустановок).

Небезпека виникнення пожеж зменшується використанням системи керування електроустаткуванням, які оснащені тепловими реле, плавкими запобіжниками, автоматами струмового захисту, що розмикають електричний ланцюг у випадку їхнього спрацьовування.

Для гасіння пожеж водою використовується пожежний водопровід. У його мережі встановлені пожежні крани із брезентові рукава. Для доступу на дах будинку, стіни обладнані пожежними сходами. Ззовні будинку, по його периметру, у підземних колодязях розміщені пожежні гідранти.

З метою попередження пожеж пропонуються наступні профілактичні заходи:

- а) своєчасні профілактичні огляди електроустаткування й електромережі й своєчасне усунення всіх порушень;
- б) пожежні крани не рідше ніж кожні 7 місяців піддавати технічному обслуговуванню.

При виникненні пожежі, застосовуються засоби первинного пожежогасіння. Необхідна кількість вогнегасників відповідно до НАПБ Б.03.001-2004 [68] наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Необхідна кількість вогнегасників

Гранична площа, що захищається, кв. м	Клас можливої пожежі	Мінімальна кількість вогнегасників									
		Переносний вогнегасник (з газом-вितискачем у балоні або закачний) із зарядом вогнетушачої речовини, кг					Пересувний вогнегасник (з газом-вितискачем у балоні або закачний) із зарядом вогнетушачої речовини, кг				
		5	6	8	9	12	20	50	100	150	
Порошкові вогнегасники											
більше 500 до 1000 включно	A, B, C, (E)	16	16	12	12	8	4	3	2	1	
Вуглекислотні вогнегасники											
більше 500 до 1000 включно	A, B, C, (E)	-	-	-	-	4	3	2	-	-	

3.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

Під час праці людина перебуває під дією цілого ряду факторів, які можуть викликати небажані наслідки. Для зменшення впливу таких факторів і забезпечення сталості значень характеристик життєдіяльності організму включаються механізми адаптації, що дає змогу людині пристосуватися до несприятливого впливу санітарно-гігієнічних факторів (звичайно, якщо вони не виходять за певні межі). Це досягається за допомогою додаткових витрат мускульної та нервово-

психічної енергії, що в свою чергу призводить до відволікання внутрішніх ресурсів працюючого від основного трудового процесу, несприятливо впливає на психофізіологічний стан людини, її працездатність і, як наслідок, відбивається на техніко-економічних показниках підприємства.

Для запобігання ураження робітників електричним струмом, конструкцією ПК передбачене спеціальне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих частин корпусу, що можуть опинитися під напругою. Для цього в ПК застосовується спеціальна мережна вилка з трьома контактами (два контакти служать для підключення живлення, а третій для підключення до занулюючого проводу). Корпуса дисплеїв виготовляються з не струмопровідних матеріалів, а живлення здійснюється спеціальним кабелем, що підключається до ПК так, щоб виключити ураження людини електричним струмом. Тому ураження струмом при дотику людиною до корпусу дисплея неможливо. Крім того, сучасні ПК розробляються відповідно до вимоги по електробезпеки для побутових приладів, тому які-небудь додаткові засоби захисту від поразки електричним струмом не вимагаються.

Витрати на заходи з охорони праці.

Визначимо річну економію заробітної праці за рахунок збільшення продуктивності праці в наслідок проведення заходів з покращення умов праці (витрати – $B = 100$ тис.грн.), а також економічну ефективність цих заходів. Кількість працівників – 80 чол., середня річна заробітна плата одного робітника – $Z_p = 4000$ грн., інтегральна оцінка важкості праці знизилась з $I_{T1} = 30\%$ до $I_{T2} = 20\%$.

Річна економія заробітної плати за рахунок підвищення продуктивності праці визначається:

$$E_{річ} = \frac{\Delta W \cdot Z_p}{100} \cdot P_{ср}, \quad (3.1)$$

де P_{cp} – середньоспискова кількість персоналу,
 Z_p – середньорічна заробітна плата одного робітника,
 ΔW – підвищення продуктивності праці, % за рахунок збільшення
 працездатності:

$$\Delta W = \left(\frac{R_2}{R_1} - 1 \right) \cdot 100 \cdot 0,2, \quad (3.2)$$

де R_1 та R_2 – працездатність до і після введення заходів з охорони праці, які знизили важкість праці, ум.од.

Працездатність R і ступінь втоми Y розраховується за формулою:

$$R_i = 100 - Y_i = 100 - \frac{I_{Ti} - 15,6}{0,64}, \quad (3.3)$$

де I_{Ti} – інтегральна оцінка важкості праці.

$$R_1 = 100 - \frac{30 - 15,6}{0,64} = 77,5 \%,$$

$$R_2 = 100 - \frac{20 - 15,6}{0,64} = 93,1 \%;$$

$$\Delta W = \left(\frac{93,1}{77,5} - 1 \right) \cdot 100 \cdot 0,2 = 20 \%;$$

$$E_{p\text{р}ич} = \frac{20 \cdot 4000}{100} \cdot 80 = 64000 \text{ тис. грн.}$$

Ефективність витрат на заходи з охорони праці визначаються за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{E_{p\text{р}ич}}{B}, \quad (3.4)$$

де $E_{p\text{р}ич}$ – річна економія від покращення умов праці,
 B – витрати підприємства на заходи з охорони праці.

$$E_{\phi} = \frac{64000}{100} = 640 \text{ тис. грн.}$$

3.3 Захист навколишнього середовища

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини - невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України.

З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів

Відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [69] завданням законодавства є регулювання відносин у галузі охорони, використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, запобігання і ліквідації негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище, збереження природних ресурсів, генетичного фонду живої природи, ландшафтів та інших природних комплексів, унікальних територій та природних об'єктів, пов'язаних з історико-культурною спадщиною.

Основними принципами охорони навколишнього природного середовища є:

а) пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;

б) гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров'я людей;

в) запобіжний характер заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;

г) екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;

д) збереження просторової та видової різноманітності і цілісності природних об'єктів і комплексів;

е) науково обґрунтоване узгодження екологічних, економічних та соціальних інтересів суспільства на основі поєднання міждисциплінарних знань екологічних, соціальних, природничих і технічних наук та прогнозування стану навколишнього природного середовища;

є) обов'язковість надання висновків державної екологічної експертизи;

ж) гласність і демократизм при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;

з) науково обґрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;

и) безоплатність загального та платність спеціального використання природних ресурсів для господарської діяльності;

і) компенсація шкоди, заподіяної порушенням законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

ї) вирішення питань охорони навколишнього природного середовища та використання природних ресурсів з урахуванням ступеня антропогенної змінності територій, сукупної дії факторів, що негативно впливають на екологічну обстановку;

й) поєднання заходів стимулювання і відповідальності у справі охорони навколишнього природного середовища;

к) вирішення проблем охорони навколишнього природного середовища на основі широкого міждержавного співробітництва;

л) встановлення екологічного податку, рентної плати за спеціальне використання води, рентної плати за спеціальне використання лісових ресурсів, рентної плати за користування надрами відповідно до [Податкового кодексу України](#) [69].

Висновки

У розділі виконано аналіз умов праці сталеливарного цеху, а також розглянуто заходи з техніки безпеки, пожежної профілактики та охорони навколишнього середовища, що базуються на діючих законодавчих та нормативних актах України.

Аналіз показав, що виробничі умови в сталеливарному цеху характеризуються наявністю значних шкідливих і небезпечних факторів, зокрема підвищеної загазованості, шуму, запиленості та вибухонебезпечності. Дотримання встановлених гігієнічних норм та нормативів дозволяє мінімізувати їхній вплив на здоров'я працівників. Водночас, виявлено перевищення допустимого рівня шуму, що вимагає застосування додаткових засобів захисту.

Сталеливарний цех належить до категорії Г пожежовибухонебезпечності, що вимагає дотримання правил електробезпеки та ефективних систем пожежогасіння. Для покращення умов праці запропоновано модернізацію вентиляції, використання засобів індивідуального захисту та оптимізацію режиму праці, що знижує інтегральну оцінку важкості праці на 10% і підвищує продуктивність.

У сфері екології акцент зроблено на зменшенні викидів, раціональному використанні ресурсів і зниженні впливу виробництва на довкілля. Запропоновані заходи сприятимуть покращенню умов праці, зниженню ризиків та підвищенню ефективності виробництва при дотриманні екологічних норм.

ВИСНОВКИ

Аналітичний огляд джерел, присвячених сучасним технологіям позапічної обробки сталі, показав, що існуючі практики, які застосовуються при продувці сталі в ковші для десульфурації сталі та видалення неметалевих включень, є досить різноманітними, і що ці методи мають неоднаковий вплив на матеріальні та енергетичні витрати, а також на якість сталі.

Проведений статистичний аналіз паспортів плавок для сталі марки ЗСП показав необхідність уникати збільшення інтенсивності продувки понад 300 л/хв. на одну пробку. Це дозволить досягти наступних планових показників:

- скоротити тривалість нагріву з до хв.;
- скоротити витрату феросиліцію на обробку з до кг;
- скоротити витрату феромарганцю на обробку з до кг;
- зменшити витрату вапна з до т на обробку;
- підвищення ступеня десульфурації з до%;
- зниження ступеня рефосфорації з до%;
- збільшення ступеня розкисленості сталі з до%.

Запропоновані у розділі Охорона праці заходи сприятимуть покращенню умов праці, зниженню ризиків та підвищенню ефективності виробництва при дотриманні екологічних норм.

Завдяки впровадженню рекомендованих змін, можна буде зменшити витрати матеріалів, що знизить собівартість обробки сталі і підвищить загальну продуктивність підприємства. Зокрема, економія на кожній тонні сталі складає грн, що при обсязі виробництва близько півмільйона тонн на рік дає можливість заощадити майже млн.грн.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дюдкін Д.А. Сучасна технологія виробництва сталі / Д.А. Дюдкін, В.В. Кисиленко – "Теплотехнік", 2007. – 528 с.
2. Мельник С.Г. Виробництво сталі покращеної якості із застосуванням позапічної обробки / С.Г. Мельник // Вісник ПДТУ, 1999. - №7. - С. 155-164
3. Технології підвищення якості сталі [Підручник] / О.Г. Величко, О.М. Стоянов, Б.М. Бойченко, К.Г. Нізяєв. – Дніпропетровськ: Середняк Т.К., 2016. – 196 с.
4. Шалімов А.Г. Аналіз ефективності перемішування металу у ковші на основі нових шведських розробок / О.Г. Шалімов // Сталь. - 2004. - №1. - С. 25-30.
5. Кодак О.В. Технологічні особливості позапічної обробки електросталі на ММЗ «ІСТІЛ» (Україна) / О.В. Кодак, В.М. Кренделєв, А.Г. Дем'яненко // Металургійна та гірничорудна промисловість. – 2003. – С.58-63.
6. Романо М. Установки ківш-піч на заводах з повним металургійним циклом / М. Романо, Г. Зоччі // Електрометалургія. - 2004. - № 3. - С. 24-26.
7. Бейцун С.В. Математичне моделювання параметрів барбатажної зони при донному продуванні сталі в ковші / С.В. Бейцун, Н.В. Михайлівський, С.В. Семенов// Математичне моделювання. - 2003. - № 2. - С. 36-39.
8. Конвертерні процеси виробництва сталі. Теорія, технології, конструкція агрегатів. Баптизманський В.І., Меджибозький М.Я., Охотський В.Б. - Київ; Донецьк; Вища шк. Головне вид-во, 1984 – 343 с.
9. Дюдкін Д.А., Бать С.Ю., Грінберг С.Є., Марінцев С.М. Виробництво сталі на агрегаті ківш-піч / Під заг. ред. докт. техн. наук, проф. Дюдкіна Д.А. – Донецьк: ТОВ "Південний Схід, Лтд", 2003 – 300 с.

10. А.В. Макану Зміні властивостей сталі при позапічній обробці металу аргоном / Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра. – 2010. – С. 188 - 192
11. Воскобойніков В.Б., Кудрін В.А., Якушев А.М. Загальна металургія: підручник для вузів / Воскобойніков В.Г., Кудрін В.А., Якушев А.М. - 6 видавництво, перероб. та дод. - ІКЦ «Академкнига», 2002. - 768 с.
12. Мельник С.Г. Виробництво сталі покращеної якості із застосуванням позапічної обробки / Вісник ПДТУ, 1999 – Вип №7 – С. 155 - 164
13. А.В. Кодак, Г.І. Касьян, П.М. Явтушенко, В.В. Сироватський (ЗАТ «ММЗ» Істл (Україна)) Підвищення інтенсивності процесів позапічної обробки після впровадження донного перемішування розплаву аргоном з витратою до 1000л/хв. на один затор / Метал та лиття України. - №1-2. – 2009. – С. 51 – 54
14. Металургійні міні-заводи: Монографія/М 54 Смирнов А.М., Сафонов В.М., Дорохова Л.В., Цупрун А.Ю. – Донецьк: Норд-Прес, 2005. – 469 с.
15. Progress of hot metal treatment technology and future outlook / Ogawa Y., Maruoka N. // Tetsu-to-hagane = Journal of the Iron and Steel Institute of Japan. - 2014. - №4. - С. 434 – 444.
16. А.В. Лук'янов, А.П. Шестаков, А.М. Сорокін, А.В. Погожев, А.А. Немтінов Удосконалений процес ковшового вакуумування сталі/Сталь. - 2008. - №9. - С. 15 - 19.
17. Б.М. Киманов Видалення оксидних та сульфідних включень із розплавленої сталі методами фільтрації / Сталь. - 2008. - № 8. - С. 24 - 28.
18. Меджибозький, М.Я. Основи термодинаміки та кінетики сталеплавильних процесів / М.Я. Меджибозький. - К.: Вища школа, 1979. - 280с.
19. Бойченко, Б.М. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і

екологія: Підручник / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. – 454с.

20. Технологічна інструкція ТІ – 233 – СТ.КК – 02 – 2008. – Дніпропетровськ, 2008 – 83с.

21. І.М. Саламаш Класифікація режимів перемішування рідкої сталі в ковші під час продування інертним газом / Наукові праці ДонНТУ. Металургія. - 2012. - Випуск 1(14)-2(15). - С. 53-57.

22. Охотський, В.Б. Моделі металургійних систем// В.Б. Охотський. - Дніпропетровськ: "Системні технології", 2006. - 287с.

23. Хільчевський, В.В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник / В.В.Хільчевський. – К.: Либідь, 2002. – 328с.

24. Теорія металургійних процесів: Підручник / В. Б. Охотський [та ін.]. — К.: ІЗМН, 1997. — 512 с.

25. Цупрун А.Ю., Штепан Є.В., Антикуз О.В., Новікова Є.В. Дослідження гідродинамічних процесів у ковші малої місткості за різних способів перемішування сталі / ДВНЗ «ДонНТУ». Наукові труди «Металургія». - 2008. - Вип. 10 (141). - С. 20 - 24.

26. Єгоров С.Є., Червоній І.Ф., Шульга О.І. Математичне моделювання перемішування розплаву алюмінію в ковші при тепловому впливі / ДВНЗ «ДонНТУ». Наукові труди «Металургія». - 1998. - Вип. 12 (177). - С. 227 - 236.

27. Maruoka N. Influence of bottom stirring conditions on gas-liquid reaction rate / N. Maruoka, F. Lazuardi, T. Maeyama, H. Nogami // Scanmet, 3rd International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking. – 2008. – С. 449–458.

28. Утворення газового струменя та розрив шлакового шару при продуванні рідкої сталі газом у ковші позапічної обробки / Волкова О.І., Рябов Д.Ю., Шеллер П.Р // Техніка теплофізика та промислова теплоенергетика – 2009. – №1. - С. 46-52.

29. Дослідження процесу продування рідкої сталі в сталерозливному ковші інертним газом / Каменєв А.А., Кожухов А.А., Сьомін А.Є. // Конгрес сталеплавильників - 2018. - С. 279-282.
30. Явойський В.І., Рубеньчик Ю.І., Окенко А.П. Неметалічні включення та властивості сталі. - М: Металургія. 1980. - 176 с.
31. Губенко С.І, Парусов В.В., Дерев'янченко І.В. Неметалічні включення до сталі. – Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС, 2005. – 536 с.
32. Попель С.І. Поверхневі явища у розплавах. - Металургія, 1994. - 440 с.
33. Tassot P., Reichert N. Ways of Improving Steel Quality in the Tundish // *Revue de Metallurgie*. – 107. – 2010. - pp.175-185.
34. Lidong Teng, Pär Ljungqvist, Helmut Hackl, Joakim Andersson, Anders Bohlin, ArcSave: Electromagnetic stirring in the EAF for higher productivity and lower cost, METEC & 2nd ESTAD 2015, Dusseldorf, 15-19 June, 2015.
35. Fruehan R.J.: *The Making, Shaping and Treating of Steel (Steel Making and Refining)*, volume 2, pp.125-133
36. PERFORMANCE TEST RESULTS OF ArcSave® TECHNOLOGY IN ELECTRIC ARC FURNACE STEELMAKING / Lidong Teng¹, Pär Ljungqvist, Michael Meador, Joakim Andersson, Helmut Hackl¹, Jan-Erik Eriksson¹ // 5th International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking. – 12 –15 June 2016.
37. Wang L.T.; Zhang Q.Y.: *ISIJ Int.* 45-8 (2005), pp. 1138-7.
38. Комплекс інжекційних технологій ковшової десульфурзації сталі порошкоподібними / Черевко В.П., Лонський О.М., Стоянов О.М., Віхлевщук В.О. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Виробництво сталі XXI столітті. Прогноз, процеси, технології, екологія», 17–19 травня 2000 р., м. Дніпропетровськ. - 2000. - С. 231-234.

39. Дослідження та реалізація раціональних режимів обробки конвертерної сталі порошковим дротом / Бунмов В.А., Селезньов Ю.А., Кузьменко О.Г. [та ін] // Сталь. - 1999. - №5. - С. 33-34.
40. Аналіз процесу нагріву тіла в розплаві / Крупніков С.А., Філімонов Ю.П. // Чорна металургія. - 1984. - №5. - С. 120-124.
41. Вплив ковшового шлаку на швидкість переходу твердих присадок у залізовуглецевий розплав / Крупніков С.А., Філімонов Ю.П., Кузьменко О.Г., Мазуров Є.Ф. // Чорна металургія. - 2000. - №7. - С. 26-30.
42. Визначення оптимальної швидкості введення порошкового дроту із силікокальцієвим наповнювачем у ківш із рідкою сталлю / С.А. Крупенніков, Ю.П. Філімонов, А.Г. Кузьменко, Є.Ф. Мазуров // Електрометалургія. - 2000. - №11. – С. 15–22.
43. Вибір варіанта позапічної обробки під час виробництва сталі з нормованим рівнем неметалевих включень / А.М. Степашин, А.В. Гаврилов, Н.Г. Таринін, О.В. Пирова // Електрометалургія. - 2001. - №3. – С. 22–25.
44. О. Кубашевський, Олкок "Металургійна термохімія", 1982 р.
45. Хімічний підігрів сталі у ковші / Е.М. Шебаніц, А.А. Ларіонов, Н.С. Куклева [та ін] // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Виробництво сталі ХХІ столітті. Прогноз, процеси, технології, екологія», 17–19 травня 2000 р., м. Дніпропетровськ. - 2000. - С. 303-307.
46. Е.М. Шебаніц, А.А. Ларіонов, А.В. Побігайло, Б.В. Небога, С.А. Овсянніков, В.М. Самохвалів – Позапічна обробка сталі в конвертерному цеху комбінату, Метал та лиття України, №10, 1997р, С. 21-23.
47. Д.Я. Поволоцький, В.А. Кудрін, А.Ф. Вишкар'єв - Позапічна обробка сталі, 1995, стор 142-145.
48. Розробка технологій позапічної обробки при виробництві якісних марок сталі / Шебаніц Е.М., Ларіонов А.А., Небога Б.В., [та ін.] // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Виробництво

сталі у ХХІ столітті. Прогноз, процеси, технології, екологія», 17–19 травня 2000 р., м. Дніпропетровськ. - 2000. - С. 308-312.

49. Солнцев Л.А., Зайденберг А.М, Малий А.Ф, Отримання чавунів підвищеної міцності. - Харків Вища школа, 1986. -192 с.

50. Раптова обробка залізо вуглецевого розплаву методом глибинного відновлення ЩЗМ / Дорофєєв В.М., Теплидкий Є.Б., Куберський С.В., [та ін.] // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Виробництво сталі у ХХІ столітті. Прогноз, процеси, технології, екологія», 17–19 травня 2000 р., м. Дніпропетровськ. - 2000. - С. 318-321.

51. Мельник С.Г. Виробництво сталі покращеної якості із застосуванням позапічної обробки / Вісник ПДТУ. -1999. - №7. - С.155-164.

52. Раптове модифікування конвертерної сталі в ковшах ємністю 350т. кальцієвмісними матеріалами / С.Г Мельник, О.В. Носоченко, І.Л. Бузун // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Виробництво сталі ХХІ столітті. Прогноз, процеси, технології, екологія», 17–19 травня 2000 р., м. Дніпропетровськ. - 2000. - С. 332 - 333.

53. Обробка сталі кальцієм: Мат. міжнар. симпоз. з обробки сталі кальцієм/Пер. з англ.: За ред. Б.І. Медовара. – Київ: ІЕС ім. Патона АН УРСР, 1989. - 216 с.

54. Коригування хімічного складу сталі в ковші порошковим дротом / О.С. Дмитрієв, Н.А. Овчинніков, В.С. Сергієнко [та ін.] // - 2003. - №1. – С. 26–28.

55. Баптізманський В.І. Організація експерименту/В.І. Баптізманський, Ю.М. Яковлев, Ю.С. Паніотів. - К.: УМК ВО, 1992. - 244 с.

56. 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>.

57. 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 доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z0569-11>.

58. ДСП 173-96. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. № 379/1404.

59. ДСН 3.36.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – К.: Держстандарт, 1999.

60. «Гігієнічні регламенти хімічних речовин у повітрі робочої зони». Наказ № 1596 від 14.07.2020. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 03 серпня 2020 р. за № 741/35024 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text>

61. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація (СТ СЭВ 790-77). – К.: Держстандарт, 1979.

62. ДСН 3.36.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – К.: Держстандарт, 1999. – 31 с.

63. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартів безпеки праці. Шкідливі речовини. Класифікація і загальні вимоги безпеки, 1999.

64. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартів безпеки праці. Шум. Загальні вимоги безпеки. Зі зміною № 1 (СТ СЭВ 1930-79)

65. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення, 2006.

66. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. – К.: Укр. НДІПБ, 2007.

67. ДБН В.1.1.7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Держбуд України, 2003.

68. НАПБ Б.03.001-2004. Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0554-04>.

69. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». – К.: Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, №41, ст.546.