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)

Кваліфікаційна робота

на тему *«Проєкт системи мокрого очищення газів мартенівського виробництва»*

Виконав: студент *2* курсу, групи *8.1833*

спеціальності
183 Технології захисту навколишнього середовища
освітньої програми
Технології захисту навколишнього середовища

спеціалізації

(шифр і назва)
Д.Г. Кравинський

Керівник *доцент, к.т.н. Манідіна Є.А.*

Рецензент *доцент, к.т.н. Бєлоконь К.В.*
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя
2024

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 _____*другий магістерський рівень*_____
(другий (магістерський) 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*__

«____» _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____*Кравинський Дмитро Григорович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проєкт системи мокрого очищення газів мартенівського виробництва»
_____
керівник роботи _____*Манідіна Євгенія Анатоліївна*_____*к.т.н, доцент*____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *"28"02* 2024 року *№ 359-с*
2. Строк подання студентом роботи _____*06.12.2024*_____
3. Вихідні дані до роботи *розробити "мокру" систему очищення відхідних газів від мартенівських печей, запронувати метод утилізації шламів системи газоочищення: котел-утилізатор, скрубер Вентурі, димотяг, димова труба*_____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Вступ. Хід ведення технологічного процесу виплавлення сталі в мартенівських печах. Пилогазові викиди при виробництві сталі в мартенівському виробництві. Аналіз способів знешкодження газів, що відходять від мартенівських печей. Обґрунтування вибору газоочисної установки. Характеристика стічних вод у мартенівському виробництві. Розрахунок схеми очищення газів від мартенівських печей. Розрахунок схеми зворотного очищення стічних вод. Охорона праці та техногенна безпека. Економічна частина. Висновки. Перелік джерел посилань.*_____
_____
_____
_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційний матеріал на 10 слайдах (на 10 сторінках): основні апарати газоочищення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 2	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 3	*Манідіна Є.А., доцент*	
Розділ 4	*Манідіна Є.А., доцент*	
Нормоконтроль	*Вагін А.В., доцент*	

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Загальна частина*		
3	*Спеціальна частина*		
4	*Охорона праці та техногенна безпека*		
5	*Економічна частина*		
6	*Презентація*		

Студент _____ *Дмитро КРАВИНСЬКИЙ*

Керівник роботи _____ *Євгенія МАНІДІНА*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 73 с., 9 табл., 7 рис., 13 джерел

МАРТЕНІВСЬКЕ ВИРОБНИЦТВО, МАРТЕНІВСЬКА ПІЧ, КОТЕЛ-УТИЛІЗАТОР, РЕГЕНЕРАТОР, СКРУБЕР ВЕНТУРІ, СТРОК ОКУПНОСТІ

Об'єкт дослідження – виробництво сталі в мартенівських печах.

Предмет дослідження – система газоочищення відхідних газів від мартенівських печей.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити "мокру" систему очищення відхідних газів від мартенівських печей, запронувати метод утилізації шламів системи газоочищення.

Розглянуто технологічний процес виплавки сталі, проаналізовано характеристики відхідних газів мартенівського виробництва, а також обґрунтовано вибір системи газоочистки. Запропонована система газоочистки забезпечує високу ефективність очищення, досягаючи кінцевого вмісту пилу у відхідних газах не більше 50 мг/м^3.

Описано склад і особливості очищення стічних вод, які утворюються в процесі газоочистки, та наведено характеристику обладнання.

Проведено розрахунки технологічної схеми обробки газів. Запропоновано використання котла-утилізатора типу КУ-100-1 для виробництва перегрітої водяної пари за рахунок тепла відхідних газів мартенівських печей. До технологічної схеми також включено скрубер Вентурі.

В результаті запропонованих заходів щодо очищення газів мартенівського цеху можливо отримати річний економічний ефект у розмірі 4921139,8 тис. грн.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8
1.1 Процес виплавки сталі в мартенівських печах 8
1.1.1 Сировинні матеріали для виплавки сталі в мартенівській печі 9
1.1.2 Хід ведення технологічного процесу 10
1.2 Пилогазові викиди при виробництві сталі в мартенівському виробництві 13
1.3 Аналіз способів знешкодження газів, що відходять від мартенівських печей 14
1.4 Обґрунтування вибору газоочисної установки 16
1.5 Характеристика стічних вод у мартенівському виробництві. Очистка стічних вод та обладнання 18
1.5.1 Радіальні відстійники 21
1.5.2 Устрій відкритого гідроциклону та флокулятора 22
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 25
2.1 Розрахунок схеми очищення газів від мартенівських печей 25
2.1.1 Розрахунок котла-утилізатора 25
2.1.2 Розрахунок апарата газоочищення – скрубера Вентурі 28
2.1.3 Розрахунок аеродинаміки газового тракту системи газоочистки 38
2.1.4 Розрахунок димової труби 43
2.2 Розрахунок схеми зворотного очищення стічних вод 47
2.2.1 Розрахунок обладнання для приготування розчину флокулянта 47
2.2.2 Розрахунок складського приміщення для зберігання флокулянта 50
2.2.3 Розрахунок радіального відстійника 50
2.3 Утилізація мартенівських шлаків 53
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 54
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів 54
3.2 Заходи з поліпшення умов праці 57
3.3 Виробнича санітарія 58

3.4 Електробезпека 59
3.5 Пожежна безпека 60
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 62
4.1 Розрахунок капітальних вкладень 62
4.2 Розрахунок експлутаційних витрат 64
4.3 Техніко-економічне обґрунтування рішень, прийнятих в проекті 68
ВИСНОВКИ 71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 72

ВСТУП

Надходження викидів шкідливих речовин у повітряне середовище виробничих приміщень в атмосферу – результат недосконалості технологічного і транспортного обладнання, в першу чергу, його негерметичності, а також відсутності чи недостатньої ефективності пиловловлюючих і локалізуючих пристроїв та аспіраційних систем.

Забруднення повітря призводить до суттєвих економічних збитків. Підвищена запиленість та загазованість у виробничих приміщеннях знижують ефективність праці та спричиняють збільшення кількості захворювань, що веде до втрати робочого часу. У ряді галузей наявність пилу в повітрі негативно впливає на якість продукції та сприяє швидкому зношенню обладнання [1].

Підприємства чорної та кольорової металургії відповідають за 20–25 % загального обсягу викидів у атмосферу, а в регіонах із великими металургійними заводами цей показник сягає 50 %. Зважаючи на це, у галузі здійснено значні заходи для збільшення кількості газоочисного обладнання та покращення його ефективності. Завдяки цьому в ряді міст і промислових зон вдалося стабілізувати або зменшити обсяги шкідливих викидів навіть на тлі зростання промислового виробництва та його інтенсифікації [2].

Аналізуючи водне господарство підприємств металургії, машинобудування та металообробки, варто відзначити їх спільну рису: вода використовується для роботи з металом, що призводить до утворення стічних вод зі схожими характеристиками. Це можуть бути нагріті води, що утворюються під час охолодження обладнання та металу; забруднені води від систем газоочистки; стоки із знежирювальних розчинів або агресивні від травлення металів та гальванічних процесів. Така ситуація змушує комплексно підходити до вирішення проблеми, враховуючи досвід різних галузей.

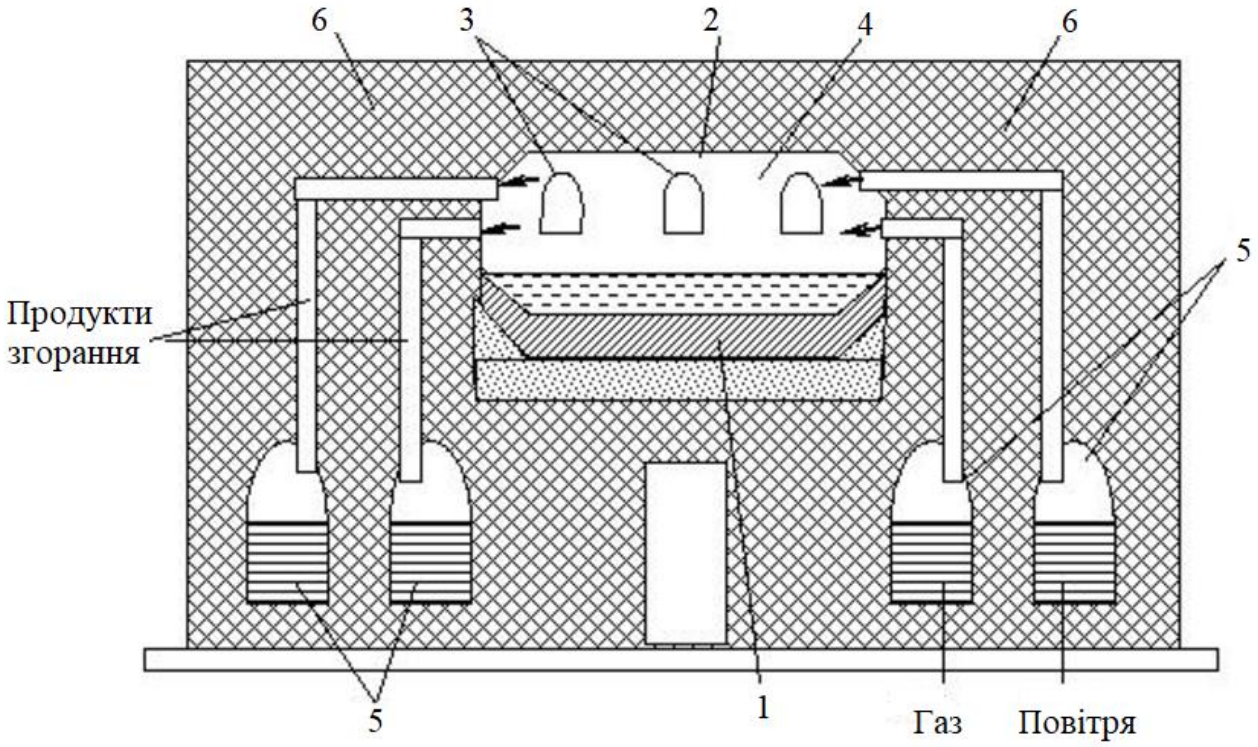
Проблема є особливо актуальною, оскільки витрати води на таких підприємствах займають друге місце після теплоенергетики, а рівень забруднення, яке вони створюють, значно перевищує інші галузі.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Процес виплавки сталі в мартенівських печах

Мартенівська піч (рис. 1.1) є складним технічним устаткуванням, що включає в себе такі основні частини: верхню частину, яка містить робочий простір і головки печі, та нижню, що об’єднує конструкції опори, регулюючі механізми, регенератори й газопроводи.

Паливо та повітря подаються з правого боку печі, а продукти згоряння виходять через ліву сторону. Повітря, проходячи через насадки регенераторів, нагрівається до температури 1000-1200 ºС і, перебуваючи в цьому стані, через головку потрапляє у робочий простір печі. При згорянні палива формується полум’я з температурою 1800-1900 ºС, яке забезпечує необхідні умови для процесів горіння та виплавки сталі.



1 – під; 2 – склепіння; 3 – завантажувальні вікна; 4 – робочий простір; 5 – регенератори; 6 – головки

Рисунок 1.1 – Мартенівська піч

Робочий простір печі має під, що утворює ванну разом із поздовжніми та поперечними нахилами. Ця ванна необхідна для накопичення розплавленого

металу та шлаку. Верхня частина робочого простору обмежена склепінням, торці – головками, а бокові сторони – передньою та задньою стінками. Передня стінка виходить на робочу площадку, де виконуються всі основні операції, пов’язані зі сталеварінням. Для завантаження матеріалів і обслуговування печі в цій стінці передбачені завалочні вікна, а біля основи – отвори для зливу шлаку після плавки.

Задня стінка печі має похилу конструкцію для підвищення стійкості до розмивання шлаком і кращого утримання матеріалів. У найнижчій точці подини, напроти середнього вікна, розташований випускний отвір, який використовується для зливу розплавленого металу.

1.1.1 Сировинні матеріали для виплавки сталі в мартенівській печі

Для виплавлення сталі у мартенівскій печі використовують наступні сировинні матеріали:

- металеві шихтові матеріали: сталевий брухт, пакети легковажного брухту, скрап, брикетована стружка, обрізь слябів і листів, чавунний брухт та ін.;

- окислювачі: залізна руда, окалина прокатного виробництва тощо;

- розкислювачі і легуючі добавки: феромарганець, феросиліцій, алюміній, кременисті відходи тощо;

- вапно, вапняк, боксит;

- заправні матеріали: доломіт сирий, доломіт обпалений, магнезитовий порошок, порошок для торкретування.

У мартенівському цеху здійснюється виплавка сталі за скрап-рудною технологією. Завдяки наявності доменного цеху на комбінаті для плавки використовується рідкий чавун, що значно спрощує процес. Чавун транспортується з доменного цеху в міксерне відділення, де він зберігається у міксерах перед подачею до сталеплавильних печей.

Для забезпечення якісного процесу рідкий чавун повинен відповідати встановленим вимогам: його хімічний склад має містити 0,6–0,9 % кремнію

(Si), не менше 0,3 % марганцю (Mn), а вміст сірки (S) не повинен перевищувати 0,04 %. Шлак у ковшах повинен мати товщину не більше 50 мм, щоб мінімізувати його негативний вплив на якість сталі.

Температура рідкого чавуну у міксері підтримується в межах 1320–1380 ºС. Це досягається шляхом періодичного регулювання подачі палива до пальників. Якщо рівень сірки в чавуні перевищує допустимі межі, здійснюється примусове видалення (злив) шлаку з міксера. Це дає змогу знизити вміст сірки та забезпечити оптимальні умови для подальшої обробки металу.

Окрім цього, ретельний контроль над процесами транспортування, зберігання та обробки чавуну допомагає підтримувати стабільність параметрів виробництва, що є ключовим для отримання високоякісної сталі.

1.1.2 Хід ведення технологічного процесу

Технічний процес виробництва сталі в печі включає в себе кілька етапів: заправка печі, завантаження шихти, заливка чавуну, плавка шихти, завершення плавки, розкислення, легування і випуск сталі з печі.

Заправка печі. Після випуску сталі піч оглядають. Під час плавки частини задньої і передньої стінок, а також нахили печі, що контактують зі шлаком, часто піддаються певному впливу цього шлаку, тому зазвичай потрібно профілактичне обслуговування за допомогою фасувальних машин. В пошкоджені місця закидається наповнювач (доломіт або магнезит). Ця операція проводиться обов’язково після кожної плавки. Операція заправлення печі залежно від розмірів печі та умов проведення операції триває від 10 до 30 хв [2].

Завалка шихти. При продуванні ванни киснем засипка шихти проводиться в наступному порядку: влотки насипається легкий лом, потім вапняк, лом, обрізки злиткі, тощо. Шихта рівномірно висипається на ванну.

Завалку всіх шихтових матеріалів необхідно проводити як можливо швидше при максимальному тепловому навантаженні без зниження температури склепіння печі нижче 1500 °С.

Для забезпечення швидкого заливання чавуну з наступним енергійним протіканням реакцій у ванні й спуском шлаків необхідний обов'язковий прогрів шихти без закозлення й місцевого її розплавлювання. Прогрів вважається закінченим при невеликому осіданні шихти, легкому оплавленні крайок і зникненні плям на поверхню лома.

Заливання чавуну. Заливання чавуну проводиться « під факел» через два жолоби, які установлені у крайні завалочні вікна. Тривалість заливання не більш 25 хвилин. Вся необхідна для заливання кількість чавуну подається до печі одночасно.

Плавлення шихти. Після завершення зливу чавуну в піч починається продувка ванни киснем. На першому етапі кисневі фурми обережно опускають, щоб уникнути їх пошкодження. У міру плавлення шихти та зниження рівня металу фурми опускають глибше, так щоб вихідні сопла фурм опинилися на 50-100 мм нижче рівня розділу шлак-метал. Приблизно через 10-15 хвилин після завершення зливу чавуну розпочинається процес видалення шлаків. Це важливий етап, оскільки своєчасне видалення шлаків забезпечує їх необхідну основність, максимальне очищення металу від сірки та фосфору, а також мінімальні втрати заліза. Тривалість цього процесу оптимально становить 30–40 хвилин, а видалення шлаків проводиться через поріг середнього завалочного вікна.

У фінальній стадії плавлення, за 20–30 хвилин до повного розплавлення ванни, беруть попередню пробу металу для визначення вмісту вуглецю та сірки. Якщо аналіз показує, що вміст вуглецю буде нижчим за встановлену норму для конкретної марки сталі, допускається доливання рідкого чавуну. Однак його обсяг не повинен перевищувати 5 % від загальної ваги садки, щоб уникнути перевантаження печі та ковшів.

Ознакою повного розплавлення ванни є зникнення місцевого бурління на її поверхні, поява активного, рухомого шлаку потрібної основності та нагрівання металу до температури 1540-1570 °С. Товщина шару шлаку, що залишається в печі до моменту завершення плавлення, повинна становити 60–100 мм.

Після розплавлення беруть контрольні проби металу та шлаків. У металевих пробах визначають вміст вуглецю, марганцю, сірки, фосфору, а за необхідності – нікелю, хрому та міді. У шлакових пробах аналізують вміст закису заліза та рівень основності. Це дозволяє перевірити якість процесу та скоригувати склад отриманої сталі, забезпечуючи відповідність її хімічним характеристикам та технологічним вимогам.

Етап доведення плавки. Операцію, під час якої за рахунок підсадки залізної руди або продувки досягається інтенсивне кипіння металевої ванни, зазвичай називають «поліруванням». У ході цієї операції, завдяки зливу шлаків, з ванни ефективно видаляється фосфор. Одночасно з цим, поступове додавання вапна сприяє формуванню високоосновного шлаку, а температура ванни підвищується, створюючи оптимальні умови для видалення сірки.

Для кращого видалення сірки та фосфору в період доведення металу потрібно видалити шлаки в обсязі не менше чверті чаші. Ця процедура є важливим етапом для очищення металу та формування його остаточного хімічного складу.

Основна мета періоду чистого кипіння – забезпечити нагрівання металу до необхідної температури та довести склад металу і шлаку до нормативного рівня перед розкисленням. У печах, де використовується продувка ванни киснем, початок цього періоду визначається утворенням рідкого, активного шлаку. Тривалість періоду чистого кипіння варіюється від 30 до 60 хвилин. У цей час температура металу поступово зростає, але не повинна перевищувати температури, встановленої для випуску сталі.

Таким чином, полірування і чисте кипіння є ключовими процесами, що забезпечують якісне очищення металу, стабілізацію складу шлаку та підготовку сталі до наступних технологічних операцій.

Розкислення й легування. Кипіння металевої ванни припиняється, коли в неї додають розкислювачі та легувальні елементи. Послідовність їх введення та час витримки металу в печі регламентуються спеціальною технологічною інструкцією, яка діє на підприємстві.

При розкисленні сталі будь-якої марки подача кисню у факел завершується до моменту випуску плавки. Розкислювачі вводяться в ківш у певному порядку: спочатку феромарганець, потім силікомарганець, а далі феросиліцій.

Випуск сталі. Сталевипускний жолоб монтується на піч до початку заливання чавуну. За 30 хвилин до випуску металу під жолоб розташовують ковші. Випускний отвір перед процесом випуску плавки очищають від заправних матеріалів і ретельно обробляють. Тривалість випуску плавки становить 7-15 хвилин.

Для низьколегованих, спокійних, напівспокійних марок сталі, а також для сталі, що не старіє, проводять продувку аргоном з метою вирівнювання хімічного складу та температури перед випуском. Після цього метал витримується в ковші протягом 15-20 хвилин перед початком процесу розливання.

1.2 Пилогазові викиди при виробництві сталі в мартенівському виробництві

Мартенівське виробництво, хоча й є важливим етапом у процесі виплавки сталі, має значний вплив на довкілля. Основними джерелами забруднення є викиди в атмосферу, забруднення повехневих вод та утворення великої кількості твердих відходів.

При виплавці сталі в мартенівській печі димові гази утворюються в результаті згоряння палива, нагріву і розкладання сипучих матеріалів і окислення вуглецю шихти. Мартенівські печі виділяють значну кількість шкідливих газів, зокрема оксиди азоту (NOx), діоксид сірки (SO_2), вуглекислий газ (CO_2) та пил.

У мартенівських печах кількість газів, що потрапляють на газоочистку через підсоси в газовому тракті, в 1,5–2 рази перевищує обсяг газів, утворених у самій печі, і становить близько 140–200 тис. м³/год. Газ у робочому просторі печі рухається зі швидкістю до 1,5–2 м/с при температурі близько 1750 ºС.

Після проходження через регенератори, газ направляється в котел-утилізатор, де знижує свою температуру до 220–250 ºС завдяки утилізації тепла. Відпрацьовані гази містять значну кількість пилу, викиди якого варіюються в залежності від етапів плавки: прогрівання шихти, розплавлення та доведення. Фізико-хімічний склад пилу наступний: 5,65% FeO, 84,63% Fe2O3, 0,7% Al2O3, 5% CaO, 1,45% MgO, 1,14% SiO2, 2,65% S, 1% MnO, 0,78% C. Дисперсія пилу змінюється залежно від інтенсивності продування киснем у ванні (табл.1.1).

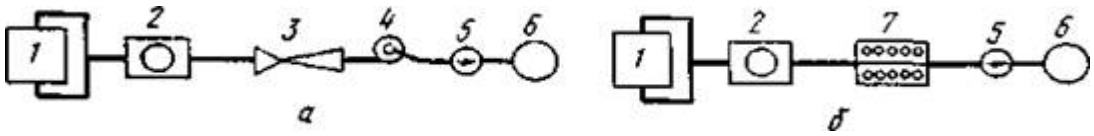
Таблиця 1.1 – Дисперсний склад мартенівського пилу

Розмір частинок, мкм	< 1	1...5	> 5
Вміст, %	60	34	6

Щільність мартенівського пилу становить 4,5-5 г/м³, а насипна щільність - 1,5 г/м³. Питомий електричний опір пилу змінюється в залежності від температури та вологості газів. При температурі від 20 до 300 ºС і вологості димових газів, що відповідає точці роси 18-60 ºС, питомий електричний опір пилу пилу варіюється від 10^7 до 10^{10} Ом. Розчинність пилу у воді становить 5-12%. Середній хімічний склад відпрацьованих газів мартенівських печей, що працюють на збагаченому кисневому дутті, виглядає так: 10,5-15,1% CO_2, 16-16,5% H_2O, 62,3-66,1% N_2, 6,5-7,1% O_2. Якщо піч працює на природному газі, в димових газах може міститися до 110 мг/м³ оксидів сірки та 200-400 мг/м³ оксидів азоту.

1.3 Аналіз способів знешкодження газів, що відходять від мартенівських печей

Відхідні гази від мартенівських печах очищаються на установках двох типів, а саме: сухого очищення – в електрофільтрах і мокрого очищення – в скрубері Вентурі (рис.2).



а – «мокра» система очищення в скрубері Вентурі; б – суха схема очищення в електрофільтрах; мартенівська піч; 2 – котел-утилізатор; 3 – труби Вентурі; 4 – краплевловлювач; 5 – димотяг; 6 – димова труба; 7 – електрофільтр

Рисунок 1.2 – Типи систем газоочищень мартенівського виробництва

Ефективність обох типів апаратів майже однакова: в обох випадках можна знизити концентрацію пилу у газах до рівня 50 мг/м³, що відповідає санітарним стандартам. Для очищення використовують різні типи електрофільтрів, зокрема пластинчасті горизонтальні фільтри. При швидкості газу 1,3 м/с ці фільтри забезпечують ефективність очищення на рівні 98-99 %, з залишковим запиленням 60-80 мг/м³, при перепаді тиску 2,0 кПа. Більшість печей обладнані котлами-утилізаторами, оскільки гази мають високу температуру (приблизно 750 ºС).

Існують індивідуальні та централізовані системи очищення: в індивідуальній системі фільтр обслуговує одну піч, а в централізованій – групу печей. Централізовані системи мають перевагу в меншій площі і рівномірному відборі тепла, але потребують герметизації частини газоходу, що знаходиться під тиском. Індивідуальна система зручніша, бо дозволяє поєднати ремонт фільтра з ремонтом печі, але потребує для кожної печі окремої газоходи і фільтри.

Ефективність очищення газів багато в чому залежить від електричного режиму роботи фільтра, при цьому спосіб опалення печі на результат практично не впливає. Вищий струм і напруга на фільтрі забезпечують кращу ефективність очищення.

Скрубери Вентурі широко використовуються завдяки компактним розмірам, простоті монтажу та обслуговування. Вони включають трубу Вентурі

та циклон-краплевловлювач, і можуть бути скомпоновані в групу для очищення великих об’ємів газу.

Скрубери Вентурі ефективно очищають гази (до 99%) від дрібнодисперсного пилу, але мають високий гідравлічний опір (до 10 кПа і більше) і значний краплевинос. Вони належать до енергомістких апаратів.

Газові потоки після охолодження в котлі-утилізаторі надходять до труб Вентурі. Можуть використовуватися труби з круглим або прямокутним перетином горловини. Труби з круглим перетином потребують вимикання частини з них при варіації кількості газів під час плавки, тоді як прямокутні труби дозволяють більш гнучко регулювати роботу системи очищення завдяки можливості налаштування перерізу горловини.

Для відловлювання крапель часто застосовують прямоточні циклони або відцентрові скрубери. Окрім індивідуальних газоочисток для кожної печі, існують централізовані установки для кількох печей. Така установка може включати три блоки: два робочих і один резервний. Кожен блок обслуговує певну кількість печей і складається з порожнистого скрубера для охолодження газів, труб Вентурі та відцентрових пило- та краплеуловлювачів.

Централізоване очищення займає менше простору і є більш економічно вигідним, ніж індивідуальне, оскільки знижуються експлуатаційні витрати. Техніко-економічний аналіз показує, що при однаковій ефективності очищення мокра система очищення має нижчі капітальні витрати, а використання електрофільтрів забезпечує менші експлуатаційні витрати.

1.4 Обґрунтування вибору газоочисної установки

Як уже зазначалося, обидва методи очищення газів мартенівських печей (за допомогою сухих електрофільтрів та скруберів Вентурі) забезпечують високий рівень очищення від дрібнодисперсного пилу. Однак при виборі між ними віддається перевага сухим методам. Вони не потребують складних і дорогих систем водопостачання та шламової каналізації, спрощують утилізацію зібраних відходів, знижують корозійний знос обладнання та трубопроводів,

споживають менше електроенергії і води, а також зменшують викиди шкідливих газів в атмосферу.

Мокрі системи, з іншого боку, мають простішу конструкцію і меншу вартість, займають менше місця, добре працюють при високих температурах і вологості газів і здатні уловлювати не тільки тверді частинки, але й пари та гази.

У мартенівському процесі для прискорення плавки вводиться кисень, що спричиняє різке підвищення концентрації і дисперсії часток у відхідних газах, а також зниження їх вологості (до 40-60 г/м³). Це ускладнює очищення в електрофільтрах, що вимагає додаткових заходів для зволоження газів, таких як застосування хімічних реагентів.

Мокрі пиловловлювачі мають свої недоліки, зокрема утворення шламу як відходів, потребу в організації замкнутого водопостачання, а також відкладення в обладнанні та трубопроводах через охолодження газів до точки роси. Волога в газах може пошкоджувати стінки димових труб і погіршувати умови для викиду пилу та шкідливих газів у атмосферу.

Таким чином, при виборі системи очищення для мартенівських печей, через великі розміри електрофільтра, більш доцільним є використання системи з скрубером Вентурі, особливо якщо є можливість підключення до існуючої водопостачальної мережі, що значно підвищує рентабельність мокрого очищення.

Відхідні гази з мартенівської печі мають високу температуру (після регенераторів близько 700 ºС). Щоб ефективно використовувати тепло від газів, перед скрубером Вентурі встановлюється котел-утилізатор, який за рахунок виробництва водяної пари знижує температуру газів до 200-250 ºС. Отриману пару можна використати для потреб підприємства.

При очищенні газів зі змінним витратами в скруберах Вентурі застосовують двоступеневу систему для видалення вологи: на першому етапі використовуються краплевловлювачі ударно-інерційного типу для вловлювання основної кількості рідини, а на другому етапі для тонкого очищення використовуються циклонні сепаратори.

Система газоочистки для технологічних газів мартенівських печей включає кілька основних компонентів: блок труб Вентурі з бункером-краплевловлювачем, прямоточний циклон-краплевловлювач, димотяг та димову трубу.

Принцип роботи скрубера Вентурі полягає в тому, що труба Вентурі складається з конфузора, в якому встановлений зрошувальний пристрій, горловини, де відбувається осадження часток пилу на водяних краплях, та дифузора, де відбувається коагуляція часток і відновлення частини тиску, витраченого на створення швидкості газу в горловині. В первинному бункері-краплевловлювачі частинки осідають завдяки інерційним силам, коли газовий потік змінює напрямок на 180 ºС. Вловлений продукт видаляється через гідрозатвор, розташований у нижній частині бункера.

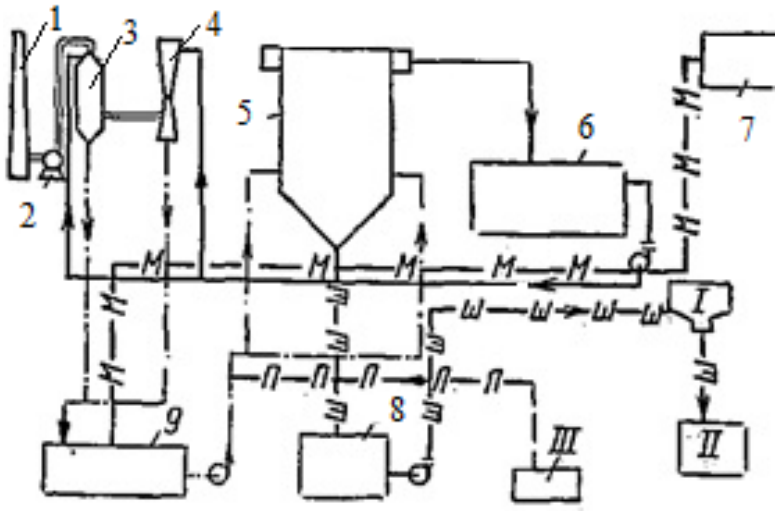
У краплевловлювачі з тангенціальним введенням газу створюється обертальний рух потоку, завдяки чому частки пилу осідають на стінках і безперервно видаляються як шлам. Для більш ефективного використання води в системі очищення газів мартенівських печей застосовується оборотний цикл водопостачання.

1.5 Характеристика стічних вод у мартенівському виробництві. Очистка стічних вод та обладнання

У стічних водах, що надходять з системи газоочистки мартенівських печей (рис. 1.3), до 80 % часток складають пилові частинки розміром від 0,1 до 0,07 мм, а близько 20 % – частки розміром від 0,07 до 0,01 мм. Витрати води для очищення газів становлять від 0,3 до 0,8 л/м³ газу, що еквівалентно витратам води 1,6...4,2 м³ на тонну виплавленої сталі. Середня концентрація твердих частинок у стічних водах дорівнює 3 г/л, а максимальна – до 17 г/л, при цьому 93 % цих частинок складаються з оксидів заліза [6-8].

При виборі методу обробки води основним критерієм є її фазовий стан. Вибір способу очищення води, типи та розміри очисних споруд визначаються складом і властивостями стічних вод, їх витратою, розмірами підприємства та

іншими факторами, а також вимогами до якості очищеної води. Процес очищення стічних вод спрямований на усунення або зменшення вмісту шкідливих речовин. Це складний технологічний процес, що включає сировину (стічні води) та готовий продукт (очищену воду).



1 – димова труба; 2 – димосос; 3 – скрубер; 4 – труба Вентурі; 5 – відкритий гидроциклон; 6 – ємність для очищеної води; 7 – установка для приготування розчинів для нейтралізації та коагуляції води; 8 – ємність для прийому шламової пульпи; 9 – ємність для прийому стічних вод; I – згущення шламової пульпи; II – зневоднення шламу; III – приготування розчину поліакриламіду; трубопроводи: м – вапняне молоко; п – поліакриламіду; ш – шлакова пульпа; суцільна лінія освітлена вода, пунктирна - забруднена вода

Рисунок 1.3 – Принципова схема водопостачання газоочисток сталеплавильних агрегатів

У мартенівському виробництві для осадження частинок в результаті нейтралізації використовують радіальні відстійники та гідроциклони, які розраховані на обробку стічних вод протягом не менше 2 годин при pH від 7,5 до 8,5. У деяких випадках можуть бути використані флотатори, де осад виділяється на поверхні води.

Після процесу відстоювання (чи флотації) осад транспортується для подальшого зневоднення на спеціальні шламові майданчики, що мають дренаж. Такі майданчики можуть бути влаштовані як на відкритому повітрі, так і в закритих приміщеннях із системою видалення осадів.

Для прискорення процесу очищення води у відстійниках та гідроциклонах часто використовують флокулянти (коагулянти) або попередню обробку води в магнітному полі. На сьогодні в основному застосовують синтетичні коагулянти, такі як поліакриламід, які утворюють колоїдні пластівці, що швидко осідають, захоплюючи частинки суспензії. Обробка води магнітним полем допомагає створювати агрегати з феромагнітних частинок, що збільшує їх розмір і полегшує процес розділення часток. Досвід застосування трьохполюсних магнітних систем у газоочистці показав, що магнітна обробка значно покращує освітлення води.

Очищення стічних вод у мартенівських печах здійснюється механічним методом відстоювання у радіальних відстійниках. Швидкість осадження часток залежить від етапу роботи печі, оскільки періоди завалки і підігріву характеризуються повільнішим осадженням, а в періоди плавки осадження прискорюється.

Для інтенсифікації процесу освітлення води застосовують коагуляцію з використанням поліакриламіду або магнітного поля, що підвищує гідравлічне навантаження на відстійники до 1,5 м³/год·м² і більше. Очисні споруди для оборотного циклу призначені для очищення стічних вод і зневоднення шламу, що утворюється після мокрих газоочисток мартенівських печей.

Стічні води після очищення в газоочистках збираються в лотках, подаються на освітлення у відкриті гідроциклони, де вода очищається, а осад зберігається в радіальних згущувачах. Освітлена вода повертається на газоочистку, а осад зневоднюється на фільтр-пресах, де утворюється кек, що транспортується на рудний двір. Для нейтралізації води використовують вапняне молоко або поліакриламід для покращення результату освітлення.

1.5.1 Радіальні відстійники

Радіальні відстійники (рис.1.4) – це круглі споруди, де очищення стічних вод відбувається шляхом горизонтального руху води від центру до країв. Споруди діаметром 18-50 м використовуються для очищення води на станціях з різною продуктивністю, починаючи з 20 тис. м³/доб. Типова система включає чотири відстійники, насосну станцію, розподільну чашу та жирозбірники.

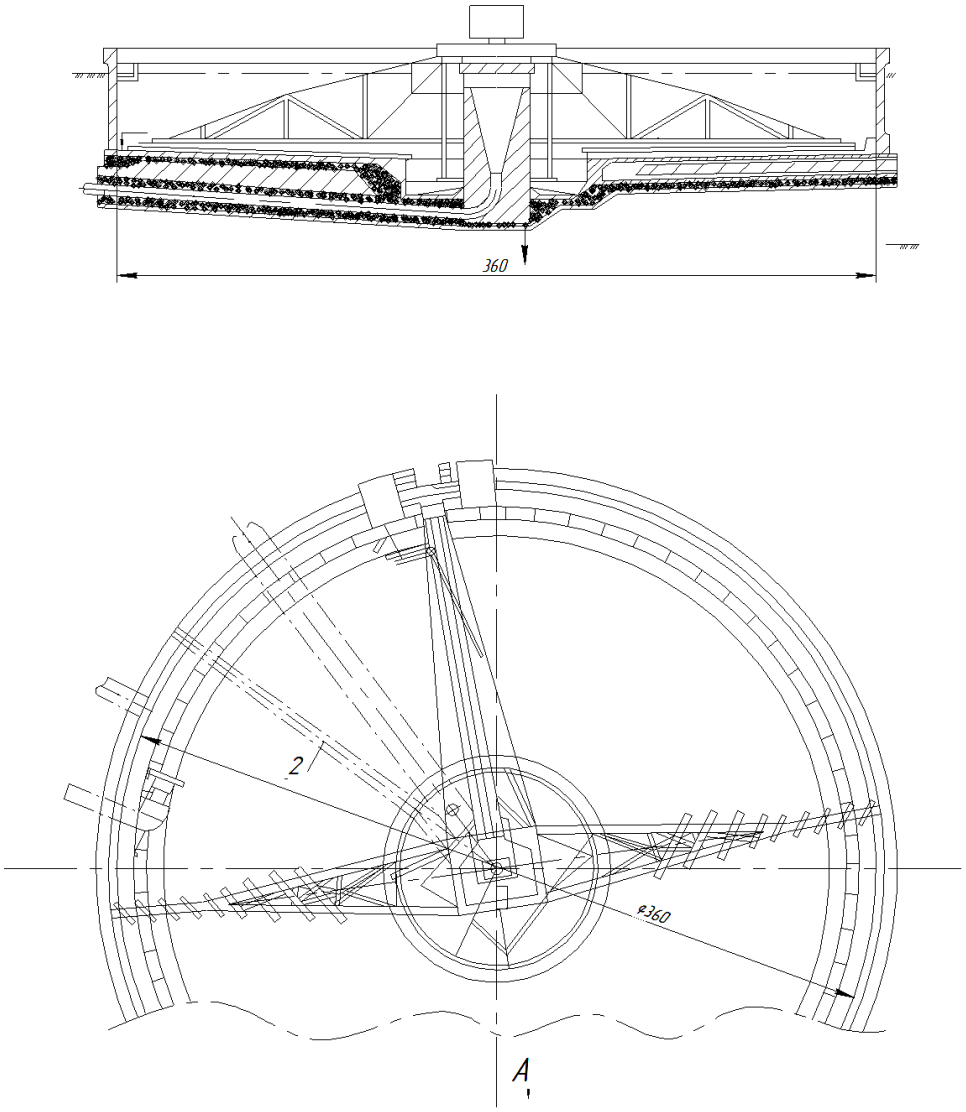


Рисунок 1.4 – Радіальний відстійник

Очищена вода подається до розподільчої чаші через дюкер, де потік розподіляється на чотири канали за допомогою водозливів з широкими порогами, які не затоплені. Кожен потік далі транспортується окремими трубопроводами до центрального розподільчого пристрою відстійника. Цей

пристрій складається з труби, що переходить у вертикальну частину і спрямовує воду в зону освітлення. Там вода рухається горизонтально до лотка на периферії, де швидкість потоку зменшується від центру до країв, що є характерною ознакою радіальних відстійників. За стандартами СНиП 2.04.03-85, швидкість води в середині радіуса не повинна перевищувати 5-10 мм/с.

Очищена вода відводиться через кільцевий лоток, який знаходиться на відстані 0,5-1 м від стінки, що покращує умови відведення і знижує гідравлічне навантаження. Осад, що накопичується на дні, збирається за допомогою обертових скребків і транспортується до мулового приямка в центрі відстійника. Дно має нахил 0,005-0,05 до приямка. Скребки обертаються зі швидкістю 2-3 об/год, збираючи осад, коли його товщина досягає 15-20 см.

Осад виводиться через трубопровід діаметром 200-300 мм за допомогою плунжерних насосів, які знаходяться в напівзануреній насосній станції. Ці насоси перекачують осад і спорожняють відстійники. Використання плунжерних насосів дозволяє досягти вологості осаду до 93-93,5%. При використанні відцентрових насосів вологість осаду може досягати 95%. Радіальні первинні відстійники забезпечують затримання 50-55% завислих часток.

1.5.2 Устрій відкритого гідроциклону та флокулятора

Відкриті гідроциклони (рис.1.5) призначені для очищення невеликих обсягів стічних вод (100-200 м³/год), що мають високу концентрацію суспензії та флокуляційні властивості (як природні, так і внаслідок використання реагентів). Процес очищення базується на поєднанні сил тяжіння і відцентрових сил. Вони ефективно очищають воду від завислих речовин, нафтопродуктів, а також можуть використовувати коагуляцію для покращення очищення.

За своєю конструкцією відкритий гідроциклон схожий на вертикальний відстійник, але не має центральної труби, а вода подається тангенціально в нижню частину апарата. Пристрій складається з трубопроводу для подачі

стічних вод, тангенціального до циліндричної частини апарата, і конічного днища. Вода обертається в апараті, проходить через отвір у конічній діафрагмі і збирається в кільцевий водозбірний лоток для подальшого відведення.

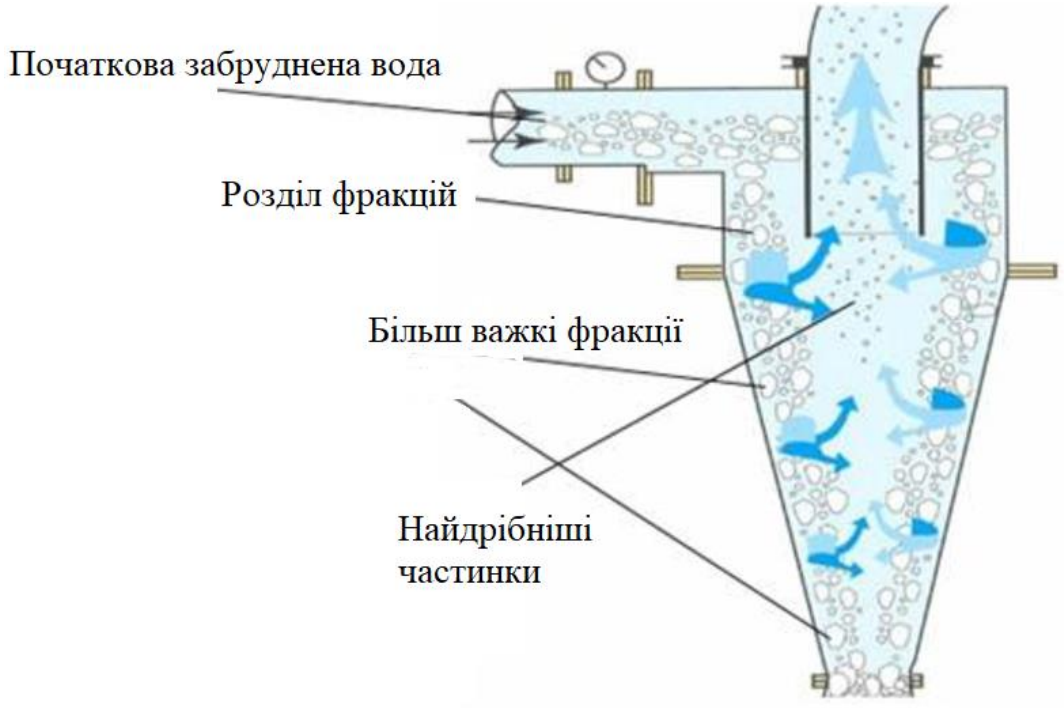


Рисунок 1 – Схема роботи гідроциклону

Осад осідає в нижній частині гідроциклону, де завдяки повільному обертально-поступальному руху частки укрупнюються. Укладання часток відбувається завдяки коагуляції в нижній частині апарата. Тангенціальне підведення води сприяє укрупненню завислих часток завдяки флокуляції.

Такі апарати забезпечують більшу ефективність очищення, порівняно з вертикальними відстійниками, завдяки своїй конструкції. Вони компактні, продуктивні і економічні в експлуатації. Гідроциклони виготовляються з діаметром від 2,5 до 8 м. Для підвищення ефективності використовують циліндричну перегородку. Є кілька типів відкритих гідроциклінів: без внутрішніх елементів, з діафрагмою, з діафрагмою та циліндричною перегородкою і багатоярусні.

Ефективність очищення залежить від гідравлічного навантаження, яке визначається характеристиками стічних вод і розмірами апарата. При

застосуванні коагулянтів ефективність значно підвищується. Так, для стічних вод газоочисток мартенівських печей навантаження без коагуляції становить 5-6 $м^3/м^2 \cdot год$, а з коагуляцією – до 12 $м^3/м^2 \cdot год$. Флокулятор поєднує конструктивні елементи гідроциклону і радіального відстійника, і застосовується для очищення стічних вод з коагуляцією та без неї.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок схеми очищення газів від мартенівських печей

2.1.1 Розрахунок котла-утилізатора

Відхідні гази від мартенівських печей мають температуру близько 600–700 ºС. Для зниження температури цих газів до 200–250 ºС після печей встановлюють котли-утилізатори. Для охолодження мартенівських газів вибирається охолоджувач типу КУ-100-1, враховуючи початкову температуру і витрату газу. Після проходження через цей охолоджувач температура газів знижується до 200 ºС, а гідравлічний опір охолоджувача становить 2000 Па.

Котел утилізатор КУ-100-1 (див. рис. 2.1) використовується для виробництва перегрітої водяної пари, що дозволяє використовувати теплоту відхідних газів мартенівських печей.

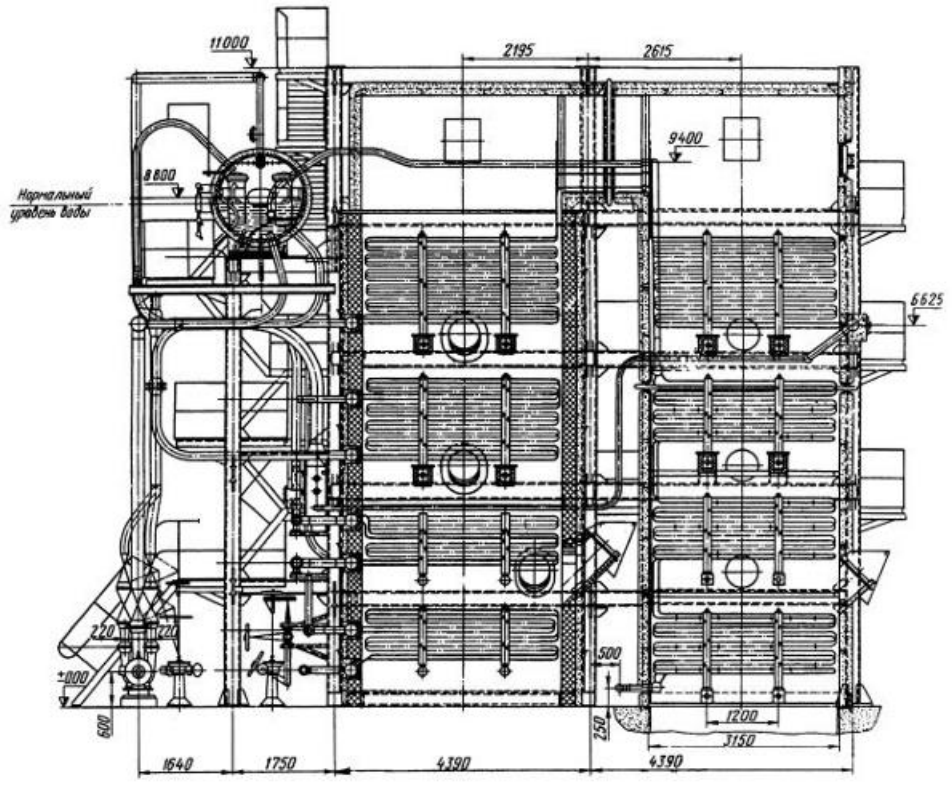


Рисунок 2.1 – Котел утилізатор типу КУ-100-1

До котла-утилізатора також може бути підєднана система випарного охолодження мартенівських печей. Паровий котел-утилізатор типу КУ-100-1 обладнаний системою примусової циркуляції води, яка здійснюється насосами з електричним приводом, що входять до складу циркуляційного контурного обладнання котла.

Таблиця 2.1 – Характеристика КУ-100-1

Показники	КУ-100-1
Паропродуктивність, т/год	32
Тиск перегрітої пари, атм	44 або18
Температура, °С: перегрітої пари живильної води	 375 100
Поверхня нагріву, м^2: випарної частини пароперегрівача водяного економайзера	 980 110 460
Розмір барабана, мм: діаметр товща стінки	 1592 38 або 16
Розрахункова кількість прохідних газів, тис., нм^3/год	125
Температура газів, °С: на вході в котел на виході з котла	 800 200
Габаритні розміри, мм: довжина ширина (з площами) висота	 12450 7800 9250
Маса металевої частини котла, т	115

Котел-утилізатор КУ-100-1 містить конвективні змійовики, виготовлені з труб, які складають поверхні нагріву. Установка котла передбачає напіввідкриту конструкцію з утепленим додатковим приміщенням з фронтальної сторони для захисту обладнання, арматури та приладів від зовнішніх впливів. Котел призначений для роботи під розрідженням, а сейсмічність району установки складає 6 балів.

Поверхні нагріву виконані з безшовних труб діаметром 32 мм та товщиною стінки 3 мм (сталь 20) і включають водяний економайзер, випарну

частину котла і пароперегрівач. Компоновка нагрівальних поверхонь має П-подібну форму. У першому газоході по ходу газів розташовані: перша випарна секція, пароперегрівач, друга випарна секція та другий пакет третьої секції. У другому газоході відбувається розміщення: пакету третьої випарної секції та двох пакетів економайзера.

Конструкція котлів серії є уніфікованою за формою і висотою пакетів змійовикових поверхонь. Всі поверхні виконані зварними блоками з трубами, розташованими в шаховому порядку. Кроки труб по ширині газоходу складають 172 мм для першої секції, 68 мм для інших випарних секцій і пароперегрівача, 90 мм для економайзера, а по ходу газів — 70 мм у всіх пакетах.

Випарна частина котла реалізована за схемою з багатократною примусовою циркуляцією (МПЦ) з трьома паралельними секціями. Циркуляція води здійснюється двома насосами (один резервний), які перекачують перегріту воду від барабана котла через шламоуловлювач в три випарні секції. Пароводяна суміш з випарних секцій потрапляє в барабан.

Барабан котла має зварену конструкцію, з внутрішнім діаметром 1508 мм та товщиною стінки 16 мм для тиску 1,8 МПа і 36 мм для 4,5 МПа, виготовлений зі сталі 20 К. Живильна вода подається до економайзера котла по трубопроводу і відводиться з вихідної камери через розподільну трубу внутрішнього барабана. Є також перемичка, через яку може подаватися циркуляційна котлова вода для рециркуляції.

Типи котлів відрізняються кількістю змійовиків у пакетах та довжиною газоходів. Котли КУ-60-2 і КУ-80-3 мають довжину газоходів 2850 мм (підйомний) та 2600 мм (опускний), а котли КУ-100-1 і КУ-125 — 3450 мм і 3150 мм відповідно. Каркас котла зварений і виготовлений з металу, а обмурування підйомного газоходу виконане з вогнетривкої і термоізоляційної цегли.

2.1.2 Розрахунок апарата газоочищення – скрубера Вентурі

Необхідно розрахувати скрубер Вентурі для очищення газів, що виходять з мартенівської печі, яка працює на кисневому дутті. Визначимо розміри, ефективність і гідравлічний опір.

Вихідні дані:

- витрата вологих газів за нормальних умов: V_0=80000 нм^3/год
- температура газів: t=200 °С;
- розрідження перед газоочищенням: P_0=4 кПа;
- густина газу за нормальних умов: ρ1=1,2942 кг/м^3;
- концентрація пилу на вході в газоочисний апарат: Z_1=5 г/м^3
- тиск води для зрошення: Рж=300 кПа
- необхідна концентрація пилу на виході з апарату: Z_2=50 мг/м^3.

З початку визначаємо густину суміші газів, кг/м^3 за формулою (2.1)[11]:

$$\rho_1 = 0{,}01\sum_{1}^{n} \rho_i r_i \qquad (2.1)$$

де ρ_i – густина відповідно компонента та газової суміші, кг/м^3;

r_i – масові частки складу газової суміші;

$$\rho_0 = 0{,}01 \cdot (4 \cdot 1{,}976 + 8 \cdot 1{,}429 + 0{,}2 \cdot 1{,}250 + 87{,}8 \cdot 1{,}251) = 129{,}42/100 = 1{,}2942 \text{ кг/ м}^3.$$

За формулою визначаємо необхідний ступінь очищення мартенівського газу:

$$\eta = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1}, \qquad (2.2)$$

де z_1 і z_2 – відповідно початкова та кінцева запиленість газу, г/м^3.

$$\eta = \frac{4 - 0{,}05}{4} = 0{,}9875.$$

У діапазоні високих значень ефективності очищення газу (від 0,98 до 0,99) зміни концентрації пилу в газі є незначними, що дозволяє використовувати поняття числа одиниць переносу. Це аналогічно методам, які застосовуються в технологічних процесах, пов'язаних з тепло- та масообмінними процесами, де для оцінки ефективності процесу використовуються подібні показники для визначення ступеня очищення або перенесення маси. Застосування такого підходу дозволяє більш точно моделювати процеси очищення при дуже високих ефективностях і знижує складність розрахунків, особливо в умовах стабільної роботи установки.

Отже, число одиниць переносу в апараті:

$$N = \ln \frac{1}{1-\eta} = \ln \frac{1}{1-0{,}9875} = 4{,}38.$$

Із зіставлень двох останніх виразів випливає, що:

$$N = BK^{\chi}. \qquad (2.3)$$

У даному випадку:

$$4{,}38 = 1{,}565 \cdot 10^{-6} К^{1{,}619},$$

звідки К=9595,98 кДж/1000 м^3 газу.

Загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі формула (2.3):

$$\Delta p_{ап} = K - p_{ж} \cdot m\,. \qquad (2.4)$$

де m – питома витрата рідини, що зрошує газ, прийнята 0,001 м^3/м^3 газу;

$Р_ж$ = 300 кПа тиск води, що зрошує;

$$\Delta\rho_{an} = 9595{,}98 - 300000 \cdot 0{,}001 = 9295{,}98 \text{ Па}.$$

Густина газу на вході в скрубер Вентурі:

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{273(101,3 - P_1)}{(273 + t_1)101,3} \text{ кг/м}^3. \quad (2.5)$$

де P_1 - розрідження перед газоочищенням. P_1 = 4 кПа;

t_1 = 200 °С температура газів ;

$$\rho_1 = 1,2942 \frac{273(101,3 - 4)}{(273 + 200)101,3} = 0,7442 \text{ кг/м}^3.$$

Питома витрата газу, що надходить на очищення, за робочих умов кг/м^3:

$$V_1 = V_0 \frac{\rho_0}{\rho_1} \quad (2.6)$$

де V_0 – витрата вологих газів за нормальних умов, нм^3/год;

ρ_0 – щільність суміші газів, кг/м^3;

ρ_1 – густина газу на вході в скрубер Вентурі кг/м^3.

$$V_1 = 80000 \frac{1,2942}{0,7442} = 139032 \text{ кг/м}^3.$$

Витрата зрошувальної рідини (води):

$$M = m\ V_1, \quad (2.7)$$

де *m* – питома витрата рідини, що зрошує газ, прийнята 0,001, м^3/м^3 газу;

V_1 – питома витрата газу, що надходить на очищення, за робочих умов кг/м^3

$$M = 0,001 \cdot 139032 = 96,3 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Гідравлічний опір циклону – краплевловлювача на підставі досвіду роботи аналогічних установок приймаємо:

$$\Delta P_к = 100 \text{ Па}.$$

Гідравлічний опір труби-розпилювача (труби Вентурі) визначаємо за формулою (2.7):

$$\Delta p_{тр} = \Delta p_{ап} - \Delta p_{к}. \quad (2.8)$$

де $\Delta\rho_{an}$ – загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі, Па;

$\Delta P_к$ – гідравлічний опір циклону – крапле вловлювача;

$$\Delta\rho_{тр}=9295,98-100=9195,98 \text{ Па}.$$

Температура газів на виході зі скрубера Вентурі °С:

$$t_2 = (0,133 - 41\ m)\ t_1 + 35, \quad (2.9)$$

де m – питома витрата рідини, що зрошує газ, прийнята 0,001 м^3/м^3 газу;

t_1 – температура газів 200 °С;

$$t_2 = (0,133\text{-}41 \cdot 0,001) \cdot 200 + 35 = 53,4 \text{ °С},$$

що добре узгоджується з досвідом роботи промислових установок (50...55°С).

Густина газу на виході з труби Вентурі (без урахування зміни вологості газу) кг/м^3:

$$\rho_2 = \rho_0 \frac{273 \cdot (101,3 - P_1 - \Delta P_{TP})}{(273 + t_2) \cdot 101.3}, \quad (2.10)$$

де $\Delta\rho_{an}$ – гідравлічний опір труби-розпилювача (труби Вентурі), Па;

P_1 – розрідження перед газоочищенням, кПа;

t_2 – температура газів на виході зі скрубера Вентурі, °С;

$$\rho_2 = 1{,}2942 \cdot \frac{273 \cdot (101{,}3 - 4 - 9{,}20)}{(273 + 53{,}4) \cdot 101{,}3} = 0{,}941 \text{ кг/м}^3.$$

В умовах розрахунку доцільно обрати трубу Вентурі (трубу-розпилювач) оптимальної форми з центральним підведенням зрошувальної рідини. У цьому випадку значення коефіцієнта гідравлічного опору сухої (не зрошувальної) труби ξ_1=0,15, а емпіричні коефіцієнти A = 0,63, B_1 = -0,3[11].

Підставивши в (2.10) числові значення, одержимо:

$$\xi_2 = A\xi_1 m^{B_1}, \tag{2.11}$$

$$\xi_2 = 0{,}63 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}001^{-0{,}3} = 0{,}75.$$

Швидкість газу в горловині труби - розпилювача (формула (2.11):

$$U_2 = \left(\frac{2\Delta\rho_{TP}}{\xi_1\rho_2 + \xi_2 m\rho_{ж}} \right)^{0,5}, \tag{2.12}$$

де $\Delta\rho_{an}$ – гідравлічний опір труби-розпилювача (труби Вентурі) Па;

ξ_1=0,15 коефіцієнта гідравлічного опору сухої (не зрошувальної) труби ;

ρ_2 – густина газу на виході з труби Вентурі (без урахування зміни вологості газу) кг/м^3;

m – питома витрата рідини, що зрошує газ, прийнята 0,001 м^3/м^3 газу;

$$U_2 = \left(\frac{2 \cdot 9195{,}98}{0{,}15 \cdot 0{,}94 + 0{,}75 \cdot 0{,}001 \cdot 1000} \right)^{0,5} = 144 \text{ м/с}.$$

Об’ємна витрата газу на виході з труби Вентурі формула (2.13):

$$V_2 = V_0 \frac{\rho_0}{\rho_2}, \tag{2.13}$$

де V_0 – витрата вологих газів за нормальних умов, V_0 = 80000 нм^3/год;

ρ_0 – густина газу за нормальних умов, кг/м^3;

ρ_2 – густина газу на виході з труби Вентурі (без урахування зміни вологості газу) кг/м^3:

$$V_2 = \frac{80000 \cdot 1{,}2942}{3600 \cdot 0{,}94} = 30{,}6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Знаючи об'ємну витрату газу на виході з труби Вентурі підбираємо краплевловлювач:

$$\text{W} = \frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot d^2}; \qquad (2.14)$$

де V_2 – об'ємна витрата газу на виході з труби Вентурі м^3/с;

d^2 – стандартний діаметр 2,4м.

$$\text{W} = \frac{4 \cdot 30{,}6}{3{,}14 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}785} = 3{,}38 \text{ м/с};$$

приймаємо W = 3,5 м/с ; та кількість КЦТ n = 2, тоді:

$$\text{Ду} = \sqrt{\frac{V_2}{0{,}785 \cdot n \cdot 3{,}5}}; \qquad (2.15)$$

де V_2 – об'ємна витрата газу на виході з труби Вентурі м^3/с.

n – кількість КЦТ;

$$\text{Ду} = \sqrt{\frac{30{,}6}{0{,}785 \cdot 2 \cdot 3{,}5}} = 2{,}36 м. \qquad (2.16)$$

Таким чином, обираємо циклон-краплевловлювач типу КЦТ – 2400 мм та кількість 2 шт.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика КЦТ-2400

Показники	КЦТ - 2400
Концентрація рідини в газі, що надходить в апарат, л/м^3	не більш 1
Гранична температура газу, що очищується ºС	80
Швидкість газу у вільному перетині апарату, м/с	3,5…5
Гідравлічний опір, Па	350
Концентрація краплинної вологи на виході, мг/м^3	70
Діаметр апарата D, мм	2400
Продуктивність, м^3/ г	82500
Маса, кг	2618

Діаметр горловини труби Вентурі формула (2.18):

$$d_2 = 1{,}13\left(\frac{V_2}{U_2}\right)^{0.5}, \qquad (2.17)$$

де V_2 – об'ємна витрата газу на виході з труби Вентурі(формула м/с.;

U_2 – швидкість газу в горловині труби – розпилювача м^3/с.

$$d_2 = 1{,}13\left(\frac{30{,}6}{144}\right)^{0.5} = 0{,}521 \text{ м.}$$

Розраховане значення діаметра горловини суттєво перевищує максимальний діаметр, що передбачений для типових високонапірних труб Вентурі (0,42 м). Тому для забезпечення ефективної роботи установки необхідно використовувати кілька паралельно з'єднаних труб. Приймається, що кількість таких труб становить n = 2. У такому випадку діаметр горловини кожної з двох ідентичних труб буде:

$$d_2 = 1{,}13\left(\frac{V_2}{nU_2}\right)^{0.5} \qquad (2.18)$$

де V_2 – об'ємна витрата газу на виході з труби Вентурі(формула м/с.;

U_2 – швидкість газу в горловині труби – розпилювача м^3/с.

$$d_2 = 1{,}13\left(\frac{30{,}6}{2 \cdot 144}\right)^{0.5} = 0{,}396 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр горловини труби Вентурі таким, що дорівнює 420 мм, що відповідає марці труби ГВПВ-0,100-400.

Швидкість газу в горловині труби в цьому випадку:

$$U_2 = \frac{1{,}13^2 V_2}{n d_2^2} \tag{2.19}$$

$$U_2 = \frac{1{,}13^2 \cdot 30{,}6}{2 \cdot 0{,}420^2} = 110{,}75 \text{ м/с.}$$

Приймаємо швидкість газу на вході в конффузор і на виході з дифузора труби Вентурі рівною 20 м/с. При цій швидкості діаметр вхідного перетину конффузора (2.26) [11]:

$$d_2 = 1{,}13\left(\frac{V}{U_2}\right)^{0.5}, \tag{2.20}$$

$$d_1 = 1{,}13 \cdot \left(\frac{96312{,}6}{3600 \cdot 2 \cdot 20}\right)^{0.5} = 0{,}92 \text{ м,}$$

діаметр вихідного перерізу дифузора:

$$d_3 = 1{,}13\left(\frac{30{,}6}{2 \cdot 20}\right)^{0.5} = 0{,}98 \text{ м.}$$

З аеродинамічної точки зору оптимальними є кут звуження конффузора α_1=25...28° і кут розкриття дифузора α_2=6…7°.

Довжину горловини приймають за наступною формулою:

$$l_2 = 0{,}15 \quad d_2 \tag{2.21}$$

$$l_2 = 0,15 \cdot 0,420 = 0,063 \text{ м.}$$

Всі інші розміри нормалізованої труби Вентурі розраховуються в залежності від діаметра горловини $d_г = 0,37$ мм[11]:

довжина горловини:

$$\ell_г = 0,2 \cdot d_г \qquad (2.22)$$

$$\ell_г = 0,2 \quad 0,420 = 0,084\text{м;}$$

діаметр конфузора м:

$$d_к = 2,3 \cdot d_г \qquad (2.23)$$

$$d_к = 2,3 \cdot 0,420 = 0,966 \text{ м;}$$

довжина конфузора м:

$$\ell_к = 3,0 \cdot d_г \qquad (2.24)$$

$$\ell_к = 3,0 \cdot 0,420 = 1,26 \text{ м;}$$

діаметр дифузора м:

$$d_д = 2,3 \cdot d_г \qquad (2.25)$$

$$d_д = 2,3 \cdot 0,420 = 0,966 \text{ м;}$$

довжина дифузора м:

$$\ell_д = 12,3 \cdot d_г, \qquad (2.26)$$

$$\ell_д = 12,3 \cdot 0,420 = 5,17 \text{ м.}$$

Загальна довжина труби Вентурі м:

$$\ell = \ell_г + \ell_к + \ell_д\,, \qquad (2.27)$$

де $\ell_г$ – довжина горловини, м;

$\ell_к$ – довжина конфузора, м;

$\ell_д$ – довжина дифузора, м.

$$\ell = 0{,}084 + 1{,}26 + 5{,}17 = 6{,}51 \text{ м.}$$

Швидкість газу на вході в конфузор м/с:

$$V_к = \left(\frac{1{,}13^2 \cdot V_г}{3600 \cdot 2 \cdot d_к^2} \right), \qquad (2.28)$$

де V_1 – питома витрата газу, що надходить на очищення, за робочих умов, кг/м^3;

$d_к$ – діаметр конфузора, м.

$$V_к = \left(\frac{1{,}13^2 \cdot 96312{,}6}{3600 \cdot 2 \cdot 0{,}966^2} \right) = 18{,}30 \text{ м/с;}$$

на виході з дифузора м/с:

$$V_д = \left(\frac{1{,}13^2 \cdot V_г}{2 \cdot d_д^2} \right) \qquad (2.29)$$

де $V_г$ – об'ємна витрата газу на виході з труби Вентурі кг/м^3;

$d_д$ – діаметр дифузора м.

$$V_д = \left(\frac{1{,}13^2 \cdot 30{,}6}{2 \cdot 0{,}966^2} \right) = 20{,}94 \text{ м/с.}$$

2.1.3 Розрахунок аеродинаміки газового тракту системи газоочистки

Повний розрахунковий опір газовідвідного тракту (рис. 2.2) визначається, Па:

$$_{\Delta}P = {}_{\Delta}P_{к.у.} + {}_{\Delta}P_{тр.в.} + {}_{\Delta}P_{КЦТ} + {}_{\Delta}P_{дим.тр.} + {}_{\Delta}P_{газов.}, \quad (2.30)$$

де $_{\Delta}P_{дим.тр.}$ – опір димової труби, Па;

$_{\Delta}P_{к.у.}$ – опір котла-утилізатора, Па, $_{\Delta}P_{к.у.}$= 2000 Па;

$_{\Delta}P_{газов.}$ – опір з'єднувальних газоходів, Па;

$_{\Delta}P_{тр.в}$ – опір труби Вентурі, Па, $_{\Delta}P_{тр.в}$ = 9295,98 Па;

$_{\Delta}P_{КЦТ}$ – опір крапле вловлювача КЦТ, Па, $_{\Delta}P_{КЦТ}$ = 350 Па.

Сумарні втрати тиску (енергії 1 м^3 газу) складаються з втрат тиску на тертя по довжині трубопроводу $\Delta p_{тр}$ і втрат тиску на місцевих опорах $\Delta p_{м}$:

$$\Delta p = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{тр\,i} + \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{м\,i}, \quad (2.31)$$

де i – номер розрахункової ділянки;

m – кількість розрахункових ділянок.

Втрати тиску на тертя по довжині розрахункової ділянки (лінійні втрати) визначають за формулою Дарсі-Вейсбаха, Па:

$$\Delta p_{тр\,i} = \lambda_i \times \frac{l_i}{d_{e\,i}} \times \rho_{гі} \times \frac{w_i^2}{2}. \quad (2.32)$$

де λ_i – коефіцієнт гідравлічного тертя (безрозмірний).

Коефіцієнт гідравлічного тертя залежить від двох безрозмірних параметрів: числа Рейнольдса Re_i і відносної шорсткості $\frac{k_{e\,i}}{d_{ei}}$.

Число Рейнольдса визначають за формулою:

$$Re_i = \frac{w_i \times d_{ei}}{\nu_i}. \tag{2.33}$$

Для спрощення розрахунків густину газів на кожній ділянці газоходу визначаємо по формулі:

$$\rho_г = \rho_0 \frac{273}{273 + t_г}, \tag{2.34}$$

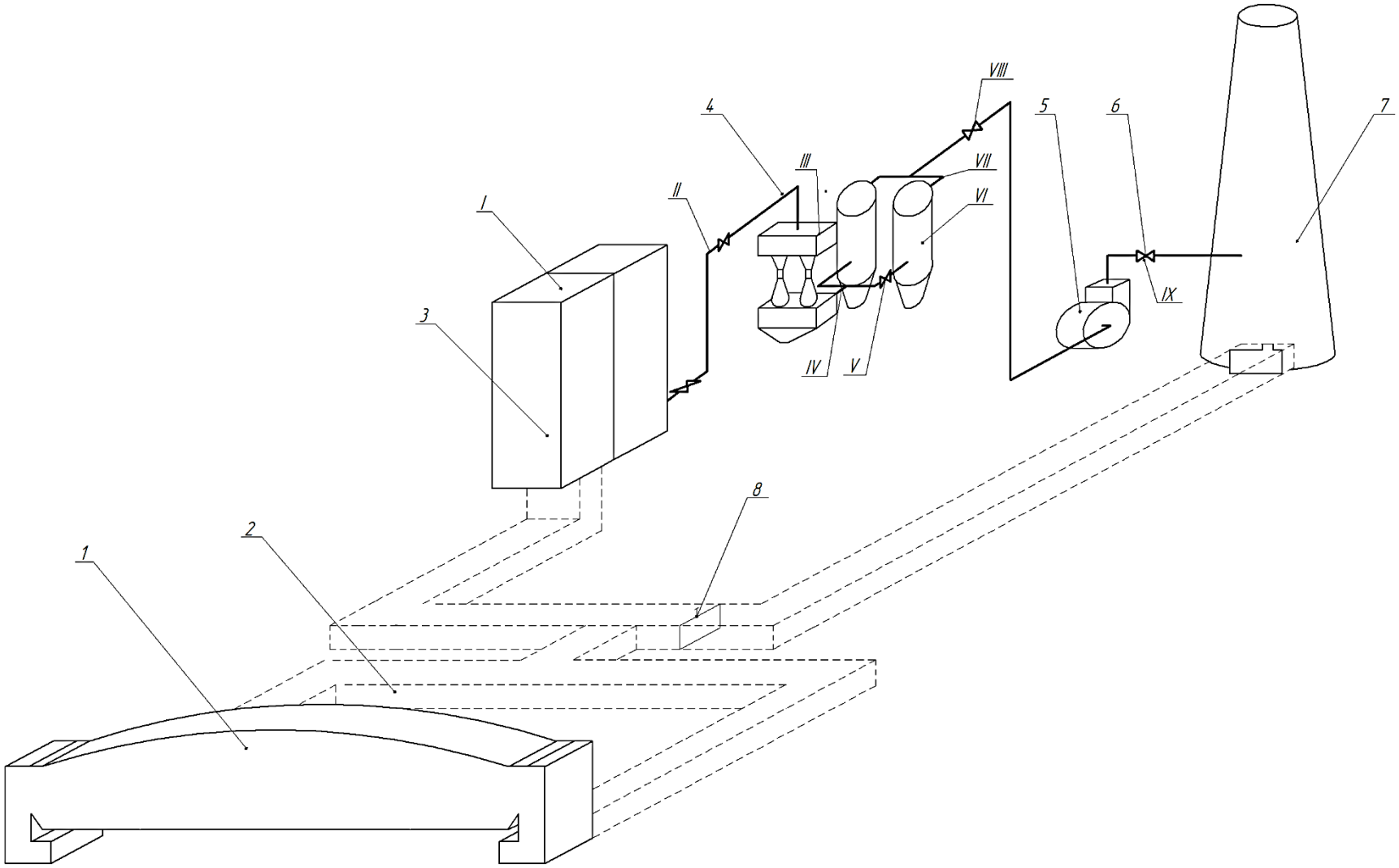
де $t_г$ – температура газу, що очищується, °С.

Об’ємна витрата газів з урахуванням робочої густини, м^3/с:

$$V = \frac{V_0}{3600} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_t}, \tag{2.35}$$

де ρ_t – густина газу, що очищується, кг/м^3

Розрахунки проводимо з урахування втрати 0,5 °С на кожні 10 м газоходу [5]. Розрахунки заносимо до табл. 2.3.



1– мартенівська піч, 2 – газохід цегляний, 3 – котел-утилізатор; 4 – скрубер Вентурі; 5 – димотяг; 6 – димова труба

Рисунок 2.2 – Схема системи газоочистки для газів, що відходять від мартенівської печі

При визначенні діаметрів газоходів швидкість і об'ємна витрата газів повинні бути підібрані так, щоб на всіх ділянках і відгалуженнях газоходу вони були відносно однаковими.

Діаметр газоходу визначається по формулі:

$$d = \sqrt{\frac{V}{w}}, \tag{2.35}$$

де w – швидкість газів у газоході, м/с.

Відомо, що рух газів в газоході відбувається у області „гідравлічно шорстких" труб (автомодельна чи область зона квадратичної залежності) за умови $Re_i \times \frac{k_{ei}}{d_{ei}} > 500$, тоді для визначення коефіцієнту гідравлічного тертя використовують наступну формулу:

$$\lambda_i = 0{,}11 \times \left(\frac{k_{ei}}{d_{ei}} \right)^{0{,}25}. \tag{2.36}$$

Втрати тиску на тертя в газоході рівні сумі втрат на окремих розрахункових ділянках:

$$\Delta p_{mp} = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{mp\,i}\,. \tag{2.37}$$

Результати розрахунків заносимо у таблицю 2.3.

Втрати тиску на місцевих опорах визначають по формулі Вейсбаха, Па:

$$\Delta p_{мі} = \zeta_i \times \rho_{гі} \times \frac{v_i^2}{2}\,, \tag{2.38}$$

де ζ_i – коефіцієнт місцевого опору, що залежить від його виду, форми трубопроводу, розмірів перешкод на шляху потоку.

Втрати тиску на місцевих опорах у газоході дорівнюють сумі втрат на окремих розрахункових ділянках, Па:

$$\Delta p_м = \sum_{i=1}^{m} \Delta p_{мі} , \qquad (2.39)$$

Результати розрахунків заносять у таблицю 2.3.

Відповідно до рис.2.3 поділяємо схему газоочистки на наступні ділянки:

I – мартенівська піч – котел-утилізатор;

II – котел-утилізатор – блок труб Вентурі

III – блок труб Вентурі;

IV – блок труб Вентурі - трійник

V– трійник-краплевловлювач;

VI- краплевловлювач;

VII – краплевловлювач - трійник;

VIII – трійник – димотяг;

IX – димотяг – димова труба

Матеріал трубопровода на ділянках:

На ділянці до котла утилізатора газопровід виконано зі цегли; II, IV, VII, VIII, IX, X – сталь зварна, помірно заржавіла.

Довжини ділянок трубопроводів наступні:

l_2=30 м; l_4=3 м; l_5=6 м; l_7=6 м; l_8=39 м; l_9=8 м.

Види місцевих опорів відповідно до вищеприведеного розподілу ділянок для схеми на рис. 2.2. :

I – за літературними даними [5] опір газового тракту до котла-утилізатора склада 1,5 кПа, опір котла утилізатора склада 2,0 кПа. Тобто сумарний опір цієї ділянки становить 3,5 кПа.

II – вхід у газопровід (розташований далеко від стінки), засувка, 2 шт, секційне коліно на 90 º , 3 шт;

III – згідно розрахунку опір труби Вентурі склада 9295,98 Па;

IV – вхід в трубу;

V – трійник (розподіл потоків), засувка, секційне коліно на 90 º, 2 шт, конфузом, дифузор (вхід в КЦТ);

VI- опір циклону-краплевловлювача склада 350 Па;

VII – конфузор (вихід з КЦТ), секційне коліно на 90 º, дифузор;

VIII – трійник (злиття потоків), засувка, секційне коліно на 90 º, 3 шт, конфузор;

IX – трійник (розподіл потоку), секційне коліно на 90 º, 2 шт, конфузор (вхід в димотяг);

Результати аеродинамічного розрахунку наведені у табл. 2.3

Таблиця 2.3 - Результаты расчетов газоотводящего тракта

№ діля-нки	Витрата, $м^3/с$	Густина газу, $кг/м^3$	Діаметр, м	Швидкість, м/с	Довжина, м	Опір на тертя, ΔP_1, Па	Опір місц. $\Delta P_м$, Па	Загальний опір, ΔP, Па
1								3500
2	38,62	0,7442	1,6	19,22	30	20,63	394,7	415,33
3								9295,98
4	30,60	0,941	1,4	19,8	3	3,36	92,23	95,59
5	14,65	0,98	0,95	20,7	6	12,42	575,29	587,71
6								350
7	14,52	0,99	0,95	20,49	6	12,29	130,54	142,83
8	28,96	0,993	1,3	21,82	39	47,46	397,14	445,6
9	28,99	0,994	1,3	21,85	8	12,70	424,73	437,40
					Всього			15270,44

2.1.4 Розрахунок димової труби

1.Опір на вході у димову трубу:

$$\Delta p_{вх.тр} = \lambda \times \frac{H_{тр}}{d_{тр}} \times \rho_г \times \frac{w^2 уст}{2}. \qquad (2.40)$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного опору по довжині труби;

$H_{тр.}$ – висота димової труби, дорівнює 120 м;

$W_{уст.}$ – швидкість в гирлі димової труби, дорівнює 18 м/с;

$\rho_г$ – густина газів перед димовою трубой, кг/м^3.

$$\Delta p_{вх.тр} = 0{,}017 \times \frac{120}{5.4} \times 0{,}994 \times \frac{18^2}{2} = 182.50 \quad \text{Па}$$

2. Опір на виході з димової труби:

$$\Delta p_{вих.\ тр} = \zeta_{вих} \times \rho_i \times \frac{\omega_{уст}^2}{2}\ , \qquad (2.41)$$

де $\xi_{вих} = 1{,}15$ – коефіцієнт гідравличного опору на виході з труби.

$$\Delta p_{вих.\ тр} = 1{,}15 \times 0{,}994 \times \frac{18^2}{2} = 185.182 \quad \text{Па}$$

3.Динамічний тиск, що необхідно створити для швидкості газу у гирлі труби $W_{уст.} = 18$ м/с:

$$\Delta p_д = \rho_i \times \frac{\omega_{уст}^2}{2}\ , \qquad (2.42)$$

$$\Delta p_д = 0{,}994 \times \frac{18^2}{2} = 161{,}03 \quad \text{Па}$$

4.Сумарний тиск:

$$P_\Sigma = \Delta P_{вх.тр.} + \Delta P_{вих.тр.} + P_д = 182{,}50 + 185{,}182 + 161{,}03 = 528{,}71 \text{ Па}$$

5. Розрахунок тяги, що створюється трубою (самотяга):

$$P_с = (\rho_{атм} - \rho_г)\ q\ H_{тр},$$

де $\rho_{атм}$ –густина повітря при даних умовах, кг/м^3:

$$\rho_{атм} = \rho_0 \frac{273B}{(273 + t_{ос})B_{ст}}, \qquad (2.43)$$

де $\rho_о$ – густина повітря за нормальних умов, кг/м^3, $\rho_о$ =1,293 кг/м^3;

$t_{ос}$ – температура навколишнього середовища, ^{о} С, приймає такою що дорівнює 25 ^{о}С ;

$B_{ст}$ – стандартний тиск, $B_{ст}$ = 101,3 кПа;

$$\rho_{атм} = 1.293 \frac{273 \cdot 101.3}{(273 + 25)101.3} = 1.185 \quad \text{кг/м}^3$$

$$P_с = (1{,}185 - 0{,}994)\ 9{,}81 \cdot 120 = 224{,}84 \text{ Па}.$$

6.Потреба у додатковому тиску:

$$P_{доп.} = P_с - P_{\Sigma} = 224{,}84 - 528{,}71 = -303{,}87 \text{ Па}$$

Оскільки $P_{доп}$<0, це значення додається до опору газовідвідного тракту. Це необхідно, щоб тягодуттєва установка забезпечувала додатковий тиск, потрібний для переміщення газу через димову трубу з визначеною швидкістю. Враховуючи це, загальний розрахунковий опір газовідвідного тракту визначається наступним чином:

$$_{\Delta}P = 15270{,}44 + 303{,}87 = 15574 \text{ Па}.$$

Підбір димососа здійснюється на основі аеродинамічних розрахунків газовідвідного тракту. Його продуктивність, визначається із запасом у 10% відносно розрахункової кількості газів, що проходять через димосос. При цьому враховується можливий підсос повітря та поправка на барометричний тиск. Таке резервування забезпечує надійність роботи системи в умовах змінного навантаження або непередбачених коливань об’ємів газів. Крім

того, це дозволяє уникнути перевантаження обладнання та сприяє довговічності його експлуатації, навіть за несприятливих зовнішніх факторів, таких як зміна атмосферного тиску чи температури.

$V_д$ = 1,1 $V_р$ · 101,3 / В = 1,1 · 28,99 · 101,3 / 101,3 = 31,889 м^3/с = 114800,4 м^3/год.

Тиск, що створюється димотягом приведене до умов каталогу, за яким вибирається димосос $_{\Delta}P_{кат}$:

$$_{\Delta}P_{кат} = 1{,}2 \ _{\Delta}P_{р} К ,$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу;

$_{\Delta}P_{р}$ – сумарний опір газовідвідного тракту, Па;

К – коефіцієнт перерахунку.

Отже, коефіцієнт перерахунку буде визначатися за формулою:

$$К = \frac{(273+t)101{,}3\cdot \rho_{Г}}{(273+Т)\cdot В\cdot \rho_{В}} = \frac{(273+52{,}5)101{,}3\cdot 1.2942}{(273+70)\cdot 101{,}3\cdot 1{,}293} = 0{,}72$$

де t – температура газу у димотяга, ^{o}С;

Т – температура, до якої віднесено дані каталогу, ^{o}С;

$_{\Delta}P_{кат}$ = 1,2 · 15574,34· 0,72 = 13456,20 Па

Обираємо вентилятор типу ВМ- 20А. Технічна характеристика наведена табл.2.4.

Таблиця 2.4 – Технична характеристика вентилятора ВМ-20А

Характеристика	Одиниці виміру	Величина

1. Частота обертів	об/хв	1480
2. Продуктивність	$м^3$/год	150
3. Повний тиск	Па	12470-15050
4. Потужність, що вживається	кВт	800
5. Максимальна, к.к.д.		0,81
6. Розрахункова температура	°С	70

До установки приймаємо електродвигун типу ДА-304/450У/4У1. Технічна характеристика наведена в табл.2.5.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика електродвигуна типу ДА-304/450У/4У1

Характеристика	Одиниці виміру	Величина
1. Частота обертів	об/хв	1500
2. Напруга	В	6000
3. Потужність	кВт	800

.

2.2 Розрахунок схеми зворотного очищення стічних вод

2.2.1 Розрахунок обладнання для приготування розчину флокулянта

Для приготування розчину коагулянта треба знайти кількість витраченої води за формулою $м^3$/г:

$$Q_в = m \cdot Q_г \cdot N \qquad (2.44)$$

де *m* – питома витрата рідини, що зрошує газ, прийнята 0,001 $м^3/м^3$ газу;

$Q_г$ – питома витрата газу, що надходить на очищення, за робочих умов $кг/м^3$:

N – кількість днів, тижднів (7 тиж.)

$$Q_в = 0,001 \cdot 96312,6 \cdot 7 = 674,1 \text{ } м^3/г \qquad (2.45)$$

Кількість маси суспензії г/ год:

$$M_{ВЗВ} = (C_Н - C_К) \cdot Q_Г \quad (2.46)$$

де $C_Н$ – початкова концентрація суспензії мг/л;

$C_К$ – кінцева концентрація суспензії мг/л;

$Q_г$ – питома витрата газу, що надходить на очищення, за робочих умов кг/м^3;

$$M_{ВЗВ} = (4 - 0{,}05) \cdot 96312{,}6 = 3828784 \text{ г/год.} \quad (2.47)$$

Знаходимо початкову кількість речовини, що йде на очищення г/л:

$$C_{ВЗВ} = \frac{M_{ВЗВ}}{Q_В} \quad (2.48)$$

де $M_{ВЗВ}$ – кількість маси суспензії г/ год;

$Q_в$ – кількість витраченої води, л/год.

$$C_{ВЗВ} = \frac{3828784}{674{,}1 \cdot 1000} = 5{,}7 \text{ г/л} \quad (2.49)$$

Приготування розчину коагулянту проводять у розчинних баках, місткість яких, м^3, визначають за формулою[8]:

$$W_Р = \frac{Q \cdot n \cdot D_К}{10000 \cdot b_Р \cdot \gamma}, \quad (2.50)$$

де Q – витрата стічних вод,м^3/год;

n – час, на яке заготовлюють розчин коагулянту, 10...12 год.;

$D_К$ – доза коагулянту;

b – концентрація розчину коагулянту в розчинному баці: до 17% – для неочищеного; до 20% – для кускового; до 24% - для очищеного гранульованого[8];

γ – об'ємна маса розчину коагулянту, т/м, приймаємо 1 т/м;

$$W_P = \frac{674{,}1 \cdot 15 \cdot 24 \cdot 1}{10000 \cdot 1 \cdot 1} = 24{,}3\,\text{м}^3 \qquad (2.51)$$

з $W_р = 23{,}4$ м^3 виходить кількість бочок 12 шт. , що є не доцільним тому зменшуємо кількість діб та знаходимо місткість 1 доби.

$$W_д = \frac{W_P}{15} = 1{,}62 \text{ м}^3.$$

Приймаємо кількість баків 2 марки УРП – 2М

Таблиця 2.6 – Технична характеристика баків марки УРП – 2М

№ п/п	Назва показників	Значення показників
1	2	3
1	Продуктивність, м^3/добу	14
2	Місткість бака, м^3	2
3	Кількість розчину в баку, м^3	1,2
4	Концентрація розчину, %	<1
5	Оптимальна температура розчинення, ºС	<40
6	Час перемішування, хв	25…40
7	Частота обертання крильчатки, об/хв	960
8	Марка насоса	2К-20/30
9	Встановлена потужність, кВт	7
10	Маса, кг,	730

2.2.2 Розрахунок складського приміщення для зберігання флокулянта

ПАА зберігається в закритих приміщеннях при температурі не вище 25…30 ºС, при цьому його заморожування не можливе. Термін зберігання не більше 6 місяців. Площа складу для ПАА визначаємо за формулою[8]:

$$F = n \cdot f \cdot \alpha, \quad (2.52)$$

де n – кількість баків, шт;

f – об'єм одного бака, м^3;

α – коефіцієнт, що враховує площу проходів, приймаємо α= 1,15.

Тоді знаходимо масу ПАА в день:

$$M_{ПАА} = \frac{D \cdot Q_B \cdot 24 \cdot 30}{1000}; \quad (2.53)$$

$$M_{ПАА} = \frac{1 \cdot 674{,}1 \cdot 24 \cdot 30}{1000} = 485 \text{ кг}.$$

Знаючи масу ПАА знаходимо кількість баків:

$$n = \frac{485}{64} = 7{,}6 \approx 8 \text{ шт}.$$

Всі значення підставляємо у рівняння:

$$F = 8 \cdot 0{,}64 \cdot 1{,}15 = 5{,}89 \text{ м}^2.$$

2.2.3 Розрахунок радіального відстійника

Для мартенівського виробництва застосовують відстійники радіальні.

Знаходимо ефект очищення Е:

$$E = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \cdot 100 \qquad (2.54)$$

де C_0 – вміст завислих речовин у вихідній воді;

C_t – дозволений вміст зважених речовин у освітленої води.

$$E = \frac{(5{,}6 - 1{,}5)}{5{,}6} \cdot 100 = 73{,}2\ \%.$$

Площа відстійника, м^2:

$$F = \frac{Q_B}{q_0}, \qquad (2.55)$$

де $Q_в$ – кількістьвитраченої води м^3/г;

q_0 – питоме гідравлічне навантаження м^3/м^2.

$$F = \frac{674{,}1}{2} = 337{,}05\ \text{м}^2.$$

Діаметр відстійника, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot 2}}, \qquad (2.56)$$

де F – площа відстійника, м^2;

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 337{,}05}{3{,}14 \cdot 2}} = 27{,}58\ \text{м}.$$

Приймаємо діаметр стандартного відстійника 30 м.

Таблиця 2.7 – Технічна характеристика радіального відстійника із збірного залізобетону

Діаметр, м	Глибина загальна, м	Розрахункова пропускна здатність q при тривалості відстоювання 1,5 години, $м^3$/год	Обсяг зони, $м^3$		Номер типового проекту
			відстоювання $V_{от}$	осадка $V_{ос}$	
30	3,4	1460	2190	340	902-2-378.83

Теоретична тривалість освітлення води:

$$t = n/q \qquad (2.57)$$

де n - кількість відстійників;

q - витрата води, $м^3$/с.

$$t = 2/2 = 1.$$

Маса уловленого осаду, т/доб.:

$$G_{сух} = \frac{C_o \cdot Э \cdot Q}{1000 \cdot 100}, \qquad (2.58)$$

де C_o – початкова концентрація суспензії, мг/л;

Э – ефект освітлення;

Q – витрата води, $м^3$/доб.

$$G_{сух} = \frac{0.56 \cdot 73.2 \cdot 674.1}{1000 \cdot 100} = 0{,}276 \text{ т/доб.}$$

Висота відстійника у стінки, м:

$$H_0 = H_р + H_1 + H_2 , \qquad (2.59)$$

де H_1 - висота зони накопичення осаду, рівна 0,3 м;

H_2 - узвишшя борта відстійника над крайкою збірного кільцевого жолоба, дорівнює 0,5 м.

$$H_0 = 3{,}4 + 0{,}3 + 0{,}5 = 4{,}2 \text{ м.}$$

2.3 Утилізація мартенівських шлаків

Через закриття шлакового двору мартенівського цеху відповідно до вимог санітарно-епідеміологічної служби, обробка мартенівських шлаків здійснюється на шлаковому дворі електросталеплавильного цеху (ЕСПЦ). Гарячий шлак скидається у спеціальну траншею, де відбувається його термічне подрібнення, а згодом додаткове дроблення за допомогою злитка, який скидається з електромагніту крана.

Після цього шлак охолоджують, розпушують і перелопачують грейфером, одночасно вилучаючи метал за допомогою електромагніта. Відібраний метал повертається до скрапобази ЕСПЦ для подальшого використання. Частина шлаку, подрібненого до стану щебеню, транспортується до споживачів як автомобільним, так і залізничним транспортом.

Шлаковий двір також є джерелом атмосферного забруднення через неорганізовані викиди. Для зменшення цього впливу необхідно впроваджувати заходи щодо покращення екологічної безпеки шлакового господарства.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Мартенівське виробництво характеризується високими температурами, утворенням значної кількості вибухонебезпечних і токсичних газів, рідких продуктів плавки, а також великими обсягами переміщуваних вантажів і значною кількістю механічного та електричного обладнання.

Основними джерелами теплового випромінювання є полум’я факела, розпечена до високих температур вогнетривка футеровка печі, а також поверхні розплавленого металу та шлаків, особливо помітні при відкритих вікнах печі. До таких джерел належать також чавун під час заливки, рідкий метал і шлак під час випуску та розливу сталі. Температура цих об’єктів перевищує 500 °С, що спричиняє випромінювання у світловому та інфрачервоному спектрах. Інтенсивність випромінювання на робочих місцях коливається від 0,01 до 10,5 кВт/м², тоді як нормативне значення становить 140 Вт/м² відповідно до ДСН 3.3.6.042-99.

Інфрачервоне випромінювання може впливати на функціонування організму людини, включаючи центральну нервову систему та серцево-судинну систему. Це проявляється у підвищенні частоти серцебиття, змінах артеріального тиску, частішанні дихання, збільшенні температури тіла та посиленні потовиділення. Також відзначається ризик захворювань серцево-судинної системи та органів травлення. Світлове випромінювання здатне викликати патологічні зміни в органах зору.

Додатковою проблемою є висока концентрація пилу, який утворюється в процесі роботи мартенівських печей. У зоні пічного прольоту концентрація пилу може досягати 180,3 мг/м³, що значно перевищує допустимий рівень у робочій зоні, встановлений на рівні 4 мг/м³. Основним джерелом пилу є мартенівська піч, а його потрапляння до робочої зони часто зумовлене негерметичністю обладнання, особливо під час завалки шихти.

Для зменшення негативного впливу випромінювань і пилу необхідно застосовувати сучасні системи очищення повітря, герметизацію обладнання та впроваджувати заходи з охорони праці для забезпечення здоров’я працівників.

Проникаючи в організм через дихальні шляхи або пори шкіри, пил може стати причиною розвитку професійних захворювань. Мартенівський пил має неорганічне походження, до його складу входять метали, такі як залізо, хром, нікель, марганець та мідь. Залежно від концентрації, ці елементи можуть чинити негативний вплив на здоров'я працівників.

Під час технологічних операцій утворюються також газоподібні шкідливі речовини. Основним джерелом газових забруднень у повітрі цеху є мартенівська піч. Виділення газів відбувається під час прориву полум'я з-під заслінок вікон, відкривання пічних вікон, а також у процесі випуску та розкислення сталі як із печі, так і з ковша.

До повітря робочої зони потрапляють такі гази, як CO, SO_2, NO та інші. Оксид вуглецю (II) (CO) утворюється внаслідок неповного згоряння палива або хімічних реакцій під час плавки. При потраплянні до організму через дихальні шляхи він сприяє утворенню карбоксигемоглобіну, що знижує здатність крові доставляти кисень до тканин, викликаючи кисневе голодування. Це негативно впливає на центральну нервову систему.

Сірчаний ангідрид (SO_2) має подразнювальну дію. Під час контакту з біологічними тканинами він провокує запальні процеси, особливо в органах дихання, на шкірі та слизових оболонках очей. Оксид азоту (II) (NO), потрапляючи до організму, утворює метгемоглобін у крові. Це може спричиняти кашель, задуху, задишку, а у важких випадках — набряк легенів. Також можливі головний біль і серцева слабкість.

Джерелами постійного шуму на виробництві є віброживильники, конвеєри, вентиляційні системи, мотор-генератори, витоки повітря та звукові сигнали. Рівень шуму на робочому місці сталевара досягає 96 дБА, що перевищує допустимі 80 дБА, встановлені ДСН 3.3.6.037-99.

Оцінка умов праці та виробничих факторів для сталевара в мартенівському цеху представлена в таблиці 4.1, яка враховує вплив пилу, газів, шуму, а також фізичне навантаження на організм працівника. Для підвищення безпеки необхідно вдосконалювати вентиляційні системи, герметизувати обладнання та забезпечувати працівників засобами індивідуального захисту.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого середовища й трудового процесу (робоче місце – пічний проліт, професія - сталевар)

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення (ГДК, ГДУ)	Фактич. значення	III клас Шкідливі і небезпечні умови и характер труда			Трив. дії фактора за зміну, %
				1 ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3:			-			
	1клас небез.: Cr	0.01	0.059	-		11.6р	80
	Ni	0.05	0.015				80
	Mn	0.05	0.27		5,4р		80
	3клас небез.: CO	2.0	7,4			13,7р	80
	SO_2	10.0	28,5	2,85 р			80
	NO	5.0	35.5		7.1р		80
2	Пил фіброгенної дії, мг/м^3	4	180,3	-		45,1р	80
3	Шум, дБА	80	95			15	80
4	Мікроклімат в приміщенні (в теплий період):						
	-температура повітря, °С	27	40	-	-	13	80
	-швидкість руху повітря, м/с	0,6	0,47	1,28	-		80
	-відносна вологість повітря, %	<70	50	-			80
	інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140	4800		-	4800	80
5	Важкість і напруженість праці	Середньої важкості, дуже напружена (III)					

Отже, згідно з гігієнічною класифікацією праці на умови праці сталевара в мартенівському цеху найбільший вплив виявляє такі фактори, як пил і тепловий випромінювання, температура, газоподібні виділення (III ступінь шкідливості й небезпеки).

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Під час виконання окремих операцій мартенівського процесу виникає шум, спричинений механічними, аеродинамічними та термічними джерелами (наприклад, рухом кранів, завалювальних машин, переміщенням газових потоків у печі й газоходах тощо). Рівень шуму на робочих місцях сталевара перевищує допустимі норми на 16 дБА, що створює необхідність впровадження заходів для захисту персоналу. Шум негативно впливає на організм, зокрема викликає зниження слуху, перенапруження нервової системи, головний біль, запаморочення, а також зменшує здатність концентруватися й реагувати на сигнали. Поєднання шуму й вібрації є особливо небезпечним, оскільки може призводити до порушень серцево-судинної системи, захворювань суглобів та інших ускладнень.

Для зменшення впливу шуму в мартенівських цехах впроваджують звукоізоляцію для критичних зон, таких як пости управління, обчислювальні центри та кімнати відпочинку. Звукоізолюючі кожухи використовують для обмеження шуму, що створюють агрегати, закриваючи як весь пристрій, так і окремі вузли. У системах газо- та повітропроводів знижують шум завдяки плавному руху повітряного потоку, оптимальному розташуванню переходів трубопроводів і встановленню глушників. Додатково застосовують штучні звукопоглиначі, які розміщують над обладнанням у вигляді плоских або об'ємних елементів.

Для індивідуального захисту органів слуху працівники використовують антифони, які можуть бути зовнішніми (шумозахисні навушники) або внутрішніми (вкладиші чи заглушки). Внутрішні засоби виготовляють із

різних матеріалів, наприклад, губки, марлі, або пластмас, залежно від необхідної жорсткості.

Теплове випромінювання у мартенівських цехах чинить значно вищий шкідливий вплив на організм, ніж у багатьох інших виробничих умовах. Для мінімізації його впливу впроваджуються такі заходи: теплоізоляція нагрітих поверхонь, екранування робочих місць, прискорення операцій, які вимагають відкриття нагрітих ділянок (заливання чавуну, випуск сталі, видалення шлаку), а також організація природної й механічної вентиляції та використання розпилення води. Працівники забезпечуються спеціальним одягом і засобами індивідуального захисту, які зменшують вплив високих температур.

3.3 Виробнича санітарія

Через значне виділення надлишкового тепла в мартенівському цеху потрібна організація інтенсивного повітрообміну, особливо в спекотні літні місяці.

Для забезпечення належних умов передбачено кілька систем опалення:

1. Централізована система опалення із використанням локальних нагрівальних приладів, таких як повітронагрівачі, які обігрівають електротехнічні приміщення, гідравлічні установки та кімнати відпочинку, де встановлено радіатори типу РСГ-2.

2. Парова система опалення чергового режиму, яка забезпечується реєстрами з гладких труб, встановленими в гідравлічних станціях для управління механізмами та маслонасосними установками.

Для підтримання комфортного мікроклімату використовується вентиляція, яка є важливим засобом забезпечення належних гігієнічних параметрів повітря. У зовнішніх стінах цеху облаштовано вентиляційні отвори, нижній край яких розташований на висоті 2 метри від підлоги. Для посилення теплового тиску будівля оснащена витяжними шахтами з

дефлекторами, що збільшують ефективність повітрообміну за рахунок вітрового напору.

У мартенівському цеху також функціонує механічна припливно-витяжна вентиляція для компенсації теплових надлишків. Вона забезпечує подачу свіжого повітря у всі зони цеху, включаючи ливарний двір, приміщення скіпового підйомника, маслонасосну, електротехнічні приміщення та зони з повітронагрівачами.

У місцях, де працівники постійно перебувають під впливом теплового випромінювання інтенсивністю понад 140 Вт/м², застосовується метод повітряного душування для охолодження.

Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні виробничих приміщень викладені в табл.3.2 відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99.

Таблиця 3.2 – Значення нормованих параметрів повітряного середовища

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
		Верхня межа		Нижня межа			
		Постій.	Непос-тій.	Постій.	Непостій.		
Холодний	Важка	19	20	13	12	75	< 0,5
Теплий	Важка	26	28	15	13	65	0,2...0,6

3.4 Електробезпека

Для забезпечення технологічних вимог і умов безпеки в мартенівському цеху найбільш підходящою є чотирипровідна мережа з глухозаземленою нейтраллю. Вона дозволяє використовувати дві робочі напруги: лінійну та фазну. Така мережа забезпечує живлення як трифазного чи однофазного силового обладнання з напругою 380 В (підключення між фазними проводами), так і освітлювального обладнання, яке живиться від фазного та нульового проводів із напругою 220 В. Це дозволяє зменшити витрати на електроустановку завдяки скороченню кількості трансформаторів і зниженню перерізу проводів.

Мартенівський цех класифікується як приміщення з особливою небезпекою ураження електричним струмом через значну кількість електрообладнання, високу температуру повітря, наявність провідного пилу та струмопровідні підлоги. У таких умовах існує ризик одночасного контакту з металевими конструкціями та частинами електроустановок, що підвищує небезпеку, відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.01-97.

Через велику кількість металоконструкцій, а також вплив пилу, газів і високих температур, до монтажу й експлуатації електроустановок і мереж у мартенівському цеху висуваються підвищені вимоги.

Працівники цеху нерідко контактують із електроосвітлювальним обладнанням, що створює ризик ураження струмом. При розташуванні світильників нижче 2,5 метра від підлоги або робочих платформ можливий випадковий дотик до їх арматури. Для усунення цієї небезпеки необхідно заземлювати арматуру світильників, якщо напруга перевищує 110 В. У приміщеннях з підвищеною небезпекою або особливо небезпечних рекомендується використовувати напругу не більше 42 В, а для переносних світильників – не більше 12 В у несприятливих умовах, таких як робота в металевих резервуарах, дробарках чи барабанах.

Переносні лампи повинні мати захищену арматуру, а струмопровідні проводи — якісну ізоляцію для забезпечення максимальної безпеки персоналу.

3.5 Пожежна безпека

Мартенівський цех класифікується як об'єкт категорії Г, зона класу П-1, із третьою ступінню вогнестійкості. Основні зони та виробничі приміщення цеху поділяються наступним чином:

1. Пожежонебезпечні приміщення: до них належать зони, де використовуються або зберігаються горючі речовини. Пічний і розливний прольоти відносяться до класу П, а підсобні приміщення – до класу П-11а.

2. Вибухонебезпечні приміщення: це ділянки, де в нормальних умовах роботи можуть виділятися горючі гази чи пари, здатні формувати вибухонебезпечні суміші в контакті з повітрям або окиснювачами. До цієї категорії (В-1а) належать приміщення газоочистки.

Щоб запобігти поширенню пожежі, приміщення різних категорій відокремлюються одне від одного, а також від галерей транспортерів, коридорів і сходів, протипожежними стінами. Отвори в цих стінах закриваються дверима з вогнестійкими властивостями, які мають автоматичні пристрої для самозачинення.

У разі пожежі додаткову небезпеку створюють токсичні продукти горіння, що містять вибухонебезпечні компоненти. Для їх швидкого видалення встановлюються димові люки, які забезпечують контрольований відвід диму, знижують задимленість суміжних приміщень і сприяють легшому виявленню осередку займання.

Для пожежогасіння в цеху використовуються вогнегасники: один типу ВВП-12 і шість ВВ-5 і ВВ-8.

Кожне виробниче приміщення оснащене мінімум двома евакуаційними виходами. Будівля цеху обладнана системою блискавкозахисту.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні витрати $С_к$ розраховують у вигляді питомих величин, віднесених до 1000 м^3 газу (грн/1000 м^3):

$$C_K = \left(C_{ОСН.УСТ} + C_M + C_H + C_{БУД} + C_{МОН}\right) \cdot \frac{1000}{3600 \cdot Q_C \cdot \tau},$$

де $С_{ОСН. УСТ}$ – вартість основного устаткування, грн.;

$С_М$ – вартість установки і монтажу устаткування, грн.;

$С_{МОН}$ – вартість монтажу комунікацій , грн.;

$С_Н$ – вартість накладних витрат спеціалізованої організації, грн.;

$С_{БУД}$ – вартість будівлі, грн.;

$Q_С$ – секундна витрата газів, що очищаються, м^3/с, $Q_С$=64,1м^3/с;

τ – ефективний час роботи газоочистки за рік, год.

По базовому варіанту потрібне устаткування за ціною:

- газоочисне устаткування (блок з десяти труб Вентурі, бункер) – 500000 грн.;
- краплевловлювач типу – 360000 грн. (за 2 шт.);
- вентилятор ВМ-20А - 460000грн. (за 2 шт.);
- устаткування оборотного циклу – 6080000грн.;
- димар залізобетонний 120000 грн., 1 шт.;
- газоходи та металоконструкції – 320000 грн.
- КВП складе 25 % від вартості десяти труб Вентурі і двох краплевловлювачи:

КВП=0,25·(500000+360000)=215000 грн.

Всього вартість основного устаткування:

$$C_{ОСН.УСТ.} = 500000 + 360000 + 460000 + 6080000 + 120000 + 215000 + 320000 =$$

$$= 8055000 \quad \text{грн}$$

$С_М$=0,3·$С_{осн.уст}$=0,3·80550000=2416500 грн.;

$C_{МОН}$=0,15·$C_{осн.уст.}$=0,15·80550000=1208250 грн.;

$C_Н$=0,2·$C_{осн.уст}$=0,2·80550000=1611000 грн.

$C_{буд}$ визначається множенням об'єму будівлі, необхідної для розміщення газоочисних апаратів, на ціну за 1 м^3 будівлі. Оскільки в проектному і базовому варіантах газоочистка стоїть не в будівлі, а на відкритому просторі, то вартість будівлі ми не розраховуємо.

У проєктованому варіанті передбачені деякі удосконалення окремих елементів газоочистки. Тобто потрібне устаткування за ціною:

- газоочисне устаткування (блок з двох труб Вентурі)– 200000 грн.
- два краплевловлювача типу КЦТ – 280000 грн., (за 2 шт);
- вентилятор ВМ-20А 230000 грн.;
- димар залізобетонний 120000 грн., 1 шт.;
- устаткування оборотного циклу – 6080000 грн.;
- газоходи та металоконструкції – 320000 грн.
- КВП складе 25% від вартості основного устаткування:

$$КИП = 0{,}25 \cdot (200000 + 280000) = 120000 \text{грн.}$$

Всього вартість основного устаткування:

$C_{ОСН\ УСТ}$=200000+230000+120000+6080000+120000+320000=

=7070000 грн.

$C_М$=0,3·7070000=2121000 грн.

$C_{МОН}$=0,15·7070000=1060500 грн.

$C_Н$=0,2·7070000=1414000 грн. .

Для базового варіанту:

$$C_К = (8055000 + 2416500 + 1208250 + 1611000) \cdot \frac{1000}{3600 \cdot 22{,}22 \cdot 8280} = 20{,}07 \text{ грн/1000м}^3$$

Для проєктного варіанту:

$$C_К = (7070000 + 2121000 + 1060500 + 1414000) \cdot \frac{1000}{3600 \cdot 22.22 \cdot 8280} = 17{,}61 \text{ грн/1000 м}^3$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Капітальні витрати на очищення газу

Показники	Варіант					
	Базовий			Проектний		
	К-ть од-ц	Ціна одиниці, грн	Сума, тис., грн	К-ть од-ц	Ціна одиниці, грн	Сума тис., грн
Вартість основного устаткування:						
Труби Вентурі	10	50000	500	2	100000	200
Краплевловлювач	2	180000	360	2	140000	280
Димосос ВМ-20А	2	230000	460	1	230000	230
Труба димова залізобетонна	1	120000	120	1	120000	120
Устаткування оборотного циклу	1	6080000	6080	1	6080000	6080
КВП		215000	215		120000	120
Разом устаткування			8055			7070
Вартість установки і монтажу устаткування			2416,5			2121
Вартість монтажу комунікацій			1208,25			1060,5
Накладні витрати спец. організації			1611			1414
Всього капзатрат, грн.			13290,75			11625,5
Всього капзатрат, грн/1000 м^3	25,7			17,61		

4.2 Розрахунок експлутаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати на очищення газу:

$$C = \sum_{i=1}^{N} C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7,$$

де C_1 – витрати на основні і допоміжні матеріали, грн;

C_2 – витрати на електроенергію, грн;

C_3 – амортизаційні відрахування від основного і ремонтного фондів, грн;

C_4 – основна і додаткова зарплата виробничих робітників, грн;

C_5 – відрахування на соціальне страхування, грн;

C_6 – витрати на поточний ремонт і вміст основних засобів, грн.;

C_7 – інші цехові витрати, грн.

Для очищення газів необхідна вода. Тому рахуємо вартість води, що витрачається за рік:

$$C_1=q_ж \cdot Ц,$$

де $Q_ж$ – витрата води на очищення газу, тис.м^3/рік, $Q_ж$=139,03 м^3/год;

Ц – ціна води, грн/1000м^3. Ц=3700 грн/1000 м^3.

Базовий та проектний варіанти:

C_1=(139,03·8280/1000)·3700=4259384,35 грн.

На 1000 м^3 газу:

$$\frac{4259384.35 \cdot 1000}{22,22 \cdot 3600 \cdot 8280} = 6,43$$

Енергетичні витрати:

$$C_2 = r \cdot l \cdot N \cdot \frac{1000}{3600 \cdot Q_c},$$

де r – вартість електроенергії, для промислових підприємств r=1,696 грн/кВт·год, а для години пік 3,67 грн/ кВт·год;

l – коефіцієнт, що враховує вміст обслуговуючого персоналу, приймаємо l=1,1;

N – сумарна потужність електродвигунів до тягодутьевым агрегатів і джерел живлення, кВт.

По базовому та проектному варіантах необхідна електроенергія для джерел живлення потужністю 808,5 кВт.

$$C_2 = (1,969 \cdot \frac{3}{4} + 3,67 \cdot \frac{1}{4})1,1 \cdot 808,5 \cdot \frac{1000}{3600 \cdot 22,22} = 26.61 \quad \text{грн/1000м}^3$$

Амортизаційні відрахування від основних фондів визначаються множенням вартості основних фондів на відповідні норми амортизаційних відрахувань. Норми амортизаційних відрахувань: для будівель і споруд – 5 %, для устаткування – 25 %, для комунікацій – 15 %.

Амортизаційні відрахування на устаткування:

$$A_{ОБ} = 0,25 \cdot C_{ОСН.УСТ},$$

по базовому варіанту:

$A_{об} = 0{,}25 \cdot 8055000 = 2013750$ грн.

по проектному варіанту:

$A_{оп} = 0{,}25 \cdot 7070000 = 1767500$ грн.

Амортизаційні відрахування на комунікації:

$A_К = 0{,}15 \cdot C_{МОН}$,

по базовому варіанту:

$A_{кб} = 0{,}15 \cdot 1208250 = 181237.5$ грн.

по проектному варіанту:

$A_{кп} = 0{,}15 \cdot 1060500 = 159075$ грн.

Амортизаційні відрахування на КВП:

$A_{квп}=0{,}25 \cdot C_{квп}$;

по базовому варіанту:

$A_{квп}=0{,}25 \cdot 215000=53750$ грн.

по проектному варіанту:

$A_{квп}=0{,}25 \cdot 120000=30000$ грн.

Всього по базовому $C_З$= 2248737,5 грн., а по проектному $C_З$ =1956575 грн.

Відрахування до ремонтного фонду складає 15 % від амортизаційних відрахувань:

$Ф_Р = 0{,}15 \cdot А$,

по базовому варіанту:

С6б=0,15 ·2248737,5=337310,63

по проектному варіанту:

С6п= 0,15 ·1956575=293486,25

Інші цехові витрати складають 25 % від суми амортизаційних відрахувань, відрахувань до ремонтного фонду і зарплати службовців

$$C_7 = 0{,}25(А + Ф_Р)$$

по базовому варіанту:

$C_{7б} = 0,25(2248737.5 + 138519,2) = 596315.33$ грн

по проектному варіанту:

$C_{7п} = 0,25(1956575 + 138519,2) = 523773.55$ грн

Кількість уловленого пилу з очищеного газу:

$$Q = \frac{(Z_1 - Z_2) \cdot П}{10^6}, \text{ т}$$

де Z_1 – запиленість газу до очищення, г/м^3;

Z_2 – запиленість газу після очищення, г/м^3.

По базовому варіанту:

$$Q = \frac{(4 - 0,1) \cdot 22,22 \cdot 3600 \cdot 8280}{10^6} = 2583,10 \text{ т}$$

По проектному варіанту:

$$Q = \frac{(4 - 0,05) \cdot 22.22 \cdot 3600 \cdot 8280}{10^6} = 2616,22 \text{ т.}$$

Приймаємо втрати уловленого продукту при утилізації 10%:

$$Q_{УТ} = 0,9 \cdot Q, \text{ т}$$

По базовому варіанту утилізація вловленого пилу не відбувається.

По проектному варіанту:

$$Q_{УТ} = 0,9 \cdot 2616,22 = 2354,6 \text{ т.}$$

По проектному варіанту:

Еут=2354,6·125=220557,38 грн.

Різниця маси вловленного пилу:

$$M = \frac{Q \cdot \tau \cdot \Delta C}{10^9} = \frac{30,6 \cdot 3600 \cdot 8280 \cdot (100 - 50)}{10^9} = 45,61 \text{ т/рік.}$$

Скорочення платежів за забруднення:

$$П = К_б \cdot M = 69 \cdot 45.61 = 3146.83 \text{ грн.}$$

Штраф за понад викиди:

$$Ш = 5 \cdot К_б \cdot M = 5 \cdot 69 \cdot 45.61 = 15734,15 \text{ грн.}$$

Економія за скорочення викидів:

$E_{СК} = П + Ш = 3146.83 + 15734{,}15 = 18880{,}98$ грн.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Витрати на очищення 1000 м^3 газу

Статті витрат	Одиниці виміру	Ціна, грн	Базовий		Проектний	
			Витра-та на1000 м^3	Сума витрат, грн	Витра-та на 1000 м^3	Сума витрат, грн
Вода	м^3	3,70	6,43	4259384,35	6,43	398268
Енергетичні витрати	кВт·год	1,69 3,67	26,1	7516048,32	26,1	7516048,32
Зарплата виробничих робітників	грн			138519,2		138519,2
Амортизаційні відрахування	грн.			2248737,5		1956576
Відрахування до ремонтного фонду	грн.			337310,63		293486,25
Інші цехові витрати	грн.			596313,33		523773,55
Загальні витрати на очищення	грн.			15096313,3		10826671,35
Економія від утилізації пилу	грн.					220557,38
Економія за викиди	грн.					15734,15
Загальні витрати з врахуванням економії	грн.		20,79	15096313,3	16,99	10590379,79

4.3 Техніко-економічне обґрунтування рішень, прийнятих в проекті

Річний економічний ефект:

$$E = \left[\left(C_1 + E_H \cdot K_1\right) - \left(C_2 + E_H \cdot K_2\right)\right] \cdot Q_{ПР} =$$
$$= \left[\left(C_1 - C_2\right) + E_H\left(K_1 - K_2\right)\right] \cdot Q_{ПР}, грн$$

де C_1 і C_2 – собівартість одиниці продукції за допомогою відповідний базової і нової техніки, грн;

$К_1$ і $К_2$ – питомі капітальні вкладення на одиницю продукції базову і нову техніку, грн;

$Е_Н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, для средозахисних заходів $Е_Н$=0,15;

$Q_{пр}$ – річний обсяг виробництва за допомогою нової техніки в розрахунковому році, тис. $м^3$.

$$E = \left[(21.79 - 15.99) + 0{,}17 \cdot (25{,}7 - 17{,}61)\right] \cdot 22{,}22 \cdot \frac{3600}{1000} \cdot 8280 = 4921139{,}8$$

Очікуваний термін окупності:

$$Т_{ОК} = \frac{К_{ПР} - К_Б}{С_Б - С_{ПР}},$$

$$T_{ОК} = \frac{25.7 - 17.61}{21{,}79 - 15{,}99} = 2{,}13 \text{ років}$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень в нову техніку:

$$E_{ПР} = \frac{1}{T_{ОК}} \geq 0{,}12,$$

де $Т_{ОК}$ – очікуваний термін окупності.

$$E_{ПР} = \frac{1}{2.13} = 0{,}47.$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні техніко-економічні показники

Показники	Одиниці виміру	Варіант	
		базовий	проектний
Річна виробнича потужність газоочистки	млн. $м^3$	662,3	662,3
Вміст пилу	$г/м^3$		
до очищення	$г/м^3$	4,0	4,0
після очищення	$г/м^3$	0,1	0,05
Кількість продукту, який утилізували	т	-	2354,6
Річні експлуатаційні витрати	тис. грн.	15096,31	10590,37
Капітальні вкладення	тис.грн.	13290,75	11625,0
Річний економічний ефект	грн.		4921139,8
Економічна ефективність капітальних вкладень	грн/грн		0,47
Термін окупності капітальних вкладень	років		2,13

ВИСНОВКИ

У ході виконання дослідження було детально розглянуто технологічний процес виплавки сталі, проаналізовано характеристики відхідних газів мартенівського виробництва, а також обґрунтовано вибір системи газоочистки. Запропонована система газоочистки забезпечує високу ефективність очищення, досягаючи кінцевого вмісту пилу у відхідних газах не більше 50 мг/м³.

Описано склад і особливості очищення стічних вод, які утворюються в процесі газоочистки, та наведено характеристику обладнання, зокрема радіального відстійника діаметром 30 метрів, який входить до складу системи очищення.

У рамках роботи проведено розрахунки технологічної схеми обробки газів. Запропоновано використання котла-утилізатора типу КУ-100-1 для виробництва перегрітої водяної пари за рахунок тепла відхідних газів мартенівських печей. До технологічної схеми також включено скрубер Вентурі.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуті потенційно небезпечні і шкідливі чинники виробничого середовища мартенівського цеху.

В результаті запропонованих заходів щодо очищення газів мартенівського цеху можливо отримати річний економічний ефект у розмірі 4921139,8 тис. грн. Додаткові капітальні вкладення підприємство окупить за 2,13 років за рахунок зниження експлуатаційних витрат. Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень за результатами розрахунків склав 0,47.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мартенівська піч – історія, принцип роботи, схема. URL: https://metinvest-smc.com/ua/articles/martenivska-pich/?srsltid=AfmBOorARx3KEsyyauTQy1OSZrinKhKXvk14mYvCNednnkJbhJfXmGRn (дата звернення: 04.10.2024).

2. Мартенівський спосіб. URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F/page8.html (дата звернення: 04.10.2024).

3. Принципові технологічні процеси отримання сталі. URL: https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/pidruchnuku/7/54.pdf (дата звернення: 04.10.2024).

4. Мартенівське виробництво. URL: https://leksika.com.ua/18240302/ure/martenivske_virobnitstvo (дата звернення: 10.10.2024).

5. Кожемякін Г.Б. Теоретичні основи та техніка захисту водного басейну : методичні вказівки до виконання курсового проекту та лабораторних робіт для студентів ЗДІА напряму 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / Г.Б. Кожемякін, К.В. Бєлоконь. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 92 с.

6. Кожемякін Г.Б. Теоретичні основи та техніка захисту повітряного басейну : методичні вказівки до виконання курсового проекту та лабораторних робіт для студентів ЗДІА напряму 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» / Г.Б. Кожемякін, К.В. Бєлоконь. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 115 с.

7. Павлюк Ю.С. Повітродувні та насосні станції: Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи для студ. ЗДІА спец. 7.090401 спец. "Екологіч. аудит та охорона навколиш. середовища" всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 30 с.

8. Державні санітарні норми. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень/ М-во охорони здоров`я України. Головне сан.-епідем. упр, офіційне видання. Київ, 1999. 15 с.

9. Бєлоконь К.В., Манідіна Є.А. Методичні вказівки до виконання дипломних робіт (проектів) за освітньо-кваліфікаційним рівнем «Магістр» для студентів ЗДІА спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної та заочної форми навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 64 с.

10. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення / Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, офіційне видання. Київ, 2006. 81 с.

11. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці : +CD-ROM : підручник для внз : [затв. М-вом освіти і науки, молоді та спорту України]. Київ : Знання, 2010. 373 с.

12. Беренда Н.В., Троїцька О.О, Манідіна Є.А. Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень: навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА спец. 183 "Технології захисту навколишнього середовища", 263 "Цивільна безпека" всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 196 с.

13. Управління ризиками на робочому місці та системи управління безпекою і гігієною праці. Київ : ILO. Проект ЄС-МОП, 2018.