Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

на тему «Розробка системи очищення газових викидів від електродугових печей»

Виконала: студент 4 курсу, групи 6.1832

Книрік В.В.

(ПІБ) (підпис)

спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

Керівник Бєлоконь К.В.

(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра ___*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

Рівень вищої освіти ____*перший бакалаврський рівень*_____

Спеціальність *183 Технології захисту навколишнього середовища*_____
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *Технології захисту навколишнього середовища*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри __*МТЕТБ*___
_____*Ю.О. Бєлоконь*__
«____» _____2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

_____Книрік Вадим Володимирович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка системи очищення газових викидів від електродугових печей

керівник роботи (проєкту) Бєлоконь Каріна Володимирівна, к.т.н, доцент____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від «23»12 2025 року № 1831-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта)____08.06.2026_____

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) Витрата газу за робочих умов (Q) 717 294 м^3/год (199 м^3/с). Температура газу ($t_г$) 130 °С. Динамічний коефіцієнт в'язкості (μ) 22,2·10^{-6} Па·с. Медіанний діаметр частинок пилу (d_m) 2,8·10^{-6} м. Швидкість фільтрації (ω) 1,7 м/хв (0,028 м/с). Допустимий опір фільтра (P) 2 кПа.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) реферат, вступ, загальна частина, спеціальна частина, охорона праці та техногенна безпека, висновки, список використанних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентаційний матеріал, 12 слайдів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	Бєлоконь К.В., доцент	
Розділ 2	Бєлоконь К.В., доцент	
Розділ 3	Бєлоконь К.В., доцент	
Нормоконтроль	Вагін А.В., доцент	

7. Дата видачі завдання 06.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	до 20.04.2026	
2	Реферат	до 24.04.2026	
3	Розділ 1	до 12.05.2026	
4	Розділ 2	до 18.05.2026	
5	Розділ 3	до 01.06.2026	
6	Висновки	до 05.06.2026	

Здобувач _____ Книрік В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ Бєлоконь К.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Кваліфікаційна робота на тему «Розробка системи очищення газових викидів від електродугових печей»: 60 стор., 3 табл., 4 рис., 12 джерел.

ДУГОВА СТАЛЕПЛАВИЛЬНА ПІЧ, ПИЛОГАЗООЧИЩЕННЯ, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ГРАНИЧНО ДОПУСТИМИЙ ВИКИД, АСПІРАЦІЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Об'єкт дослідження – процес очищення технологічних та аспіраційних викидів дугових сталеплавильних печей (ДСП) у сталеплавильному виробництві.

Мета роботи – обґрунтувати та розробити технічні заходи з модернізації системи газовідведення та пилогазоочищення для мінімізації впливу металургійного комплексу на навколишнє середовище.

У загальній частині кваліфікаційної роботи розглянуто технологічний цикл виплавки сталі, проаналізовано джерела утворення пилогазових потоків та їхній вплив на атмосферне повітря. Визначено кількісні та якісні параметри шкідливих викидів, зокрема вміст важких металів (нікелю, хрому, свинцю) та монооксиду вуглецю.

У спеціальній частині обґрунтовано перехід від застарілих «мокрих» методів очищення до «сухих» із застосуванням сучасних рукавних фільтрів марки ФРІР-7000. Виконано технологічні та аеродинамічні розрахунки, що підтверджують ефективність вловлювання пилу на рівні 99% та досягнення нормативної запиленості очищених газів не більше 18,5-20 мг/нм^3. Запропоновано комбіновану схему евакуації газів через четвертий отвір печі та систему дахових зонтів.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» проаналізовано основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, проведено акустичний розрахунок рівнів шуму від тягодутьового обладнання. Запропоновано заходи з електробезпеки (застосування захисного занулення) та пожежної безпеки, а також розраховано параметри водяного тепловідвідного екрана для захисту персоналу від теплового випромінювання дугової печі.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 9
1.1 Характеристика підприємства ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» 9
1.2 Технологія виробництва сталі на підприємстві . . . 17
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 28
2.1 Характеристика системи газоочищення на підприємстві . 28
2.2 Обгрунтування вибраного способу очищення газів . . 29
2.3 Розрахунок рукавного фільтру 38
2.4 Етапи реконструкції системи газоочищення . . . 41
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 44
3.1 Охорона природного середовища в процесі будівництва . 44
3.2 Шумове та вібраційне забруднення під час експлуатації . 45
3.3 Оцінка впливу під час експлуатації установки очистки газу . 49
3.4 Заходи з електробезпеки 49
3.5 Заходи з пожежної та техногенної безпеки 51
3.6 Розрахунок тепловідвідного екрану дугової печі . . . 54
ВИСНОВКИ 57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 60

ВСТУП

Сучасний етап розвитку світового та вітчизняного металургійного комплексу характеризується жорсткою конкуренцією та низкою глобальних викликів. Серед них ключовими є мінімізація собівартості металопродукції, створення наукомістких технологій для підвищення якісних характеристик сталі за стабільної ринкової ціни, а також освоєння принципово нових марок сплавів із унікальними експлуатаційними властивостями.

Ефективне розв'язання цих завдань безпосередньо пов'язане з модернізацією проєктних рішень під час будівництва нових та реконструкції діючих виробничих потужностей. Раціональне розподілення капіталовкладень у технічне переозброєння морально та фізично застарілих електросталеплавильних цехів (ЕСПЦ) дозволяє впроваджувати прогресивні науково-технічні досягнення. Це забезпечує значне зростання обсягів виробництва високоякісної електросталі за оптимізації інвестиційних витрат.

Електрометалургія є високотехнологічним напрямом важкої промисловості, який базується на відновленні металів з оксидної сировини, а також отриманні широкого спектра сталей і сплавів заданого хімічного складу завдяки трансформації електричної енергії в теплову.

Електропечі мають суттєві конструктивні та технологічні переваги порівняно з іншими сталеплавильними агрегатами. Саме тому виробництво високолегованих інструментальних, корозійностійких (неіржавіючих), жаростійких, жароміцних та спеціальних конструкційних марок сталі здійснюється переважно в електротермічних агрегатах.

До головних переваг дугових електропечей (ДСП) належать:

- Висока швидкість нагрівання ванни рідкого металу, що забезпечує безперешкодне введення значної кількості легуючих елементів і феросплавів;
- Можливість підтримання відновного потенціалу атмосфери печі та наведення безкисневих (неокиснювальних) шлакових систем;

- Високоточне та плавне регулювання температурного градієнта розплаву;
- Глибоке розкиснення металу, що мінімізує концентрацію шкідливих неметалевих включень;
- Ефективне протікання процесів десульфурації (видалення сірки).

Динамічний розвиток дугового способу виплавки, порівняно з конвертерним та застарілим мартенівським процесами, зумовлений гнучкістю керування тепловим режимом, відносно невеликою місткістю ванни агрегату, можливістю роботи на 100%-му твердому металевому брухті (шихті), а також оперативним моніторингом параметрів плавки. Це робить електропечі універсальними агрегатами для отримання будь-якого сортаменту металопродукції.

Попри очевидні технологічні переваги, функціонування дугових електропечей супроводжується генерацією потужних пилогазових потоків. Надлишковий тиск у підсклепінному просторі призводить до неорганізованих викидів дисперсних частинок і токсичних газів через конструктивні нещільності печі безпосередньо в робочу зону цеху. Інтенсивне виділення пилогазової суміші спостерігається також під час завантаження брухту (шихтування) та випуску готового розплаву в сталерозливний ківш.

З огляду на це, головною метою цієї кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розробка високоефективної і техніко-економічно доцільної системи вловлювання та очищення технологічних і аспіраційних викидів ДСП.

У межах виконання дипломного проєкту запропоновано комплекс раціональних інженерних рішень щодо модернізації газовідвідних систем ЕСПЦ, а саме:

1. Впровадження сухих методів очищення відхідних газів із використанням високоефективних рукавних фільтрів із сучасними імпульсними системами регенерації.

2. Реалізація комбінованої схеми евакуації газів, яка передбачає пряме відведення пилогазового потоку через четвертий отвір у склепінні печі (суміщене з охолодженням) та перехоплення неорганізованих (вторинних) викидів за допомогою підпокрівельного зонта (ліхтаря) цеху.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика підприємства ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» є підприємством з неповним металургійним циклом, яке спеціалізується на виробництві металопродукції з конструкційних вуглецевих, конструкційних легованих, нержавіючих, шарико-підшипникових, інструментальних, швидкоріжучих, жароміцних марок сталей. Завод може виробляти більше 800 марок сталей і більше 1000 видів профілів продукції.

До складу ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» входять 11 основних цехів виробничого призначення та допоміжні підрозділи, які забезпечують виробничу діяльність підприємства.

ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» має 4 виробничі майданчики:

- промисловий майданчик - основний проммайданчик №1: 69008, Запорізька область, м. Запоріжжя, вул. Південне шосе, будинок 81;
- промисловий майданчик №2: 69021, Запорізька область, м. Запоріжжя, Заводський район, Запоріжжя Ліве, вул. Софіївська, 238-А;
- промисловий майданчик – ділянка №2 полігону промислових відходів: 69600, Запорізька область, м. Запоріжжя, Заводський район, балка Середня;
- промисловий майданчик – ділянка №3 полігону промислових відходів: 69600, Запорізька область, м. Запоріжжя, Заводський район, балка Середня.

Відповідно до плану зонування території м. Запоріжжя територія розміщення об’єкта планованої діяльності відноситься до виробничої зони В-2 (зона підприємств ІІ класу шкідливості).

Особливістю проммайданчика №1 є те, що він має дуже великі розміри і нормативний розмір санітарно-захисної зони (СЗЗ) формують джерела не тільки І та ІІ класів небезпеки, а й ІІІ, IV та V класів небезпеки (рис. 1.1).

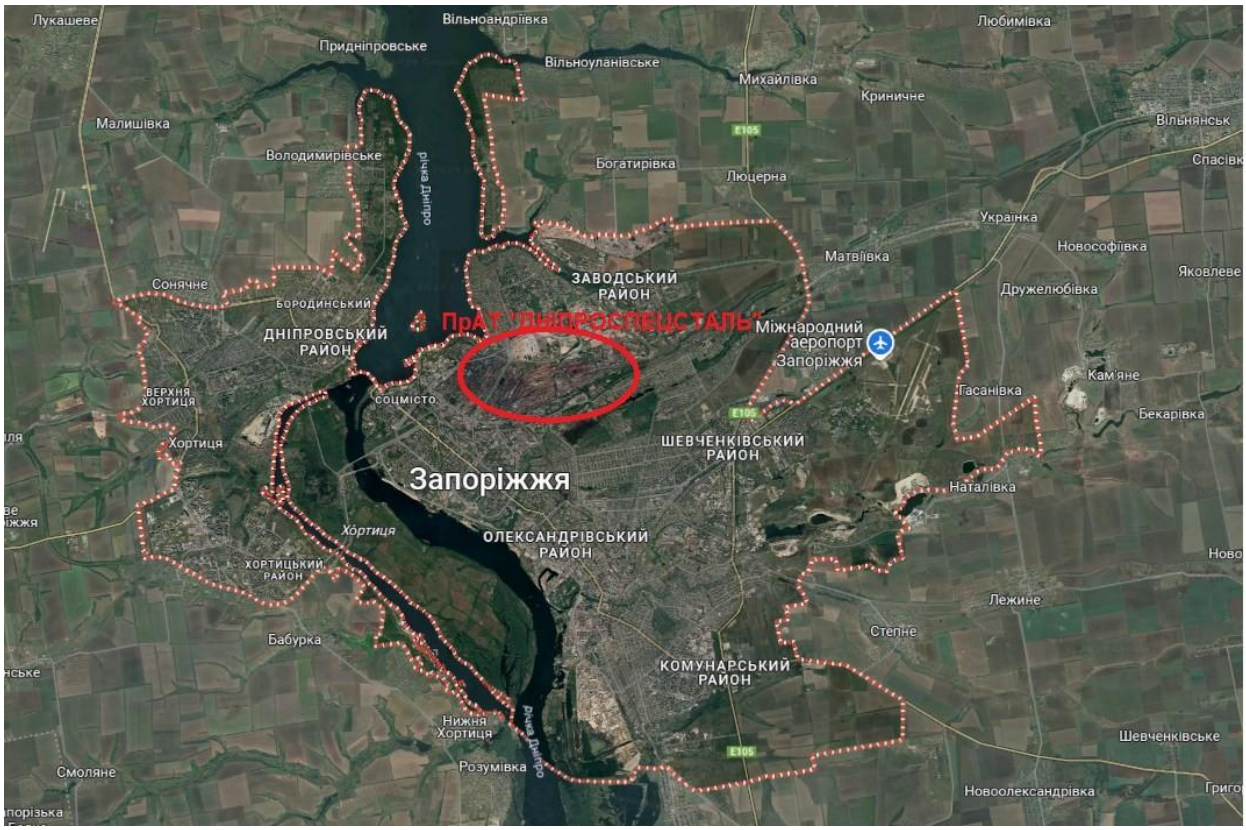


Рисунок 1.1 – Ситуаційна схема розташування ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ

У фізико-географічному відношенні територія підприємства відноситься до Східноєвропейської рівнини, Степової зони, Північностепової підзони, Лівобережнодніпровсько-Приазовського краю, розташовуючись в межах Кінсько-Ялинської низовинної області (рис. 1.2).

Схема планування території м. Запоріжжя за функціональним зонуванням території наведена на рис. 1.3.

Розмір нормативної санітарно-захисної зони для основного виробничого майданчика №1 ПрАТ «Дніпроспецсталь» встановлюється від основних джерел викидів з урахуванням нормативних розмірів СЗЗ, видів виробництв як металургійного циклу, так і інших виробництв, відповідно до їх санітарної класифікації.



Рисунок 1.2 – Фізико-географічне розташування об’єкта планованої діяльності

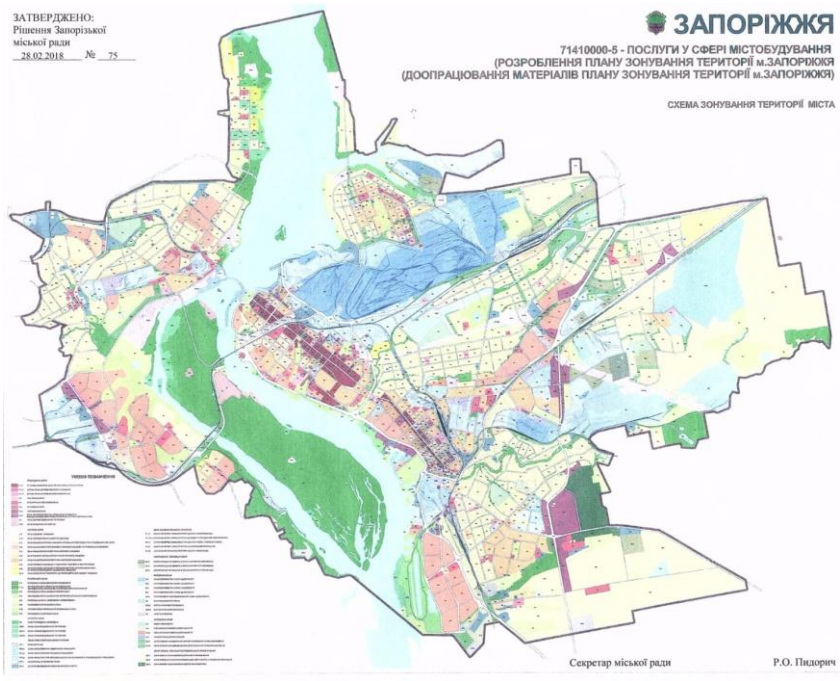


Рисунок 1.3 - Схема планування території м. Запоріжжя за функціональним зонуванням території

Відповідно до санітарної класифікації додатку №4 ДСП №173-96 «Державних санітарних правил планування і забудови населених пунктів» (затверджені Наказом МОЗ від 19.06.1996 р. №173, зареєстрованим у Мін'юсті 24.07.1996 р. за №379/1404, далі – ДСП №173-96), розмір нормативної санітарно-захисної зони (СЗЗ) основного виробничого майданчика №1 ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» становить:

- для виробництва феросплавів – підприємства I класу небезпеки (Додаток №4. Металургійні, машинобудівні та металообробні підприємства і виробництва. П.8. Виробництво по виплавці спецчавунів; виробництво феросплавів з розміром нормативної СЗЗ 1000 м;

- для виробництва сталі – підприємства II класу небезпеки (Додаток №4. Металургійні, машинобудівні та металообробні підприємства і виробництва. П. 6. Виробництво сталі мартенівським, електроплавильним і конверторним способами з цехами по переробці відходів (розмел томасшлаку та ін.) при випуску основної продукції в кількості до 1 млн.т/рік з розміром нормативної санітарно-захисної зони 500 м;

- для виробництва прокату готового – підприємства II класу небезпеки (Додаток №4. Металургійні, машинобудівні та металообробні підприємства і виробництва. П. 12. Прокатні цехи (обґрунтування розрахунковим шляхом) з розміром нормативної санітарно-захисної зони 500 м;

- для виготовлення випаленого вапняку – підприємства II класу небезпеки (Додаток №4. Виробництва будівельної промисловості. П.3. Виробництво вапна (вапняні заводи з шахтними та обертовими печами) з розміром нормативної санітарно-захисної зони 500 м;

- для гальванічної обробки металу – підприємства III класу небезпеки (Додаток №4. Металургійні, машинобудівні та металообробні підприємства і виробництва. П. 10. Гальванічні цехи.) з розміром нормативної санітарно-захисної зони 300 м;

- для нейтралізації травильних розчинів (зливні станції) – підприємства III класу небезпеки (Додаток №4. Санітарно-технічні споруди

та установки комунального призначення. П.4. Зливні станції) з розміром нормативної санітарно-захисної зони 300 м;

- плавлення сталі – підприємства IV класу небезпеки (Додаток №4. Металургійні, машинобудівні та металообробні підприємства і виробництва. П. 5. Підприємства металообробної промисловості з чавунним, сталевим (у кількості до 10000 т/рік) та кольоровим (у кількості до 100 т/рік) литтям з розміром нормативної санітарно-захисної зони 100 м;

- для прання спецодягу - підприємства IV класу небезпеки (Додаток №4. Хімічні підприємства та виробництва. П. 26. Хімчистка) з розміром нормативної санітарно-захисної зони 100 м;

- для приймання, зберігання, транспортування цементу та інших будівельних матеріалів (склад інертних матеріалів, силоси цементу, мінерального порошку) - підприємства IV класу небезпеки (Додаток №4. Виробництва будівельної промисловості. П.2. Елеватори цементів та інших курних будівельних матеріалів) з розміром нормативної санітарно-захисної зони 100 м;

- для зберігання легкозаймистих матеріалів - підприємства IV класу небезпеки (Додаток №6 Видаткові та базисні склади кам'яного вугілля, дров, легкозаймистих та паливних рідин) з розміром нормативної санітарно-захисної зони 100 м;

- для ремонту автотранспорту – підприємства IV класу небезпеки (Додаток №4. Санітарно-технічні споруди та установки комунального призначення. П.5. Підприємства по обслуговуванню автомобілів (вантажні автомобілі) з розміром нормативної санітарно- захисної зони 100 м;

- для механічної обробки та зварювання металу – підприємства V класу небезпеки (Додаток №4. Металургійні, машинобудівні та металообробні підприємства і виробництва. П. 1. Підприємства металообробної промисловості з термічною обробкою без ливарень з розміром нормативної санітарно-захисної зони 50 м;

- для обробки деревини - підприємства V класу небезпеки (Додаток

№4. Виробництва по обробці деревини. П.1. Підприємства столярно-теслярні, меблеві, паркетні та по виготовленню ящиків) з розміром нормативної санітарно-захисної зони 50 м;

- для паливовикористовуючого обладнання - санітарно - захисна зона для опалювальних котелень встановлюється від джерел шкідливості (від димарів) до межі житлової забудови, дитячих та навчальних установ;

- відстань від автозаправочних станцій з підземними резервуарами для зберігання рідкого палива до меж ділянок дитячих дошкільних закладів, загальноосвітніх шкіл, шкіл- інтернатів, лікувально-профілактичних закладів, до стін житлових та інших громадських будівель і споруд, дитячих ігрових майданчиків, місць відпочинку слід приймати за розрахунком забруднення атмосферного повітря шкідливими викидами АЗС, але не менше 50 м.

Виходячи з представленої класифікації всіх видів виробництв, обсягів викидів, розташованих на території землекористування підприємства, встановлено найбільші нормативні розміри санітарно-захисної зони:

-1000 м – для джерела №124 ділянки виробництва феромолібдену СПЦ №2 (сушильні барабани, кульовий млин, тигельна піч, дробарки щокові);

-500 м – для джерел: СПЦ №2 (дж. №№101-105,108,109,116); СПЦ №3 (дж. №№201 - 203); СПЦ №5 (№301); прокатного цеху (№№501-516); копрового цеху (дж. №1004); ДПСМ (дж. №№1129, 1130 - шахтні печі №1 та №2).

Найбільший нормативний розмір санітарно-захисної зони (1000 м) формує лише одне джерело викидів №124, яке розташоване в західній частині основного проммайданчика №1, а саме в південному, південно-західному, західному, північно-західному і частково в північному напрямках, повністю в промисловій зоні.

Нормативний розмір санітарно-захисної зони (500 м) формують основні крайні джерела викидів, а саме: джерела викидів №№201-202 СПЦ №3 (електродугові печі ДСВ-50 №2, ДСВ-50 №3, піч-ківш «Даніелі», установка «Мапеко», піч підігріву феросплавів, вакууматор); дж. №301 СПЦ

№5 (сталеплавильні печі ОКБ-905 та ОКБ-1065); дж. №1004 копрового цеху (пічДС-6Н1) – в північному, північно-східному, східному та південно-східному напрямках, повністю в промисловій зоні.

Нормативні розміри санітарно-захисної зони (300 м, 100 м, 50 м), які формують інші джерела викидів забруднюючих речовин основного промислового майданчика №1, поглинаються більшими розмірами СЗЗ, що складають 500 м та 1000 м.

Нормативна санітарно-захисна зона підприємства в напрямку житлових забудов формується від основних крайніх джерел викидів забруднюючих речовин, розмір СЗЗ для яких становить 500 м.

Найближча житлова забудова розташована за межами нормативної санітарно-захисної зони від основних джерел викидів, які формують санітарно-захисну зону а саме:

- від крайнього основного джерела викиду дж. № 301 СПЦ №5 (сталеплавильні печі ОКБ-905 та ОКБ-1065, розмір СЗЗ для яких становить 500м);

- в південно-східному напрямку на відстані:
- 720 м по вул. Автобусній, 31 ;
- 805 м по вул. Автобусній, 11 (ДНЗ №253 «Малятко»);
- у східному напрямку на відстані:
- 1000 м по вул. Софіївській, 2а;

- від крайнього основного джерела викиду дж. №124 ділянки виробництва феромолібдену СПЦ №2 (сушильні барабани, кульовий млин, тигельна піч, дробарки щокові, розмір СЗЗ для яких становить 1000 м); :

- в південно-східному напрямку на відстані:
- 1956 м по вул. Автобусній, 31;
- 2234 м по вул. Автобусній, 11 (ДНЗ №253 «Малятко»)
- у східному напрямку на відстані:
- 2499 м по вул. Софіївській, 2а.

Таким чином, на території нормативної санітарно-захисної зони відсутня житлова забудова та прив'язані до неї об'єкти.

Санітарно-захисна зона основного проммайданчика №1 ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» витримується в повному обсязі.

На підставі матеріалів обґрунтування розміру санітарно-захисної зони основного проммайданчика №1 ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ», 19.12.2019 Державною службою України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів, виданий Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи № 12.2-18-4/28070 (Додаток 3). Нормативна СЗЗ ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» наведена на рисунку 1.4.

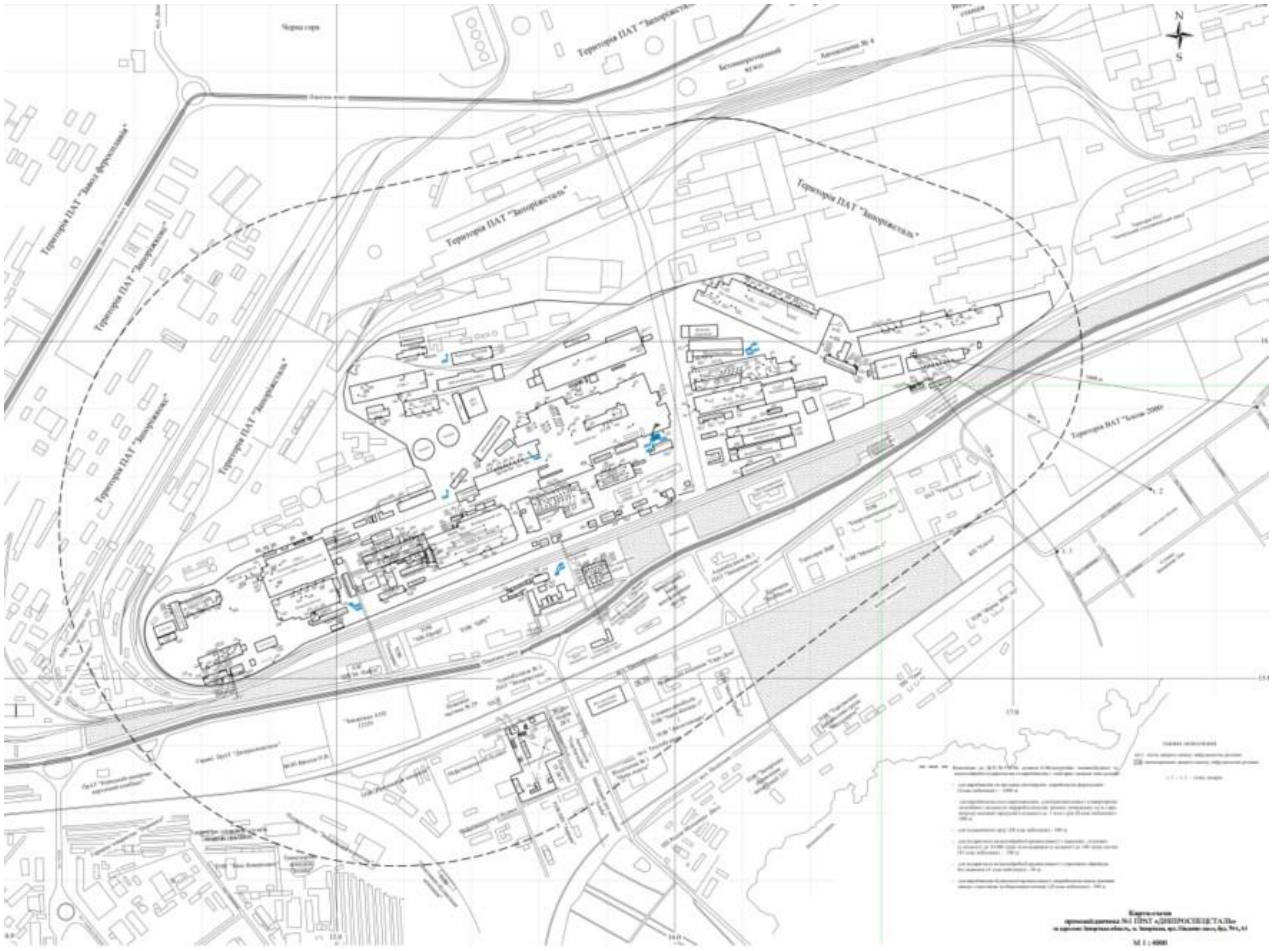


Рисунок 1.4 – Нормативна СЗЗ ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»

1.2 Технологія виробництва сталі на підприємстві

Виробничий цикл виплавлення сталі включає етапи завантаження шихтових матеріалів, плавки, продувки киснем, витримки, випуску розплаву та шлаку.

Прийом, зберігання та підготовка сировини (шихти, фероматеріалів та додаткових матеріалів) проводиться в шихтовому прольоті. В сталеплавильному цеху в пічному прольоті встановлені електродугові печі ДСП-50 №4 та № 6 для виплавлення сталі, також розташовані установка піч-ківш для доводки сталі. Через фізичний знос електродугової печі ДСП-50 №4, простій обладнання протягом останніх 5 років та низки технічних і економічних чинників керівництвом підприємства прийнято рішення про виведення з експлуатації ДСП-50 №4.

В розливному прольоті здійснюється розлив металу у виливниці, у дворі виливниць здійснюється вибивання злитків. Далі злитки подаються в передільне виробництво (прокат, ковка, калібрування). В розливному прольоті відбувається сушіння та розігрівання ковшів перед розливкою на двох газових установках «МАПЕКО», які оснащені пальниками (паливо – природний газ).

Основою шихтового балансу (від 75% до 100%) під час електросталеплавильного процесу є металевий брухт. До його якісних показників висувають суворі технологічні вимоги [1]:

- Хімічна чистота: повністю виключається присутність домішок кольорових металів, а концентрація міді та нікелю має бути зведена до мінімуму. Граничний вміст фосфору в амортизаційному брухті не повинен перевищувати 0,05%, оскільки перевищення цього ліміту призводить до суттєвого подовження тривалості рафінування та всієї плавки загалом.
- Ступінь окиснення: категорично не допускається використання сильно кородованого (іржавого) брухту. Гідрати оксидів заліза, які складають

основу іржі, є потужним джерелом надходження водню в металевий розплав, що погіршує якість готової сталі.

- Насипна щільність (габарити): шихта повинна мати високу щільність і масу (важковаговий брухт), що дозволяє здійснювати завантаження в робочий простір печі в один прийом за допомогою одного завалочного цебра (бадді). Застосування легковагового чи пакетованого брухту низької щільності змушує зупиняти процес після первинного проплавлення для додаткового підвалювання шихти, що збільшує тривалість плавки та теплові втрати через відкрите склепіння.

Використання легованих відходів власного або стороннього виробництва є ефективним інструментом енерго- та ресурсозбереження, який мінімізує витрати дефіцитних і дорогих феросплавів. З огляду на це, відходи легованих марок сталей підлягають суворому роздільному збору та зберіганню за сертифікованим хімічним складом у спеціалізованих боксах (засіках). Їх утилізують як цільову легуючу добавку під час виплавки аналогічних за маркуванням і складом сталей.

Для корегування початкового вмісту вуглецю в металошихті застосовують навуглецівачі: передільний чавун, кокс або електродний бій. Головним критерієм якості чавуну є мінімальна концентрація фосфору. З метою запобігання фосфористому забрудненню розплаву, у печі малої місткості (до 40 т) вводять не більше 10% чавуну, тоді як у великовантажних дугових апаратах його частка може сягати 25% від загальної маси завалки.

Формування шлакового режиму та проведення окиснювального періоду плавки базується на використанні специфічних допоміжних матеріалів [2]:

- для печей з основною футерівкою: Як шлакоутворювачі застосовують кускове вапно, вапняк, плавиковий шпат, боксити та шамотний бій.
- Для печей із кислою футерівкою: використовують висококремнеземистий кварцовий пісок, шамотний відхід та обмежену

кількість вапна.

- Джерела кисню (окиснювачі): для випалювання вуглецю та фосфору застосовують багату залізну руду, прокатну окалину, залізорудні котуни, агломерат, а також здійснюють пряме продування ванни газоподібним киснем.

Вимоги до шлакоутворювальних компонентів та окиснювачів в ЕСПЦ повністю корелюють із класичними стандартами сталеплавильного виробництва. Зокрема, металургійне вапно повинно містити щонайменше 90% активного оксиду кальцію, мінімальну кількість кремнезему та сірки. Обов'язковою умовою є використання свіжообпаленого вапна, оскільки при тривалому зберіганні воно гідратується і вносить у ванну печі небажаний водень.

Для залізорудної сировини визначальним є високий вміст загального заліза (на рівні 60%) за суворих обмежень щодо сірки, фосфору та кремнезему (останній суттєво знижує основність шлакової системи). Технологічно доцільно впроваджувати саме кускову руду оптимальної фракції, оскільки великі шматки здатні безперешкодно проходити крізь шар шлаку високої в'язкості й безпосередньо взаємодіяти з рідким металом.

Для фінішного розкиснення, модифікування структури та легування сталі в сучасній електросталеплавильній практиці залучають практично весь наявний асортимент промислових феросплавів, комплексних лігатур та чистих легуючих металів.

Технологічний цикл виплавки сталі в дугових електропечах (ДСП) є дискретним і складається з такої послідовності періодів:

1. Профілактичний ремонт (заправлення) робочого простору;
2. Завалка металевої та флюсової шихти;
3. Електротермічне розплавлення твердої завалки;
4. Окиснювальний етап (рафінування);
5. Відновний етап (фінішна доводка);
6. Випуск готового розплаву.

Операція заправлення полягає у відновленні зношених або локально зруйнованих ділянок вогнетривкої футерівки подини та укосів агрегату. Одразу після зливу попереднього металу з поду печі ретельно видаляють залишки рідкої сталі та відпрацьованого шлаку. На пошкоджені зони футерівки наносять (накидають) сухий магнезитовий порошок. У разі виявлення глибоких розгарів використовують спеціальні заправні суміші на основі магнезиту, зачинені рідким склом або з додаванням висококремнеземистого піску.

Основу металургійної завалки становить сталевий брухт. Для забезпечення заданого стартового вмісту вуглецю в розплав вводять навуглецівачі: передільний чавун, а також електродний бій чи нафтовий кокс. Розрахунок маси навуглецівачів виконують із умовою, щоб у печах місткістю до 25 т початкова концентрація вуглецю після розплавлення перевищувала нижню межу заданої марки сталі на 0,4-0,6%. Якщо під час плавлення планується інтенсивне використання залізорудної сировини, цей надлишок збільшують до 1,0 %.

Для дефосфорації стопів безпосередньо в період плавлення до складу завалки раціонально вводити флюсуючі добавки. Завантаження твердих матеріалів здійснюють за допомогою кранових завалочних цебер (бадей) із грейферним або секційним дном. На старих підприємствах для печей малої потужності іноді використовують підлогові завалочні машини.

Рекомендована схема пошарового укладання шихти в баддю [3]:

- нижній шар: дрібний брухт (захищає вогнетривку подину від динамічних ударів великих важких шматків);
- центральна зона: важковаговий великий брухт (безпосередньо під електроди);
- периферійна зона та верхній шар: середній та залишки дрібного металобрухту.

Висока насипна щільність завалки стабілізує електричну дугу, покращує електропровідність між шматками та прискорює проплавлення.

Для мінімізації чаду (окиснення та угару) вуглецевмісні матеріали (кокс, бій електродів) розміщують у нижній частині, під шаром великого брухту.

Після завершення завалки та закриття склепіння електроди опускають у робочу зону і подають напругу. Під впливом високотемпературної електричної дуги починається локальне проплавлення шихти безпосередньо під торцями електродів. Рідкі краплі металу стікають донизу, формуючи первинну ванну в центрі подини. Електроди автоматично заглиблюються в завалку, пропалюючи в ній вертикальні «колодязі», поперечний переріз яких становить приблизно 1,3-1,4 від діаметра самого електрода, доки не досягнуть крайнього нижнього положення. У міру накопичення рідкої сталі на подині автоматичні регулятори потужності піднімають електроди, стабілізуючи довжину дугового проміжку.

На початковому етапі трансформатор працює на максимальній потужності. Для інтенсифікації процесу нерозплавлені шматки шихти, що застрягли на укосах, механічно або за допомогою маніпуляторів зсувають у високотемпературну зону горіння дуг. На потужних великовантажних печах (місткістю від 50 т) для прискорення цього етапу впроваджують періодичне повернення корпусу (ванни) печі:

- після пропалювання перших трьох «колодязів» електроди піднімають, а корпус повертають в один бік на 40^{o} для створення нових колодязів;
- наступний поворот здійснюють у протилежний бік на 80^{o}.

Ця технологія дозволяє послідовно сформувати до 9 колодязів, що різко скорочує тривалість плавлення.

Під час розплавлення вкрай важливо забезпечити раннє наведення активного основного шлаку. Він виконує захисну функцію: ізолює рідкий метал від контакту з атмосферою цеху (попереджає абсорбцію азоту та водню) і захищає від небажаного навуглерожування від вольтової дуги електродів. Якщо вапно не було додано під час завалки, його порційно вводять безпосередньо в колодязі в кількості 1-3% від маси металу.

Паралельно з переходом шихти в рідкий стан протікають первинні процеси окиснення елементів за рахунок кисню повітря, а також оксидів заліза (окалини, продуктів корозії брухту): повністю окиснюється кремній, на 50 % вигорає марганець; частково окиснюються залізо та вуглець.

Поєднання відносно низької температури початкового розплаву та високої основності залізистого шлаку створює ідеальні термодинамічні умови для дефосфорації – вилучення фосфору у шлакову фазу.

З метою підвищення техніко-економічних показників ЕСПЦ та скорочення тривалості плавки використовують додаткові джерела енергії:

1. Газокисневі пальники (ГКП): їх монтують у стінових панелях або впроваджують через склепіння печі. Теплова енергія від спалювання природного газу в струмені кисню дозволяє зменшити витрату дефіцитної електроенергії на 10-15 % і прискорити обвалення шихти.

2. Газоподібний кисень: його вводять безпосередньо в рідку ванну після розплавлення приблизно 3/4 об'єму завалки за допомогою заглибних водоохолоджуваних фурм або витратних сталевих трубок із захисним футеруванням. Екзотермічні реакції взаємодії кисню з домішками заліза, кремнію та марганцю супроводжуються потужним виділенням внутрішнього тепла. Це прискорює розчинення залишків брухту на периферійних ділянках ванни. Загальна тривалість періоду плавлення в сучасних дугових агрегатах залежить від їхньої потужності та рівня інтенсифікації і становить у середньому 1,1-3,0 години.

Головними технологічними завданнями окиснювального етапу електроплавки є [4]:

- дефосфорація металевого розплаву до залишкових концентрацій;
- мінімізація вмісту розчинених газів (водню та азоту) в об'ємі сталі;
- підігрів ванни рідкого металу до теплового стану, що перевищує температуру ліквідуса даної марки.

Процес інтенсивного випалювання домішок реалізують шляхом подачі

твердих окиснювачів (залізорудної сировини, агломерату чи прокатної окалини) або завдяки інжекції газоподібного кисню. На початку періоду здійснюють дешустування (вилучення) від 50% до 75% первинного шлаку плавлення. Для цього агрегат нахиляють у бік робочого вікна на кут 10-12^{o}, не перериваючи подачу електроенергії. Ця операція є обов'язковою для незворотного видалення фосфору, що перейшов у шлак. Після завершення зливу у піч вводять свіжі флюси: від 1,0% до 1,5% вапна, а також (за потреби корегування в'язкості) 0,15-0,25% плавикового шпату (CaF_2), бокситу або шамотного бою.

Коли сформується рухливий гомогенний шлак, а температура металу досягне 1500-1540 ^{o}C, у ванну починають циклічно вводити порції залізорудної сировини разом із вапном. При цьому надлишок шлаку безперервно самопливом відводиться через поріг робочого вікна у шлакову чашу завдяки нахилу корпусу печі. Реакція оксидів заліза з вуглецю супроводжується бурхливим виділенням бульбашок монооксиду вуглецю (CO), що викликає ефект «кипіння» ванни та спінювання шлакового покриву. Чергову порцію руди додають лише після згасання інтенсивності кипіння розплаву. Питома витрата руди за період становить 3,0-6,5% від маси плавки. Щоб уникнути локального переохолодження ванни, маса одноразової дози твердого окиснювача обмежується лімітом 0,5-1,0% від ваги металу.

У разі використання газоподібного кисню його подають під робочим тиском 0,8-1,0 МПа крізь занурені на глибину 150-200 мм футеровані сталеві трубки або за допомогою склепінної водоохолоджуваної фурми. Застосування газифікованого кисню збільшує швидкість зневуглецювання у 3-5 разів порівняно з рудним процесом, що дозволяє скоротити загальну тривалість періоду на 20-30 хвилин. Продування триває від 10 до 20 хвилин за питомої витрати кисню на рівні 5-20 м^3/т.

Ефективна дефосфорація триває паралельно із випалюванням вуглецю. Для тривалого утримання фосфору в рідкому шлаку необхідне поєднання трьох чинників: високої основності, низької температури та підвищеної

концентрації оксидів заліза (FeO), що успішно досягається сумісним порційним введенням руди й вапна. Масообмін та перехід фосфору спрощуються завдяки постійному оновленню флюсів і перемішуванню фаз бульбашками газу.

Разом із генерацією бульбашок CO з металу інтенсивно евакуюються розчинені азот і водень. Ця дегазація має першочергове значення для електросталі, оскільки у високотемпературній зоні дуг (де температура перевищує 3000 ^{o}C відбувається термічна дисоціація молекул H_2 та N_2 на атоми, що стимулює їхнє розчинення у металі. Через це стартовий вміст азоту в ДСП зазвичай вищий, ніж у конвертерній або мартенівській сталі. Додатково кипіння вирівнює хімічний склад і температурне поле по всьому об'єму ванни.

Окиснювальний період вважається завершеним, коли концентрація вуглецю досягає нижнього ліміту для заданої марки сталі, а вміст фосфору падає нижче 0,010-0,015 %. Етап закінчують повним вилученням окиснювального шлаку за допомогою нахилу печі та механічного згрібання залізо-дерев'яними скребками. Ретельне очищення дзеркала металу від залізистого шлаку є критично важливим, інакше під час відновного періоду розпочнеться зворотний процес рефосфорації (перехід фосфору зі шлаку в сталь). Тривалість цього етапу плавки варіюється в межах від 30 до 90 хвилин.

Основними завданнями рафінувального (відновного) періоду в печі з основною подиною є [5]:

- глибоке розкиснення рідкого металу;
- десульфурація (видалення сірки);
- остаточне легування та доведення хімічного складу й температури до марочних вимог.

Ці процеси перебігають суміщено. Розкиснення сталі виконують одночасно комбінуванням методів осаджувального (прямого) та дифузійного розкиснення. Після повного видалення окиснювального шлаку здійснюють

попереднє навуглерожування металу та осаджувальне розкиснення введенням феромарганцю, кускового 75%-го феросиліцію та первинного алюмінію. Далі наводять рафінувальний білий шлак на основі вапна, шамоту, плавикового шпату та порошку кремнію, який згодом обробляють коксівним пилом. Це може призвести до формування слабокарбідного шлакового покриву.

Після цього вводять розрахункову кількість ферохрому і відновлюють оксиди хрому в шлаку шляхом троетапної присадки подрібненого феросиліцію. Кінцеве розкиснення шлакової системи перед випуском проводять сумішшю вапна, алюмінієвого порошку та деревного вугілля. Безпосередньо перед зливом виконують остаточне розкиснення сталі алюмінієм на штанзі (із розрахунку 0,05 % Al). Метал і шлак випускають в сталерозливний ківш або сумісним струменем, або з випереджальним зливом основної маси рафінувального шлаку. На деяких металургійних заводах кінцеве введення алюмінію (до 0,1% за розрахунком) здійснюють безпосередньо у ківш, фіксуючи штанги з металом на його бортах перед початком зливу сталі.

Оскільки у відновний період плавки ванна перебуває у спокійному стані (не кипить), умови для виділення газів погіршуються, тоді як вольтові дуги продовжують дисоціювати гази. За цих обставин визначальним є повне виключення потрапляння вологи у робочий простір разом із феросплавами та флюсами, а також забезпечення абсолютної герметичності водоохолоджуваних елементів печі. Усі легуючі та шлакоутворювальні компоненти перед присадкою підлягають обов'язковому термічному прожарюванню, оскільки основні шлакові системи є проникними для водню та здатні абсорбувати водяну пару.

Технологічний порядок легування розплаву визначається фізико-хімічними властивостями елементів:

- Нікель (Ni): Не має схильності до окиснення в умовах сталеплавлення. Основну його частину вводять наприкінці окиснювального

етапу, а коригування маси здійснюють у рафінувальний період. Раннє введення є технологічно обґрунтованим, оскільки електролітичний нікель містить розчинений водень, який ефективно видаляється під час кипіння ванни. При отриманні малолегованих марок сталі коефіцієнт засвоєння нікелю приймають за 100 %. Проте під час виплавки високонікелевих сплавів (із вмістом Ni 60%) до 4% елемента може випаровуватися у високотемпературній зоні електричних дуг на етапі розплавлення твердої завалки.

- Хром (Cr): Ферохром вводять на початку відновного періоду. Поява зеленого відтінку шлаку свідчить про перехід оксидів хрому в шлакову фазу. Для їх відновлення на дзеркало шлаку подають спеціальні відновні суміші, після чого він набуває світлого забарвлення. При виплавці високохромистих сталей ферохром обов'язково підігрівають, що підвищує стійкість футерівки, економить електроенергію та підвищує продуктивність печі. Середній коефіцієнт засвоєння хрому становить 98%.
- Кремній (Si): Легування здійснюють кусковим 45%-м або 65%-м феросиліцієм за 10-20 хвилин до випуску плавки з агрегату.
- Марганець (Mn): При отриманні високомарганцевистих сталей методом із окисненням феромарганець вводять на початковій стадії рафінування. У разі використання методу переплаву легування марганцем допускається виконувати безпосередньо у завалку або наприкінці плавлення.

Одразу після формування первинного шлакового покриву у відновному періоді відбирають пробу металу для експрес-аналізу на вміст C, Mn, Cr, Ni. Розрахунок присадки феромарганцю виконують на середній марочний вміст, враховуючи можливість часткового відновлення марганцю із залишків окиснювального шлаку. Протягом відновного етапу концентрацію вуглецю перевіряють кількаразово, зважаючи на постійне навуглерожування розплаву від електродів, відновного шлаку та феросплавів. Коригування вмісту вуглецю найраціональніше проводити введенням високовуглецевого ферохрому.

Для верифікації вмісту хрому відбирають дві послідовні проби з інтервалом у 20 та 25 хвилин після введення феросплаву. Якщо результати аналізів стабільні та збігаються з розрахунковими, плавку готують до випуску. Невідповідність стабільних аналізів розрахунковим даним може свідчити про похибку під час зважування металошихти. Вміст нікелю коригують на початковій стадії відновного періоду. Перед випуском плавки додатково контролюють концентрацію FeO та CaO у шлаку.

Сучасні ЕСПЦ оснащені автоматизованими системами пневмопошти для оперативного транспортування пробовідбірників та прямим зв'язком із хімічною лабораторією. Встановлені на робочих місцях телетайпи та монітори автоматично фіксують результати. Використання швидкісних спектральних і рентгеноспектральних методів аналізу дозволяє визначити повний хімічний склад металу за 1-3 хвилини, завдяки чому контроль якості не викликає затримок технологічного процесу.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика системи газоочищення на підприємстві

Станом на сьогодні у СПЦ №2 очищення технологічних газів ДСП-50 №6 здійснюється «мокрою» газоочисною установкою (ГОУ).

«Мокра» ГОУ призначена для локалізації та очищення газопилового потоку від четвертого отвору склепіння електродугової печі. Газоочисна установка «мокрого» типу включає в себе прямокутну нерегульовану трубу Вентурі з центральним форсунковим зрошенням, відцентровий краплевловлювач. Середня витрата оборотної води на зрошення горловини труби Вентурі становить 55-60 $м^3$/год, що відповідає оптимальним значенням для апаратів подібного типу. Після очищення пилогазоповітряна суміш викидається в атмосферу через димову трубу (джерело викидів №102).

До складу «мокрої» ГОУ входять такі основні елементи [7]:

- газозабірний патрубок;
- газохід «брудного» газу;
- труба Вентурі;
- циклон-краплевловлювач;
- колектор чистого газу;
- вентилятор ВМ-18А;
- димова труба (джерело викиду №102).

Уловлений в циклоні пил накопичується в бункері збору пилу, встановленому на постаменті під циклоном. Бункер збору пилу оснащується датчиками рівня (нижнім та верхнім) з виводом сигналів до шафи пиловивантаження. Розвантаження пилу з бункеру здійснюється в мішки типу «біг-бег» з завантажувальним та розвантажувальним клапаном за допомогою шлюзового живильника. Після завантаження «біг-бег» навантажувачем транспортується на вузол перевантаження пилу в

спецтранспорт підприємства для подальшого транспортування на полігон промислових відходів «Балка Середня».

Відбір пилогазоповітряної суміші одночасно виконується з кількох місць: від четвертого отвору печі, дахових зонтів ДСП-50 №6, установки печі-ковша, установок розігрівання ковшів «МАМЕКО» (2 од.).

В атмосферне повітря від стаціонарних джерел СПЦ №2 технологічні гази від четвертого отвору склепіння електродугових печей ДСП-50 №4 і №6 очищуються в газоочисних установках «мокрого» типу – скрубберах Вентурі з краплеуловлювачами, після чого надходять в атмосферу через димові труби:

- джерело викиду №101 – труба (Н = 40 м, d = 1,2 м) від ДСП-50 №4;

- джерело викиду №102 - труба (Н = 40 м, d = 1,2 м) від ДСП-50 №6.

Під час продувки киснем ДСП-50 № 4, 6 відбуваються викиди в атмосферне повітря від джерел викидів № 101, №102.

Забруднюючі речовини: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом, важкі метали: нікель та його сполуки в перерахунку на нікель, мідь та її сполуки в перерахунку на мідь, свинець та його сполуки в перерахунку на свинець, хром та його сполуки в перерахунку на триоксид хрому, манган та його сполуки в перерахунку на діоксид мангану, цинк та його сполуки (у перерахунку на цинк); оксиди вуглецю, оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту, діоксид сірки (діоксид та триоксид) у перерахунку на діоксид сірки, вуглецю діоксид.

2.2 Обгрунтування вибраного способу очищення газів

Ділянка реконструкції установки очистки газу від електродугових печей №4, №6 в рукавному фільтрі розташована у виробничій зоні діючого підприємства, на основному проммайданчику №1 на території

сталеплавильного цеху №2 (СПЦ №2) за адресою: м. Запоріжжя, Південне шосе, буд. 83.

«Суха» ГОУ відбирає технологічні гази від портальної водоохолоджувальної камери установки піч-ківш (УПК), а також локалізує неорганізовані викиди від ДСП №6, які виділяються у цех через нещільності міжелектродних проміжків і робочого вікна. За допомогою дахових зонтів пилогазоповітряна суміш аспірується вентсистемою, яка оснащена пилоочисною установкою. Пилогазоповітряна суміш після очищення викидається в атмосферу через димову трубу (джерело викиду №103).

Технологічні гази від портальної водоохолоджувальної камери установки піч-ківш (УПК), установок сушіння та розігрівання ковшів «МАПЕКО» (2 од.), а також неорганізовані викиди від ДСП-50 №4, 6, які виділяються в приміщення цеха через нещільності міжелектродних проміжків і робочого вікна, за допомогою дахових зонтів локалізуються і аспіруються вентсистемою, оснащеною «сухою» ГОУ. Пилогазоповітряна суміш після очищення в рукавному фільтрі ФРІР-7000 викидається в атмосферу через димову трубу H = 60 м, d = 3,2 м (джерело викиду №103).

Забруднюючі речовини: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом, важкі метали: нікель та його сполуки в перерахунку на нікель, мідь та її сполуки в перерахунку на мідь, свинець та його сполуки в перерахунку на свинець, хром та його сполуки в перерахунку на триоксид хрому, манган та його сполуки в перерахунку на діоксид мангану, цинк та його сполуки (у перерахунку на цинк); оксид вуглецю, оксиди азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту, діоксид сірки (діоксид та триоксид) у перерахунку на діоксид сірки, вуглецю діоксид.

До складу «сухої» ГОУ входять наступні елементи [5]:

- рукавний фільтр з імпульсною регенерацією ФРІР-7000;
- два вентилятори ВВР-22 з направляючими апаратами (один – робочий, один – резервний);

- аспіраційні дахові зонти;
- колектор пилогазоповітряної суміші діаметром 4020×8;
- газоходи діаметром 3420х8 від зонтів до колектора, змонтовані на даху цеха;
- система газовідводу від портальної камери УПК, у т.ч.: газохід діаметром 1220х8 та бустерний димосос ДН19;
- загальний газохід діаметром 3020х8 на вході у ФРІР-7000М (після з'єднання колектора та газоходу від УПК);
- двосекційні прямокутні клапани типу УМТ-1-10,0-У20 з виконавчими механізмами МЕО на ділянках газоходів між зонтами та колектором;
- клапан дросельний Ду800 на загальному газоході перед рукавним фільтром ФРІР- 7000 для підсмоктування зовнішнього повітря (відкривається автоматично при досягненні температури газів 130^{o}С);
- димова труба висотою 60 м, діаметр устя - 3,2 м (джерело викиду №103).

В таблиці 2.1 наведені вихідні дані для проєктування установки очистки газу від електродугових печей №4, №6 в рукавному фільтрі Сталеплавильного цеху №2 (СПЦ №2)» ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ» м. Запоріжжя, Південне шосе, буд. 83».

Особливістю технології електросталеплавильного процесу є використання кисневого продування на одному з етапів плавлення сталі. Це дозволяє інтенсифікувати процес окислення домішок у металі та скоротити тривалість теплового циклу та забезпечити стабільні металургійні характеристики сталі. Водночас, продування супроводжується збільшенням обсягу газів, що утворюються під час взаємодії кисню з вуглецем, а також інших супутніх компонентів газової фази.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для проєктування установки очистки газу від електродугових печей

№ п/п	Найменування	Кількість
1	2	3
1	Вихідні параметри газових потоків	Електродугова піч ДСП-50 №6 плавлення сталі (джерело викиду №102): відбір газу від 4-го отвору - 35 000 нм^3/год; температура на виході з борова - 140^{0}С; запиленість газів – 3,2075 г/нм^3; нікель – 52,91 мг/нм^3; - мідь – 18,245 мг/нм^3; свинець – 17,03 мг/нм^3; - хром – 200,55 мг/нм^3; манган – 87,58 мг/нм^3; - цинк – 17,94 мг/нм^3; оксиди азоту – 159,65 мг/нм^3; діоксид сірки – 28,90 мг/нм^3; оксид вуглецю – 389,23 мг/нм^3; вуглецю діоксид – 14930 мг/нм^3. продувка сталі киснем (джерело викиду №102*): відбір газу від 4-го отвору - 35 000 нм^3/год; температура на виході з борова - 250^{0}С; запиленість газів – 6,618 г/нм^3; нікель – 105,24 мг/нм^3 ; - мідь – 33,17 мг/нм^3; свинець – 35,75 мг/нм^3; - хром – 340,75 мг/нм^3; манган – 158,72 мг/нм^3; - цинк – 33,75 мг/нм^3;

		оксиди азоту – 164,4 мг/нм^3; діоксид сірки – 27,2 мг/нм^3; оксид вуглецю – 3386,1 мг/нм^3; вуглецю діоксид – 17660 мг/нм^3.
2	Фракційний склад пилу	Понад 10 мкм – 8%; 1-10 мкм – 32%; менше 1 мкм – 60%
3	Хімічний склад пилу	Пил з рукавного фільтра ФРІР-7000М: вуглець С – 1,85 %, сірка S – 0,47 %, фосфор Р – 0,028 %, манган Mn – 3,87 %, залізо Fe – 32,0 %, хром Cr – 8,89 %, нікель Ni – 1,83 %, мідь Cu – 0,24 %, цинк Zn – 2,0 %, свинець Pb – 0,25 %
4	Максимальна витрата газів на виході з газоочисної установки	При плавленні сталі - 415 094,4 нм^3/год; При продувці киснем – 540 000 нм^3/год.
5	Запиленість газів на виході з газоочисної установки	18,5 мг/нм^3
6	Режим роботи об’єкта	1. Електродугова піч ДСП-50 №6: - режим роботи – періодичний; - час роботи – 6144 год/рік. 2. Піч-ковш УПК: - режим роботи – періодичний; - час роботи – 4054 год/рік. 3. Установки «МАПЕКО» - 2од.: - режим роботи – періодичний; - час роботи – 6900 год/рік.

З метою забезпечення стійкої та ефективної роботи системи газоочистки в період продування, а також покращення вилучення неорганізованих викидів з робочого простору печі ДСП-6, прийнято рішення про встановлення додаткового вентилятора типу ВМ-18А-3. Це дозволяє збільшити обсяг аспірованого газу через даховий зонт. У зв'язку з цим сумарний обсяг газу, що надходить до системи газоочистки, збільшиться в період продування сталі киснем з 415 094 нм^3/год до 540 000 нм^3/год.

Технічні характеристики млинового вентилятора ВМ-18А-3:

Продуктивність	145 000 м^3/год за температури 45 ºС
Повний тиск	8200 Па
Потужність двигуна	500 кВт
Частота обертання робочого колеса	1500 об/хв

Вентилятор ВМ-18А-3 встановлюється паралельно до існуючих двох вентиляторів ВВР-22 та підключається до існуючих газоходів на сторонах всмоктування та вихлопу вентиляторів ВВР-22. Увімкнення та відключення додаткового вентилятора передбачається в автоматичному режимі до початку процесу продування киснем та після його закінчення у задані проміжки часу.

Кваліфікаційною роботою передбачається демонтаж існуючого газоходу від виходу з лежака до «мокрої» ГОУ та прокладання нового газоходу від виходу з лежака ДСП №6 до існуючого колектора аспіраційної системи від дахових зонтів ДСП-50 №6, №4 та УПК. Проєктовані газоходи прокладаються ззовні, вздовж цеху на самостійних опорах.

Проєктовані газоходи мають значну протяжність, тому проєктом передбачається установка бустерного димососу для подолання опору циклону та всього газовідводного тракту до місця підключення до існуючого колектора Ø4020. Димосос встановлюється з північного боку сталеплавильного цеху. Щоб не передавати навантаження від газоходів на димосос до комплекту поставки димососу включені гнучкі з'єднання зі сторони всмоктування та нагнітання.

Через фізичний знос електродугової печі ДСП-50 №4, простій обладнання протягом останніх 5 років та низки технічних і економічних чинників прийнято рішення про виведення з експлуатації ДСП-50 №4. Відповідно, планується виведення з експлуатації «мокрої» ГОУ, призначеної для очищення газопилового потоку від четвертого отвору склепіння електродугової печі №4 (джерело викиду №101). Виведення з експлуатації ДСП-50 №4 призведе до відсутності утворення неорганізованих викидів від ДСП-50 №4, які виділялись в цех через нещільності міжелектродних проміжків і робочого вікна, за допомогою дахового зонта аспірувались вентсистемою, і надходили на очищення в рукавний фільтр, після чого викидались в атмосферу через димову трубу (джерело викидів №103).

Існуючі джерела викидів від 4-го отвору електродугових печей №4, 6 (джерела викидів №101, 102) після впровадження проєктних рішень консервуються, і в подальшому демонтуються.

Всі відхідні гази від електродугової печі №6 направляються на рукавний фільтр з імпульсною регенерацією ФРІР-7000 з подальшим відведенням після очищення по системі газоходів в існуючу димову трубу (джерело викиду №103).

Для постійного контролю дотримання нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин на димовій трубі (джерело викидів №103) передбачено встановлення системи автоматичного контролю для визначення запиленості і вмісту оксидів азоту (оксид та діоксид азоту) у перерахунку на діоксид азоту, діоксиду сірки (діоксид та триоксид) у перерахунку на діоксид сірки, оксиду вуглецю у димових газах.

Для обслуговування приладів системи моніторингу передбачено облаштування майданчиків обслуговування на існуючій димовій трубі [9].

Робота системи пиловловлення ґрунтується, головним чином, на етапах сталеплавильного виробництва, між якими є тимчасові перерви. Електродугова піч ДСП-50 № 6 працює періодично, час роботи – 6144 год/рік. Піч-ківш УПК працює періодично, час роботи - 4054 год/рік.

Режим роботи установки «МАПЕКО» (2 од.) теж періодичний, час роботи - 6900 год/рік.

Оскільки при роботі установки «МАПЕКО» (2 од.) утворюються викиди продуктів згоряння природного газу, пил не утворюється, час безпосередньо пиловловлення визначається режимом роботи ДСП-50 № 6.

Бункер збору вловленого пилу оснащується нижнім та верхнім датчиками рівня. Розвантаження пилу з бункеру здійснюється в «біг-бегі» з завантажувальним та розвантажувальним клапаном.

Пилогазоповітряна суміш прямує на другий ступінь очищення - в існуючий рукавний фільтр ФРІР-7000М для уловлення дрібнодисперсного пилу.

Змішування газових потоків відбувається в колекторі перед рукавним фільтром. Сумарний обсяг пилогазоповітряної суміші, що надходить на очистку в рукавний фільтр в період плавлення сталі, становить 415 094,4 нм^3/год.

Для забезпечення стійкої роботи системи газоочищення в період продування киснем передбачено включення додаткового вентилятору ВМ-18А-3, що дозволяє збільшити обсяг відведення газів з 415094 до 540000 нм^3/год.

Технічні характеристики рукавного фільтра ФРІР-7000 забезпечують можливість його подальшої експлуатації після реконструкції системи очищення газів, у тому числі за умов збільшення об'єму газоповітряного потоку без погіршення ефективності фільтрації.

Технічні характеристики існуючого рукавного фільтра ФРІР-7000:

- Продуктивність по газу, що очищується, м^3/год — до 695250
- Площа поверхні фільтрації, м^2 — 7725
- Концентрація пилу на вході у фільтр, г/нм^3 — не більше 10
- Концентрація пилу на виході з фільтру, мг/нм^3 — не більше 20

- Гідравлічний опір фільтра, Па	2500
- Витрати стислого повітря, нм^3/хв	не більше 3,6
- Тиск стислого повітря, МПа	0,4 – 0,6
- Кількість фільтрувальних рукавів довжиною 5100 мм, од.	2016
- Кількість фільтрувальних рукавів довжиною 5500 мм, од.	1440
- Матеріал рукавів	Polyester PE/PE 551
- Термостійкість гранична, ºС	+150

Відповідно до технічних характеристик рукавного фільтра ФРІР-7000, концентрація пилу на виході з фільтра не перевищує 20 мг/нм^3, що відповідає чинним вимогам до очищення викидних газів у металургійному виробництві.

Фактична запиленість очищених газів на рівні не більше 18,5 мг/нм^3 була досягнута за результатами пусконалагоджувальних робіт. У перспективі, в режимі продувки, передбачається збільшення витрати газів, в наслідок встановлення додаткового млинового вентилятора, що може призводити до підвищення швидкості фільтрації. Проте, завдяки застосуванню автоматизованих систем імпульсної регенерації, фільтр забезпечує стабільну якість очищення незалежно від технологічного навантаження.

З огляду на наявний досвід експлуатації рукавних фільтрів, збереження високої ефективності очищення газів навіть у разі збільшення їхньої витрати досягається у процесі пусконалагоджувальних заходів, що передбачають:

- налаштування оптимального режиму продувки рукавів стисненим повітрям;
- забезпечення динамічної адаптації режимів регенерації до зміни об’ємної витрати газу;
- зменшення питомого гідравлічного опору фільтра та підвищення аеродинамічної стійкості системи;
- застосування високоефективного фільтрувального матеріалу PE/PE 551 (або іншого з аналогічними властивостями), що має стійкість до

термічного та механічних навантажень.

Таким чином, значення запиленості 18,5 мг/нм^3 є обґрунтованим та досяжним як у режимі плавки, так і у режимі продувки.

Викид очищеної ПГПС в атмосферу здійснюватиметься через існуючу димову трубу діаметром 3,2 м, висотою 60 м (джерело викиду № 103).

Уловлений і вибитий імпульсом стисненого повітря пил з рукавів зсипається у бункери фільтру. Вивантаження пилу з бункерів фільтру здійснюється періодично по мірі його накопичення в думпкари для подальшого транспортування на полігон промислових відходів.

Реконструкція установки очистки газу від електродугових печей в рукавному фільтрі СПЦ № 2 передбачає виведення з експлуатації скруберів Вентурі, що призведе до зменшення використання води на виробничі потреби, сприятиме скороченню об’ємів шламових стоків у споруди комплексу позамайданчикового шламовидалення ПАТ «Запорізький МК «Запоріжсталь».

2.3 Розрахунок рукавного фільтру

Початкові дані:

- витрата газу за робочих умов: $Q = 717294$ м^3/год = 199 м^3/с;
- початкова запиленість Z_1=2г/м^3;
- медіанний діаметр пилу $d_m=2{,}8\cdot10^{-6}$ м;
- температура газу $t_г$=130°С;
- динамічний коефіцієнт в'язкості $\mu=22{,}2\cdot10^{-6}$ Па·с [8];
- пористість тканини m_1= 0,2;
- питомий гідравлічний опір тканини $h=1{,}8\cdot10^5$ Па [8];
- допустимий опір фільтру Р=2 кПа;
- витрата стислого повітря $Q_В$=950 м^3/год;
- швидкість фільтрації ω_1=1,7 м/хв=0,028 м/с.

Пористість шару пилу:

$$m = 1 - 79 d_m^{0.47} = 1 - 79(2.8 \cdot 10^{-6}) = 0.8.$$

Необхідна площа фільтрувальних елементів фільтру:

$$S = \frac{Q + Q_B}{\varpi} = \frac{719294 + 950}{0.028 \cdot 3600} = 7042 \text{ м}^2.$$

Вибираємо рукавний фільтр ФРІР-7000 з площею фільтрування 7000 м^2. При діаметрі фільтрувальних рукавів D = 0,133 м і довжині l = 5,32 м площа поверхні одного рукава складе [8]:

$$S = 3.14 \cdot 0.133 \cdot 5.32 = 2.22 \text{ м}^2.$$

Необхідна кількість фільтрувальних рукавів:

$$n = \frac{7042}{2.22} = 3172 \text{ шт.}$$

Приймаємо площу рівну S=7000 м^2 і кількість рукавів 3456, що дозволить розмістити їх в шаховому порядку 16×18 (по 288 шт. у кожній секції). Загальна кількість секцій 12. Тоді, фактична швидкість фільтрації:

$$\varpi = \frac{Q + Q_B}{3600 \cdot S_1 \cdot n} = \frac{717294 + 950}{3600 \cdot 2.22 \cdot 3456} = 0.026 \text{ м/с.}$$

При втраті тиску у фільтрі ΔР = 2000 Па і фактичній швидкості фільтрування ω_1=0,02 м/с, час між регенераціями фільтру складе:

$$\tau = \frac{\rho_П (\Delta P - AB)}{A \cdot Z_1 \cdot \varpi_1}, \text{ с}$$

де А, В – коефіцієнти, які знаходяться по формулах:

$$A = \frac{817 \cdot \mu \varpi_1 (1-m)}{d_m^2 m^3} = \frac{817 \cdot 22.2 \cdot 10^{-6} \cdot 0.026(1-0.8)}{(2.8 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0.8^3} = 2.3 \cdot 10^7;$$

$$B = 0.28 \cdot 10^{-6} \cdot d_m^{0.25} \cdot m_1^3 (1-m) \cdot h^{2/3} = 0.287 \cdot 10^{-6} \cdot (2.8 \cdot 10^{-6})^{0.25} \cdot 0.2^3 \cdot (1-0.2) \cdot (1.8 \cdot 10^5)^{2/3} = 1.7 \cdot 10^7$$

$$\tau = \frac{4200(2000 - 2.3 \cdot 10^7 \cdot 1.7 \cdot 10^{-7})}{2.3 \cdot 10^7 \cdot 0.002 \cdot 0.026} = 7009c = 1{,}95 год = 117 хв = 1 год 57 с.$$

Кінцева запиленість після рукавного фільтру (приймаємо ефективність η= 99 %):

$$Z_2 = Z_1(1-\eta) = 2(1-0.99) = 0.02 г/м^3 = 20 мг/м^3.$$

У таблиці 2.2 наведено результати аеродинамічного розрахунку.

Таблиця 2.2 – Результати аеродинамічного розрахунку

№	Найменування	Q_i, м/с	D, м	$W_ф$, м/с	P, кг/м	I, м	Z	P_t, Па	P_m, Па	$P_ф$, Па
1	Броня рекуператор	25.8	1.5	15	0.18	6	-	20.25	-	1.02
	Плавний поворот 90°						0.29	20.25	5.9	
ΣP=7.57										
2	Рекуператор трійник	7.9	0.8	18.7	0.57	35		70.2		62.3
	5 плавних поворотів на 90°						0.29	70.2	1019	
	Рекуператор							1330		

ΣP=1513.4										
3	Трійник фільтр	199	4	15.8	0.8	40		99.9		20
	трійник						0.04	99.9	3.99	
	Плавний поворот на 129^{o}						2	9.99	199.8	
	Плавний поворот на 90^{o}						0.29	9.99	29	
ΣP=252										
4	Рукавний фільтр димотяг	199.5	4	15.9	0.8	15		101		7.9
	Плавний поворот на 90^{o}						0.29	101	29	
	Рукавний фільтр							2000		
ΣP=1036.6										
ΣP=3810.31+491-800=3101.31										

2.4 Етапи реконструкції системи газоочищення

Реконструкція установки очистки газу буде виконуватися в два послідовні періоди: підготовчий і основний.

Підготовчий період:

У підготовчий період виконуються наступні роботи:

- тимчасове огородження території будівництва,
- монтаж розподільної шафи, прокладка тимчасової мережі електропостачання,
- устрій протипожежного щита (поста),

- демонтаж існуючих будівель і споруд, винос інженерних мереж та технологічних комунікацій, що потрапляють у зону будівництва,

- влаштування майданчиків складування та майданчика з контейнером для збору будівельного сміття.

Основний період:

Проєктом передбачається зведення наступних споруд:

- влаштування тимчасового газоходу;
- влаштування фундаментів під опори газоходів та вентилятор;
- влаштування газоходів та опор під газоходи;
- влаштування несучих конструкцій під циклон;
- майданчик на існуючий димовій трубі та кабельна естакада з північної сторони цеху.

Земляні роботи:

Для виконання земляних робіт по розробці котлованів під фундаменти передбачається використання екскаваторів ємністю ковша 0,4÷0,65 м^3. Для розбивки існуючих бетонних покриттів та фундаментів застосовується екскаватор обладнаний гідромолотом. Розробка грунта виконується в автотранспорт на вивіз.

Особливу увагу при виконанні земляних робіт слід приділити місцям перетину з діючими підземними комунікаціями, передбачивши їх захист від пошкодження.

Основою фундаментів служить щебенево-піщана подушка товщиною 450 мм. Роботи виконуються із використанням бульдозерів і самохідних катків.

Бетонні роботи:

Передбачено виконання фундаментів під нове технологічне обладнання – вентилятор, несучі конструкції бункеру та циклону, а також фундаменти під опори газоходів.

Фундамент під вентилятор - масивного типу, монолітний.

Фундаменти під опори газоходів та кабельної естакади –

стовбчасті, монолітні, залізобетонні.

Монтажні роботи:

Для виконання робіт по зведенню опор під газоходи (окрім опор у вісях 24 і 25) передбачається застосування допоміжного автомобільного крану КС-3577, обладнаного телескопічною стрілою, Lстр. = 8,0-14,0 м.

Всі інші роботи, зокрема влаштування нового майданчика на існуючій металевій димовій трубі на позн. +32,100, а також розширення існуючого майданчика на позн. +29,000, виконуються основним монтажним краном КС-6473 із телескопічною стрілою, Lстр=10,6÷34,5 м.

Всі будівельно-монтажні роботи передбачається виконувати на підставі розроблених проєктів виконання робіт з дотриманням вимог ДБН В.2.1-10-2009 «Основи та фундаменти споруд. Основні положення проєктування», ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015 «Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі будівельних конструкцій».

До загальнобудівельних робіт передбачається приступати тільки після організації будівельного майданчика згідно з вимогами ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва» і відповідно до вимог ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці. Промислова безпека в будівництві».

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Охорона природного середовища в процесі будівництва

З метою забезпечення ефективного захисту середовища при організації будівельного виробництва передбачені наступні заходи [10]:

- машини і механізми з двигунами внутрішнього згорання, що працюють на будівельному майданчику повинні мати справні системи видалення вихлопних газів;

- витік паливно-мастильних матеріалів машин і механізмів не припустимий. У разі протікання - необхідно негайно обсипати пляму піском, а потім зібрати в герметичний контейнер, для подальшої передачі стороннім організаціям з відповідними ліцензіями для подальшого оброблення чи видалення;

- при виїзді будівельного автотранспорту з будівельного майданчику необхідно слідкувати за виконанням заходів по запобіганню забрудненню прилеглих територій та доріг;

- у літній період на автомобільних дорогах повинно виконуватися пилепригнічення поливанням водою;

- спалення сміття та відходів будівельного виробництва на будівельному майданчику заборонено;

- складування матеріалів повинно здійснюватися на спеціально відведених майданчиках з твердим покриттям;

- регулярне прибирання відходів будівельного виробництва і побутових відходів на полігон;

- вивезення побутових та будівельних відходів здійснювати спеціалізованим автотранспортом або у закритих металевих контейнерах;

- будівельне сміття і відходи будівельного виробництва повинні вивозитися в спеціально відведені для цього місця в закритих контейнерах або спеціальним транспортом, з метою запобігання розпилення сміття під час

його транспортування;

- хімічне сміття (полімерні матеріали, упаковка, посуд і т.і.) повинні вивозитись з майданчика спеціалізованим транспортом окремо від іншого будівельного сміття.

Після закінчення робіт із будівельних та демонтажних робіт на території об’єкта і на прилеглому майданчику потрібно прибрати сміття.

Загальний термін будівельно-монтажних робіт становитиме 6 місяців, в тому числі підготовчий період - 0,5 місяці.

3.2 Шумове та вібраційне забруднення під час експлуатації

Для оцінки акустичного впливу проєктованого об'єкта на навколишнє середовище виконаний акустичний розрахунок.

Акустичний розрахунок проводиться в наступній послідовності [11]:

- виявлення джерел шуму і визначення їх шумових характеристик;
- вибір розрахункових точок на території, що захищається від шуму об'єкта;
- визначення шляхів поширення шуму від джерел до розрахункових точок і втрат звукової енергії по кожному з шляхів (зниження за рахунок відстані, перешкод що екранують, смуг лісонасаджень та ін.), що впливають на поширення шуму;
- визначення очікуваних рівнів шуму в розрахункових точках;
- визначення доступних рівнів шуму в розрахункових точках.

На території підприємств, установ і організацій рівень шуму нормується згідно ДСН 3.3.6.037-99 «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Рівень шуму в житловій забудові нормується згідно з ДБН В. 1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму».

Відповідно до ДБН В.1.1-31:2013, таблиця 1, допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку, еквівалентні та максимальні рівні звуку проникаючого

шуму на території, що безпосередньо прилягають до житлових будинків не повинні перевищувати нормативних значень. Розрахунок виконаний відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.1-35:2013.

Основними джерелами шуму об'єкта проєктування є бустерний димосос (ДН-15-3 (або аналог), N=75 кВт, n=1000 об/хв – 1 од.) та млиновий вентилятор ВМ-18А-3 (або аналог), N=500 кВт, n=1500 об/хв – 1 од. розташовані зовні будівлі.

Технологічне обладнання, яке встановлюється, не перевищує при своїй роботі нормованих характеристик вібрації відповідно до ДСП 3.3.1.038-99 «Підприємства чорної металургії. Державні санітарні правила», ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

Шумові характеристики технологічного обладнання, що встановлюється на об’єкті проєктування, прийнято за паспортними даними і каталогами виробників.

Вихідні дані та результати акустичного розрахунку наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані та результати акустичного розрахунку

Джерело шуму	Октавні рівні звукової потужності, дБ, в октавних смугах із середньогеометричними частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Димосос	107	105	107	104	100	98	91	84
Вентилятор млиновий	125	124	122	126	120	118	113	106
Сумарний рівень звукової потужності ДШ (з урахуванням звукоізоляції), Lw, дБ	100	99	98	101	96	95	90	85
Відстань від РТ до акустичного центра ДШ, r, м								

РТ1	2145	2145	2145	2145	2145	2145	2145	2145
РТ2	2378	2378	2378	2378	2378	2378	2378	2378
РТ3	2668	2668	2668	2668	2668	2668	2668	2668
Фактор спрямованості шуму, Ф	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Просторовий кут випромінювання звуку, Ω	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28
Затухання звуку у повітрі βа, дБ/км	0,00008	0,0003	0,0010	0,0028	0,0052	0,0090	0,0213	0,0686
Величина зниження смугами зелених насаджень,дБ/м, βзел	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,13	0,16	0,20
Ширина смуги зелених насаджень, l, м	105							
Величина зниження рівня звуку екраном, ΔLекр, дБ	0							
ΔL(А пов) βа х r1, дБ	0,17	0,65	2,16	6,05	11,23	19,44	46,01	148,18
ΔL(А пов) βа х r2, дБ	0,19	0,71	2,38	6,66	12,38	21,42	50,69	163,27
ΔL(А пов) βа х r3, дБ	0,21	0,80	2,68	7,50	13,94	24,12	57,08	183,85
Сумарний рівень звукового тиску в РТ ДШ в L, дБ								
РТ1	21	19	14	12	0	0	0	0
РТ2	20	18	13	10	0	0	0	0
РТ3	19	17	12	9	0	0	0	0
Допустимі рівні звукового тиску за	67	57	49	44	40	37	35	33

ДСН №463 (ніч)								
Величина корекції за частотною характеристикою шкали А, дБ	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1,0	-1,1
Рівень звуку, коригований за шкалою А в РТ, дБА								
РТ1	0	3	6	9	0	0	0	0
РТ2	0	2	5	7	0	0	0	0
РТ3	0	1	3	5	0	0	0	0
Сумарний рівень звуку джерела шуму РТ, L, дБ								
РТ1	24							
РТ2	23							
РТ3	22							
Коригований рівень звуку в РТ, LA, дБА								
РТ1	13							
РТ2	12							
РТ3	11							

Аналіз результатів розрахунків рівнів шуму в прилеглій до джерел ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ», що реконструюється, житловій забудові, дозволяє зробити висновок, що всі шумові характеристики проєктованого обладнання знаходяться в межах норми, і вони не матимуть негативного впливу на навколишнє середовище і здоров'я людей.

У якості заходів, які зменшують рівень шуму, використовуються вібровставки на технологічних трубопроводах різного призначення,

дотримання оптимальних швидкостей робочих середовищ в трубопроводах, використання малошумного обладнання.

3.3 Оцінка впливу під час експлуатації установки очистки газу

Здоров’я населення, соціальне середовище – вплив екологічно допустимий.

Одним із факторів навколишнього середовища, який впливає на стан здоров’я населення, є якість атмосферного повітря. Під час експлуатації установки очистки газу після реконструкції планується зменшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Соціальний рівень ризику оцінюється як «прийнятний». Шумове навантаження, вплив вібрації та інших негативних чинників на житлові території під час експлуатації - в межах норми.

3.4 Заходи з електробезпеки

Склад основного силового електрообладнання дугових сталеплавильних печей охоплює такі вузли [12]:

- високовольтні автоматичні вимикачі потужності;
- спеціалізовані пічні трансформаторні агрегати;
- занижену шинну мережу (так звану «коротку мережу»);
- автоматизовані регулятори позиціонування (переміщення) електродів;
- електромагнітні пристрої для перемішування рідкого металу в ванні.

Виробниче середовище електросталеплавильного цеху (ЕСПЦ) характеризується високою концентрацією обладнання, що підвищує ризики травматизму внаслідок дії електричного струму. Джерелами потенційної небезпеки є: електроприводи допоміжних механізмів разом із

пускорегулювальною апаратурою, електрообладнання мостових кранів та підйомно-транспортних систем, цеховий електрифікований транспорт, зварювальні пости, системи загального й локального освітлення, а також ручний електроінструмент.

Основними чинниками, що зумовлюють виробничий електротравматизм, є конструктивні дефекти або помилки під час монтажу енергосистем, порушення правил технічної експлуатації, незадовільна ергономіка робочих місць і низька якість проведення інструктажів із персоналом. Технологічну загрозу становить імовірність випадкового дотику до відкритих струмопровідних частин захисних чи пускових приладів. Зокрема, під час обслуговування електродвигунів закритого типу існує ризик контакту з підвідними кабельними лініями в разі відсутності або пошкодження захисної кришки клемної коробки («борно») на корпусі машини.

Особливу увагу з погляду техніки безпеки слід приділити мобільним (переносним) електродвигунам, які інтегровані в ручний електроінструмент. Поява електричного потенціалу на металевому корпусі такого інструменту, через щільний і тривалий контакт із долонею оператора, створює критичну небезпеку важкого чи смертельного ураження електричним струмом.

На виробничих дільницях ЕСПЦ зосереджена значна кількість силових агрегатів, розподільних панелей, контрольно-вимірювальних приладів та комплектних трансформаторних підстанцій (зокрема, КТП на базі чотирьох трансформаторів типу ТМЗ). Для забезпечення роботи технологічного устаткування використовується трифазна напруга 380 В, а для функціонування мереж освітлення – напруга 220 В. Зважаючи на наявність струмопровідного пилу, високих температур та металевої підлоги, приміщення ЕСПЦ за класифікацією ПУЕ належить до категорії будівель із підвищеною небезпекою ураження людей електричним струмом.

Вибір режиму нейтралі джерела живлення визначається експлуатаційними умовами:

- за безаварійної (нормальної) роботи вищу безпеку демонструє трипровідна мережа з ізольованою нейтраллю,
- у разі виникнення аварійних режимів (замикання на корпус тощо) надійнішою є чотирипровідна схема з глухозаземленою нейтраллю.

Електромережі з глухозаземленою нейтраллю є безальтернативними для об'єктів, де через специфіку виробництва (екстремальні температури, висока вологість повітря, наявність агресивних парів і газів, значна протяжність кабельних ліній) неможливо тривалий час підтримувати високий опір ізоляції провідників. Крім того, вони незамінні у випадках, коли оперативний пошук і локалізація пошкоджень ускладнені, а електрична ємність мережі відносно землі є значною, що суттєво підвищує ймовірність переходу системи в аварійний стан.

З огляду на зазначені специфічні умови експлуатації електрообладнання сталеплавильного цеху, для живлення силових та аспіраційних установок обрано трифазну чотирипровідну мережу напругою 380/220 В із глухозаземленою нейтраллю.

Для забезпечення колективної безпеки та захисту персоналу від переходу напруги на неструмопровідні частини обладнання (у мережах до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю) основним технічним заходом прийнято захисне занулення. Воно гарантує швидке спрацьовування апаратів захисту (запобіжників або автоматичних вимикачів) у разі пробою ізоляції на корпус шляхом перетворення замикання на однофазне коротке замикання.

3.5 Заходи з пожежної та техногенної безпеки

Розвиток небезпечних пожежних ситуацій на металургійних об'єктах може бути зумовлений комплексом конструктивних, технологічних та людських чинників. Серед них ключовими є:

- архітектурно-планувальні прорахунки будівель та споруд;

- дефекти під час проектування й прокладання інженерних комунікацій;
- технічні несправності основного та допоміжного обладнання;
- відхилення від регламентованих параметрів технологічного процесу;
- порушення правил безпечного виконання робіт, а також халатність або низька кваліфікація персоналу;
- фізико-хімічні процеси самозайманння дисперсних матеріалів;
- вплив атмосферних факторів (блискавкозахист) та накопичення статичної електрики.

Відповідно до нормативних вимог пожежної безпеки, виробничі площі електросталеплавильного комплексу підлягають чіткому категоруванню, що наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Категорія приміщень за НАПБ

Виробнича дільниця / приміщення	Категорія за НАПБ	Технологічна характеристика середовища
Пічний та розливний прольоти	Г	Обробка та транспортування матеріалів у розпеченому або розплавленому стані, що супроводжується інтенсивним виділенням відкритого полум'я та потужних потоків променистого тепла.
Дільниця сухого очищення технологічних газів ДСП	А	Вибухопожежонебезпечна зона через ризик утворення вибухонебезпечних концентрацій горючих газів (зокрема, монооксиду вуглецю та водню) і пилозависей.

Виробнича дільниця / приміщення	Категорія за НАПБ	Технологічна характеристика середовища
Допоміжні, складські та підсобні приміщення	Д	Поводження з негорючими матеріалами та речовинами у холодному стані (низьке пожежне навантаження).

У виробничих зонах ЕСПЦ, де через специфіку інтенсифікації плавки існує ймовірність локального зростання концентрації кисню у повітрі робочої зони понад 23 %, обов'язковим є облаштування безперервної примусової вентиляції. Такі дільниці комплектують автоматичними стаціонарними газоаналізаторами. У разі перевищення критичного порогу вмісту кисню автоматика миттєво активує світлозвукову аварійну сигналізацію.

Для запобігання катастрофічному зворотному займанню або деструкції киснепроводів у випадку аварійних ситуацій на магістралях передбачають систему автоматичного відсікання з одночасною превентивною подачею в трубопроводи азоту чи іншого інертного газу-розбавлювача.

Електросталеплавильний цех оснащується інтегрованою системою автоматичної пожежної сигналізації. Вона виконує такі критичні функції:

1. раннє виявлення вогнища займання та миттєва генерація тривожного сигналу на центральний пульт;
2. активація цехових систем оповіщення та керування евакуацією;
3. формування керуючих імпульсів для відключення загальнообмінної вентиляції з метою блокування поширення кисню до вогнища пожежі;
4. запуск автоматичних систем пожежогасіння та аварійного зупину суміжного технологічного обладнання.

Найбільш економічно виправданими, надійними та поширеними в промисловості є автоматичні установки водяного пожежогасіння. Як вогнегасну речовину в них залучають розпилену струминну воду, спеціальні

водно-хімічні емульсії, а також повітряно-механічні піни низької та середньої кратності з додаванням поверхнево-активних змочувачів.

Дренчерні установки являють собою сухотрубні системи, де дренчерні зрошувачі (головки) постійно перебувають у відкритому стані. В умовах ЕСПЦ дренчерне обладнання орієнтоване переважно на створення потужних вертикальних водяних завіс по периметру окремих технологічних блоків або зон будівлі, що дозволяє локалізувати пожежу та попередити її транзит у суміжні прольоти.

Для первинного придушення локальних осередків займання персонал цеху забезпечується ручними хімічними пінними вогнегасниками (типу ВХП-10), вуглекислотними вогнегасниками марок ВВ-2, ВВ-5, ВВ-8, а також потужними пересувними вуглекислотними агрегатами типу ВВ-25 і ВВ-80, які є незамінними при гасінні електроустановок під напругою [10].

3.6 Розрахунок тепловідвідного екрану дугової печі

У межах цієї кваліфікаційної роботи запропоновано конструктивне впровадження захисного тепловідвідного екрана, що монтується безпосередньо на портальну камеру підсклепінного простору дугової сталеплавильної печі. Цей елемент призначений для ефективної локалізації, уловлювання та подальшої евакуації на газоочисні споруди як первинних технологічних пилогазових потоків, так і неорганізованих викидів, які прориваються крізь конструктивні проміжки й зазори електродних отворів.

Захисна плита екрана охолоджується шляхом безперервної циркуляції технічної води та дрібнодисперсної водяно-повітряної суміші. Застосування такого теплообмінного вузла дозволяє досягти кількох важливих технологічних ефектів:

- захист футерівки склепіння: запобігає термічному оплавленню вогнетривів склепіння печі під час екстремальних температурних стрибків у робочому просторі;

- екранування від відкритого вогню: надійно захищає конструкційні вузли від руйнівної дії факелів полум'я, що вибиваються під тиском через зазори навколо електродів;
- пролонгація ресурсу обладнання: зменшує швидкість термічного та окиснювального зносу самих графітованих електродів, суттєво збільшуючи термін їхньої безперервної експлуатації.

Гідравлічний контур екрана спроєктовано за принципом підвищеної аварійної надійності. Зокрема, площа поперечного перерізу відвідного (зливного) патрубка виконана на 40% більшою порівняно з параметрами підвідного (живлючого) трубопроводу. У разі виникнення позаштатних ситуацій чи раптового припинення подачі охолоджувального агента, порожнина екранної плити гарантовано залишається заповненою водою, а конфігурація відкритого зливу забезпечує безперешкодне та безпечне відведення утворюваної пари, запобігаючи гідродинамічним ударам і руйнуванню вузла.

Екрани встановлюють на відстані 100...400 мм від поверхні склепіння (портальної камери), внаслідок чого теплопередача конвекцією в робочу зону значно знижується. Тепловідвідне екранування поверхні печі повинне забезпечувати температуру зовнішньої поверхні екрану не вище 30...35°С .

Розрахуємо тепловідвідний екран для захисту від теплового випромінювання склепіння печі, яке має температуру 180^{o}С. Матеріал екрану – окислена оцинкована сталь. Температура проточної води 18^{o}С. Температуру екрану приймаємо 35^{o}С.

Кількість тепла, передана випромінюванням 1м^2 гарячого склепіння воді, Вт/м^2:

$$q_u = \varepsilon_{np} \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \qquad (3.1)$$

де ε_{np} – приведена міра чорноти;

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, який дорівнює 5,67 Вт/м^2·К^4;

T_1 – температура гарячого склепіння, з врахуванням зростання її при екрануванні на 30…40% , К; $T_1 = 180 \cdot 1{,}3 + 273 = 507$ К;

T_2 – температура стінки екрану, T_2=308 К.

$$\varepsilon_{пр} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}, \qquad (3.2)$$

де ε_1 и ε_2 – міра чорноти відповідно гарячого склепіння і сталевого екрану, $\varepsilon_1 = 0{,}85$, $\varepsilon_2 = 0{,}276$.

Тоді

$$\varepsilon_{їд} = \frac{1}{1/0{,}85 + 1/0{,}276 - 1} = 0{,}26;$$

$$q_u = 5{,}67 \cdot 0{,}26 \cdot \left[\left(\frac{507}{100}\right)^4 - \left(\frac{308}{100}\right)^4\right] = 841{,}4 \text{ Вт/м}^2.$$

ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі обґрунтовано та розроблено високоефективну систему вловлювання й очищення технологічних і аспіраційних газових викидів дугових сталеплавильних печей (ДСП) на основі сучасного пиловловлювального устаткування. Практичну реалізацію проєкту розглянуто на прикладі електросталеплавильного цеху (ЕСПЦ), що спеціалізується на виплавці конструкційних марок сталі. Структура головного корпусу цеху включає такі послідовні технологічні прольоти:

- шихтовий проліт (заготівля та сортування);
- бункерна естакада;
- пічний проліт;
- розподільче відділення;
- відділення безперервного розливання сталі (ВБРС).

Матеріальний баланс електросталеплавлення базується на використанні металевого брухту, передільного чавуну, флюсувальних (шлакоутворювальних) і окиснювальних компонентів, а також комплексних розкиснювачів і легуючих лігатур. Повний виробничий цикл отримання готового розплаву в ДСП охоплює три базові технологічні періоди (плавлення шихти, окиснювальний етап та рафінування/відновлення), яким передують або завершують три допоміжні операції: заправка футерівки, завалка (завантаження) матеріалів та випуск сталі.

2. У межах роботи детально проаналізовано причинно-наслідкові зв'язки та джерела утворення газопилових потоків, а також визначено кількісні та якісні параметри шкідливих викидів ЕСПЦ. Встановлено, що під час розплавлення шихти та особливо впродовж інтенсивного окиснювального періоду з дугового агрегату евакуюється значний об'єм технологічних газів, насичених високодисперсним пилом, монооксидом вуглецю, азотом, киснем та іншими токсичними сполуками. Генерація пилогазової суміші має дискретно-безперервний характер і фіксується не

лише під час ведення плавки, а й під час завалки брухту та випуску сталі в сталерозливний ківш.

3. З огляду на специфіку виділення шкідливих речовин на різних етапах плавки, у роботі доведено доцільність впровадження комбінованого способу евакуації запилених газів. Запропонована інженерна схема передбачає інтегрований відбір викидів за допомогою водяно-повітряної портальної камери, що змонтована на склепінні печі, та системи локальних зонтів:

- Зонт №1: здійснює перехоплення неорганізованих вторинних викидів над випускним отвором (льоткою) під час зливу розплаву;
- Зонт №2: уловлює аспіраційні гази під час навантаження та активного кипіння ванни.

Перерозподіл та регулювання об'ємів газу, що евакуюється від різних точок цеху, реалізується за допомогою запірно-регулювальної арматури з автоматизованими дросельними клапанами. Запилене аспіраційне повітря системою газопроводів транспортується до колектора «брудного» газу рукавного фільтра. Після глибокої санітарної очистки газовий потік за допомогою димососа виводиться крізь димар в атмосферу. Тонкодисперсний пил, затриманий фільтрувальними елементами під час імпульсної регенерації, скидається в розвантажувальні бункери і через шлюзові живильники видаляється в загальноцехову систему пилоприбирання й утилізації.

4. На основі виконаних технологічних розрахунків параметрів пилогазового потоку здійснено вибір і верифікацію пиловловлювального обладнання. До впровадження прийнято промисловий рукавний фільтр марки ФРІР-7000. Розрахункова ефективність очищення цим апаратом досягає 99%, що забезпечує кінцеву залишкову запиленість газів на рівні не більше 20 мг/м^3, повністю задовольняючи сучасні екологічні нормативи України та ЄС. За результатами аеродинамічного розрахунку всього газовідвідного тракту визначено, що сумарний гідравлічний опір газоочисної системи

становить 3101 Па, що покладено в основу вибору потужності тягодутьового обладнання (димососа).

5. У кваліфікаційній роботі ідентифіковано та класифіковано потенційні небезпечні та шкідливі виробничі чинники, притаманні мікроклімату й технології ЕСПЦ. Розроблено комплекс технічних та організаційних заходів із техніки електробезпеки, протипожежного захисту та запобігання техногенним аваріям. Додатково виконано конструктивний та теплотехнічний розрахунок параметрів охолоджувального тепловідвідного екрана дугової печі, який забезпечує надійний захист підсклепінних вузлів від термічного руйнування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Самойленко Н.М., Аверченко В.І., Байрачний В.Б. Системи технологій та промислова екологія. Ч. І. Металургійний та енергетичний комплекс : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», Лідер, 2020. 212 с.

2. Іваненко О.І., Носачова Ю.В. Техноекологія: Підручник. Київ : Видавничій дім «Кондор», 2017. 294 с.

3. Запольський А.К., Салюк А.І. Основи екології: Підручник за ред. К.М.Ситника. 3-тє вид., стер. Київ : Вища шк., 2005. 382с.

4. Апостолюк С.О., Джигирей В.С., Соколовський І.А. Промислова екологія: навч.посіб. Київ : Знання, 2012.430с.

5. Клименко М.О., Залеський І.І. Техноекологія: навч. Посібник. Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне. Київ : Видавничий центр «Академія», 2011. 256 с.

6. Клименко М.О., Залеський І.І. Техноекологія: підручник. Херсон : ФОП Грінь Д.С., 2017. 331 с.

7. Филипчук В.Л., Клименко М.О., Ткачук К.К., Проценко С.Б., Радовенчик В.М., Залеський І.І.. Промислова екологія. Рівне : НУВГП. 2013. 493 с.

8. Білявський Г. О., Бутченко Л. І. Основи екології : теорія та практика. навч. посібник. Київ : Лібра, 2004. 368 с.

9. Мельник Л.Г. Основи екології: екологічна економіка та управління природокористуванням. Суми : Університетська книга, 2006. с. 236-658

10. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : УАД, 2006. 336 с.

11. Сакун М.М., Москалюк І.В. Основи охорони праці. Навчально-методичний посібник. Херсон : «Южполиграфсервис», 2013. 67 с.

12. Зеркалов Д.В. Наукові основи охорони праці. Київ : «Основа», 2015. 934 с.