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 технологічного газу доменних печей»*

Виконав: студент ___*2*__курсу, групи *8.1833*_____

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

спеціалізації
_____
(шифр і назва)
_____*І.В. Калугін*_____

Керівник *доцент, к.т.н. Кожемякін Г.Б*

Рецензент *к.т.н. Грідяєв В.В.*_____

Запоріжжя
2025

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*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____*МТЕТБ*_____
_____ *Ю.О. Бєлоконь*__

«10 » лютого 2025 року

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

_____*Калугін Іван Васильович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _«Проєкт системи мокрого очищення технологічного газу доменних печей»_____
керівник роботи_____*Кожемякін Геннадій Борисович*____*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 _____*10.02.2025*_____
3. Вихідні дані до роботи ____*розробити високоефективну систему мокрого очищення технологічного газу доменних печей: концентрація пилу в газі на вході в пиловловлювач, Z_1 = 60 г/м^3; густина пилу, $\rho_п$ = 3200 кг/м^3; температура газу перед пиловловлювачем, t_1= 220℃; витрати доменного газу за нормальних умов, $V_о$= 200 000 м^3/год; тиск газу на виході з печі $P_п$= 230кПа; динамічна в'язкість газу μ = 25 мкПа·с.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Вступ. Опис технологічного процесу виплавки чавуну в доменній печі. Характеристика пилогазових викидів доменного виробництва. Аналіз існуючих способів очищення технологічних газів доменного виробництва. Розрахунок газоочисного устаткування. Розрахунок аеродинаміки газового тракту. Вибір тягодуттєвого обладнання. Утилізація вловленого продукту.*

Охорона праці та техногенна безпека. Економічне обґрунтування проєктних рішень Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційний матеріал на 11 слайдах (на 11 сторінках)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Загальна частина	*Кожемякін І.В., доцент*	
Проєктна частина	*Кожемякін І.В., доцент*	
Охорона праці та техногенна безпека	*Кожемякін І.В., доцент*	
Економічне обґрунтування проєктних рішень	*Кожемякін І.В., доцент*	

7. Дата видачі завдання 04.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Вступ*		
2	*Загальна частина*		
3	*Проєктна частина*		
4	*Охорона праці та техногенна безпека*		
5	*Економічне обґрунтування проєктних рішень*		
6	*Висновки*		
7	*Презентація*		

Студент _____ *Іван КАЛУГІН*

Керівник роботи _____ *Геннадій КОЖЕМЯКІН*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 62 с., 10 табл., 9 рис., 12 джерел

ДОМЕННЕ ВИРОБНИЦТВО, КОЛОШНИКОВИЙ ГАЗ, СИСТЕМА ОЧИЩЕННЯ, ПОРОЖНИСТИЙ СКРУБЕР, СКРУБЕР ВЕНТУРІ, ДРОСЕЛЬНА ГРУПА

Об’єкт дослідження – виробництво чавуну в доменних печах.

Предмет дослідження – система газоочищення технологічних газів доменного виробництва.

Мета роботи – розробити високоефективну мокру систему очищення технологічних газів доменного виробництва.

Розроблено систему «мокрого» очищення технологічних викидів чавунного виробництва. У ході роботи проведено аналіз сучасних методів очищення доменного газу, обґрунтовано вибір оптимальної технології та виконано відповідні розрахунки.

Запропонована схема газоочистки демонструє ефективність у вилученні твердих частинок з доменного газу, що дозволяє значно знизити шкідливі викиди у навколишнє середовище.

Економічна доцільність проєкту підтверджена розрахунками: термін окупності капітальних вкладень становить 3,2 роки, що є нижчим за нормативний термін окупності (6,67 років). Коефіцієнт економічної ефективності – 0,31 грн/(рік·грн), що перевищує нормативний показник у 0,15 грн/(рік·грн).

Рекомендації щодо подальшого вдосконалення – можливість удосконалення системи шляхом використання комбінованих методів очищення та автоматизації процесів, що дозволить підвищити ефективність газоочистки та знизити експлуатаційні витрати.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8
1.1 Характеристика доменного виробництва 8
1.2 Характеристика газових викидів доменного виробництва 14
1.3 Оцінка теплотворної здатності доменного газу при різній їх вологості 18
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА 21
2.1 Аналіз способів очищення технологічних газів доменного виробництва 21
2.2 Розрахунок радіального пиловловлювача 29
2.3 Розрахунок порожнистого скруберу 32
2.4 Розрахунок скруберу Вентурі 36
2.5 Аеродинамічний розрахунок газового тракту 39
2.6 Утилізація шламів газоочисток доменних печей 40
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 45
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів 45
3.2 Заходи з поліпшення умов праці робітників доменного цеху 48
3.3 Виробнича санітарія 49
3.4 Заходи з електробезпеки 50
3.5 Пожежна безпека 51
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ 54
4.1 Капітальні витрати на реалізацію запроєктованого об’єкту 54
4.2 Розрахунки експлуатаційних витрат на очищення газів 56
ВИСНОВКИ 60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 61

ВСТУП

Сучасне доменне виробництво є важливою складовою металургійної галузі, яка відіграє ключову роль у забезпеченні промисловості чавуном. Однак цей процес супроводжується значними енерговитратами, що потребує оптимізації технологічних параметрів, підвищення ефективності використання вторинних ресурсів та зниження впливу на навколишнє середовище.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає у вдосконаленні технологічних процесів доменного виробництва з метою підвищення його енергоефективності, зниження витрат палива та покращення екологічних показників. Аналіз існуючих методів очищення доменного газу, розробка заходів щодо оптимізації його використання та впровадження інноваційних технологій дозволять досягти більш економічного та екологічного виробництва.

Доменний, або колошниковий, газ є побічним продуктом доменного виробництва. Це низькокалорійний газ, що містить приблизно 30–35% горючих складників і велику кількість баласту (азоту та вуглекислого газу). Тому його використання у високотемпературних печах ускладнене, а передача на значні відстані економічно невигідна. Витрата доменного газу становить 200 000 м³/год.

Доменний газ, що утворюється в печі, завжди забруднений колошниковим пилом. Винос пилу з печі зумовлений захопленням дрібних частинок потоком газу, що проходить крізь шар шихти, а також випаровуванням деяких елементів шихти в зоні високих температур. Запиленість колошникового газу становить 45 г/м³.

Очищення доменного газу від пилу необхідне для захисту атмосфери, а також з технічних причин: неочищений доменний газ спричиняє оплавлення повітронагрівачів, засмічення пальникових пристроїв, ошлакування поверхонь нагріву котельних агрегатів тощо. За нормами вміст пилу в доменному газі не повинен перевищувати 10 мг/м³. Для очищення газу до таких низьких

концентрацій пилу на металургійних підприємствах застосовують багатоступеневі комбіновані схеми очищення.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити високоефективну мокру систему очищення технологічних газів доменного виробництва

Завдання до кваліфікаційної роботи:

-розглянути джерела викидів у доменному виробництві

-надати характеристики технологічним газам доменного виробництва

- проаналізувати існуючи системи очищення технологічних газів доменного виробництва

-запроєктувати сучасну систему очищення технологічних газів;

-визначити основні техніко-економічні показники впровадження системи очищення;

-проаналізувати шкідливі та небезпечні фактори, що виникають в доменному виробництві.

Кваліфікаційна робота спрямована на розробку технологічних заходів, які дозволять покращити роботу доменного виробництва, знизити рівень викидів забруднюючих речовин та підвищити ефективність використання енергетичних ресурсів.

РОЗДІЛ 1
ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика доменного виробництва

Основною метою доменного виробництва є отримання чавуну з залізних руд шляхом їхньої обробки в доменних печах. Для цього процесу використовують різноманітні сировинні матеріали, зокрема паливо, залізні та марганцеві руди, а також флюси [9,10].

Основним паливом у доменному процесі є кокс, який отримують із кам'яного вугілля. Його призначення полягає в забезпеченні плавки теплом та енергією для відновлення заліза. Окрім цього, кокс створює необхідну пористу структуру, що сприяє проходженню газів у доменній печі.

Залізні руди, що завантажуються в доменну піч, містять залізо у зв’язаній формі з іншими елементами. Під час плавки залізо відновлюється, збагачується вуглецем і переходить у стан чавуну.

Флюси – це додаткові компоненти, які вводять у доменну піч для зниження температури плавлення пустої породи руди, а також для нейтралізації золи коксу. Вони відіграють важливу роль у формуванні шлаків із заданими фізико-хімічними характеристиками, необхідними для ефективного виробництва чавуну.

Завантаження підготовлених шихтових матеріалів у доменну піч здійснюється у певних пропорціях за допомогою засипного механізму. У нижню частину печі – горн – подається стиснене повітря, нагріте до температури 1000-1200 ºС, яке додатково збагачують киснем. Для підвищення ефективності плавки в піч також можуть вводитися природний газ, мазут або пиловугільне паливо. В результаті складних фізико-хімічних процесів у доменній печі утворюються чавун, шлаки та гази [9,10].

Доменні печі є шахтними агрегатами, в яких плавка здійснюється безперервно. Зверху завантажують сировину – агломерат і кокс, а через фурми в нижній зоні печі подають нагріте повітря та паливо в рідкому, газоподібному

або пиловидному стані. Гази, що утворюються під час горіння палива, проходять крізь стовп шихти, передаючи їй свою теплову та хімічну енергію.

Час перебування матеріалів у доменній печі складає 4-6 годин, а газів – лише 1-3 секунди. Висока ефективність плавки досягається завдяки оптимальному розподілу газів по поперечному перерізу печі. Це забезпечує максимальну передачу тепла матеріалам і сприяє повному використанню відновлювальних властивостей газів. Розподіл газового потоку залежить від правильного розміщення шихти.

Завантаження матеріалів у піч здійснюється порціями – колошами (рис. 1.1). Їхній розмір і метод подачі впливають на рівномірність газового розподілу. Оптимальним вважається такий розподіл газів, при якому відновлення окислів заліза і нагрівання матеріалів відбувається рівномірно по всьому перерізу печі.

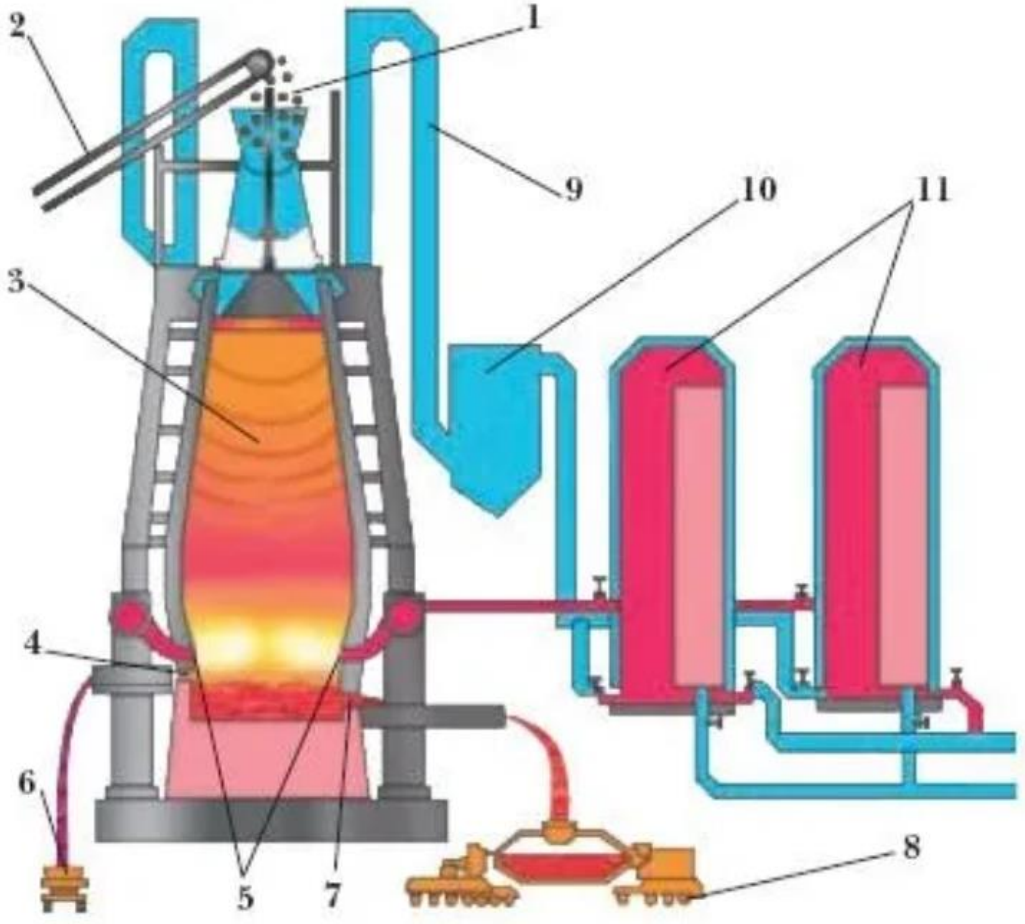
Гази мають природну тенденцію рухатися вздовж стінок печі, оскільки там менший опір шару шихти. Тому необхідно забезпечити рівномірний схід матеріалів від колошника до горна, що вимагає спеціальної організації газового потоку.

У сучасному доменному виробництві основним залізорудним матеріалом є агломерат, який має меншу газопроникність порівняно з коксом. З цієї причини його завантажують ближче до стін печі, тоді як кокс концентрують у центрі. Це сприяє кращому проходженню газів і підвищенню ефективності плавки.

Завантаження матеріалів у доменну піч здійснюється за допомогою похилих скіпових підйомників. Основні складові такого підйомника – похилий міст, два скіпи, скіпова лебідка та система канатів і блоків. Завантажені скіпи піднімаються по рейках, нахил яких становить 47-54°, а в зоні скіпової ями – до 60°.

Вибір засипного обладнання залежить від особливостей виробництва. Наприклад, на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь» використовують триконусні засипні апарати для доменних печей ДП-2, ДП-3, ДП-4, а на ДП-5 встановлений безконусний засипний механізм. Безконусний засипний апарат включає

прийомні воронки-бункери, дозувальні клапани, шихтові затвори та розподільники. Така конструкція дозволяє рівномірно розподіляти матеріали у печі, забезпечуючи стабільність процесу плавки.



1 – завантажувальна воронка; 2 – завантажувальний конвеєр; 3 – шахта; 4 – шлакова льотка; 5 – фурма; 6 – шлаковоз; 7 – чавунна льотка; 8 – чавуновоз; 9 – відходить газ; 10 – газоочистка; 11 – повітронагрівачі

Рисунок 1.1 – Схема доменної печі

Колошникове обладнання служить для обслуговування механізмів завантаження шихти, а також для проведення ремонтних робіт. Сировиною для доменного виробництва є агломерат, руда, флюси і паливо. Перед використанням руда проходить підготовку на агломераційних фабриках, де її перетворюють в окатиші.

Флюси використовують для утворення легкоплавких шлаків і видалення шкідливих домішок, таких як сірка та фосфор. Вони поділяються на дві групи:

основні (вапняк, доломіт) і кислі (кварцити, піщаники). Вибір флюсів залежить від складу руди та золи коксу.

Паливо в доменній печі необхідне для створення високих температур, що дозволяють розплавити руду та флюси, а також для процесу відновлення заліза. Основним видом палива є кокс, що має високу вуглецеву складову (83-87%), достатню міцність, низький вміст летких речовин (1-2%) і велику теплоту згоряння (більш ніж 6000 ккал/кг).

Крім сировини, у виробництві чавуну використовують допоміжні матеріали: вогнетриви, повітря, воду, кисень, природний газ і пару. Вогнетриви забезпечують захист печі від термічних і хімічних впливів. Повітря необхідне для дуття, витрати якого складають 2-2,4 нм³/хв на 1 м³ печі. Вода використовується для охолодження печі, технологічних процесів та очищення газів.

Основна суть доменного процесу полягає у відновленні заліза та плавленні шихти при температурах 1700-1900 ºС. У цьому процесі кокс забезпечує необхідне тепло, а флюси сприяють утворенню шлаку та очищенню чавуну [9,10].

$$C_{кокс}+O_{2\ повітря}=CO_2 \quad (1.1)$$

$$C_{кокс} + CO_2 = 2CO \quad (1.2)$$

Газоподібні продукти перебувають у печі порівняно короткий час, але за цей період вони виконують значну роботу. Вони прогрівають всю шихту в печі та взаємодіють із нею, сприяючи формуванню чавуну і шлаків. У процесі цього взаємодії на різних рівнях печі, за відповідних температур, відбуваються фізико-хімічні перетворення: розкладання плавильних матеріалів, відновлення окислів заліза, зменшення вуглецю в залізі, плавлення чавуну та утворення шлаку.

Розкладання матеріалів починається з моменту їх потрапляння в доменну піч. У верхній частині печі температура газів складає 150-300 °С. Це тепло сприяє випаровуванню вологи з коксу, а також випаровуванню летких

органічних сполук; залізна руда також вивільняє свою вологу. У верхній зоні печі з відносно низькою температурою відбувається додаткове сушіння матеріалів перед плавкою.

Коли шихта рухається вниз і досягає температури 400–450 °С, починається відновлення окислів заліза, що відбувається за допомогою вуглецю, котрий є основним відновлювачем заліза. Цей процес проходить у два етапи: на першому етапі окис вуглецю відокремлює кисень, а на другому етапі – твердий вуглець коксу. Перший етап відновлення відбувається в температурному діапазоні 400–950 °С у шахті печі, де окис вуглецю реагує з киснем, поступово забираючи його у залізної руди. Цей процес описують наступні хімічні реакції.

$$3Fe_2O_3 + CO = 2Fe_3O_4 + CO_2; \quad (1.3)$$

$$Fe_3O_4 + CO = 3FeO + CO_2; \quad (1.4)$$

$$FeO + CO = Fe + CO_2. \quad (1.5)$$

Проте окис вуглецю може відновити лише приблизно 50% закису заліза FeO. Інша частина FeO відновлюється за допомогою твердого вуглецю коксу на другому етапі при температурах 950–1100 °С. Цей процес стартує в зоні розпару та завершується в нижніх частинах доменної печі:

$$FeO + C = Fe + CO. \quad (1.6)$$

Внаслідок відновлення руди формується тверде пористе залізо, яке має температуру плавлення 1140 °С. При подальшому спуску залізо піддається навуглецьовуванню через взаємодію з вуглецем газу та коксу за такою реакцією:

$$3Fe + C = Fe_3C. \quad (1.7)$$

Під час навуглецювання та поступового переміщення карбіду заліза Fe3C в зону високих температур, які перевищують його точку плавлення,

відбувається плавлення металевих часток і утворення перших рідких крапель. Це явище можна спостерігати при температурах 1250-1300 °С у зоні розпару або верхній частині заплечиків.

Одночасно з відновленням заліза відновлюються й інші елементи шихти. Наприклад, більша частина марганцю та фосфору, взаємодіючи з окисом вуглецю або вуглецем коксу, відновлюються та переходять у залізо. Відновлення стійкіших окислів кремнію й сірки відбувається лише частково. Окисли кальцію, магнію й алюмінію, що входять до складу порожньої породи, є дуже стійкими й не піддаються відновленню за допомогою вуглецю або окису вуглецю навіть при максимальних температурах в печі. Наприклад, температура плавлення глинозему (окисла алюмінію) становить 2050 °С, тоді як максимальна температура в печі досягає 1900 °С. Для зниження температури плавлення цих тугоплавких сполук, їх розкладу та переходу в шлак, до печі додають кислі або основні флюси.

Процес утворення рідкого шлаку в печі є складним фізико-хімічним процесом. Найбільш часто використовуваним флюсом є вапняк, який в верхній частині печі піддається випалу та розкладу за певною реакцією.

$$CaCO_3 = CaO + CO_2, \qquad (1.8)$$

У результаті даної реакції відбувається утворення оксиду кальцію.

Цей окис взаємодіє з глиноземом, а також частково з кремнієм і сіркою, переводячи їх у склад шлаків. Доменні шлаки містять порожню породу шихти, флюси, невідновлені окислі заліза та окисні сполуки матеріалів футеровки печі. Шлаки мають великий вплив на склад чавуну, його температуру плавлення та рівень забруднення шкідливими домішками. Формування шлаків починається в нижній частині шахти і завершується в області заплечиків при температурах, що перевищують 1400 °С.

Краплі навуглецьованого заліза, що спливають у горн печі, ще не являють собою чавун. Під час перебування в горні сплав заліза з вуглецем зазнає хімічних змін: до нього додаються інші відновлені окислі, які не потрапили в

шлак. Чавун, що виводиться з печі, містить близько 4% вуглецю, значну частину марганцю, увесь фосфор, а також кремній і сірку. Шлаки, що утворюються в горні, складаються з двох шарів: верхній – шлаковий, а нижній – чавунний . Ці шлаки й чавун періодично випускають через відповідні льотки.

Кінцевими продуктами доменної плавки є чавун, шлаки та доменний газ. Чавун є основним продуктом, а шлаки й гази – побічними. Метою доменного виробництва є отримання чавуну, який є багатокомпонентним сплавом заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, фосфором і сіркою. В залежності від цільового призначення чавуну та складу шихтових матеріалів, в ньому можуть бути присутніми хром, нікель, ванадій, титан, мідь і миш'як. Зміст основних елементів (C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Cu, As) регламентується відповідними стандартами чи технічними умовами.

Склад чавуну, отриманого в доменному процесі, визначається вимогами споживачів та технологічними можливостями плавки. Відповідно до цього підбираються сполуки шихтових матеріалів і технологічний режим плавки. Усі доменні чавуни поділяються на три основні типи:

– передільний, що використовується для подальшого переплаву в сталь;

– ливарний, який після переплаву використовується для виготовлення чавунних виробів;

– доменні феросплави, що застосовуються як розкислювачі або добавки в сталеплавильному і чавуноливарному виробництвах.

1.2 Характеристика газових викидів доменного виробництва

Виробництво чавуну в доменній печі – це безперервний технологічний процес, що вимагає стабільного завантаження шихти, випуску чавуну та відведення доменного газу. Цей газ утворюється в результаті подачі повітря в піч у фурменій зоні, при цьому відновний газ під власним тиском виділяється з печі, захоплюючи пил з колошника.

Частина шихтових матеріалів виноситься з доменної печі газом, що відходить, з двох основних причин: по-перше, через захоплення дрібних часток шихти потоком газу, і по-друге, через сублімацію деяких речовин, що знаходяться в шихті (наприклад, сполуки кремнію, алюмінію, цинку або органічні сполуки, що потрапили в піч разом з коксом або промасленою металевою стружкою). При нормальній роботі печі та тиску під колошником винос пилу становить 50-60 г/м³, у деяких випадках – до 100 г/м³. При переведенні печей на роботу з підвищеним тиском під колошником концентрація пилу в газі зменшується до 15-20 г/м³, що пояснюється зниженням питомих об'ємів і швидкостей газів у печі. Питомий викид пилу на одну тонну чавуну складає 50-150 і 25-75 кг/т залежно від умов.

Хімічний склад пилу при виплавці чавуну з підвищеним тиском під колошником виглядає так: 6,02% FeO; 12,9% Fe_2O_3; 13,8% Fe загалом; 14,6% SiO_2; 4,35% Al_2O_3; 4,35% MgO; 11,85% CaO; 0,74% S; 3,75% MnO. Втрати при прожарюванні складають 27,68%.

Гранулометричний склад пилу може значно варіювати в залежності від різних чинників. Приблизний розподіл часток за розмірами можна оцінити за наведеними даними (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Дисперсний склад доменного пилу

Розмір часток, мкм	>200	200-100	100-60	60-20	20-10	10-1	<1
Вміст,% (по масі)	34,5	12,3	19,0	25,0	7,5	1,65	0,05

Доменний газ, також відомий як колошниковий, є побічним продуктом доменного процесу. Це газ з низьким калорійним значенням, що містить близько 30-35% горючих компонентів і значну кількість баластних елементів, таких як азот і вуглекислий газ. Тому його використання в

високотемпературних печах є складним, а транспортування на великі відстані є економічно неефективним.

Склад і основні характеристики доменного газу залежать від складу шихти та процесу плавки. Для покращення ефективності доменного процесу і зменшення споживання коксу застосовуються різноманітні методи, які також впливають на властивості газу: підвищення тиску, температури та вологості доменного дуття, збагачення його киснем, впорскування в горн природного газу, мазуту та інші. Як результат, під впливом цих факторів, що можуть мати навіть протилежний ефект, вміст водню в доменному газі збільшується, а кількість CO зменшується, що спричиняє незначну зміну теплоти згоряння, яка становить близько 3500-4000 кДж/м³, і зниження обсягу доменного газу з 3800-4000 до 2000-2500 м³ на тонну чавуну.

Нижче наведемо склад доменного газу (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Склад колошникового газу

Речовини	CO_2	CO	CH_4	H_2	O_2+N_2
Вміст, %	11,2	31,2	0,2	2,41	55,19

Температура доменного газу на виході з печі зазвичай становить 300-350 ºС, хоча в рідкісних випадках, при обваленні шихти, вона може досягати 600 ºС. Надлишковий тиск газу на колошнику часто не перевищує 0,25 МПа (для ПАО «Запоріжсталь» це значення складає не більше 0,13 МПа).

Основна кількість викидів у доменному виробництві виникає на рудному дворі, бункерній естакаді та на ливарному дворі. Наприклад, після початку випуску чавуну основним джерелом викидів стають льотки доменної печі. Біля льотки встановлено відсмоктування, яке вбирає запилені гази. Коли чавун рухається від льотки, повітря взаємодіє з рідким металом, в результаті чого утворюються запилені гази. Система аспірації сприяє виведенню шкідливих викидів безпосередньо з місць їх утворення на ливарному дворі. Пил, що

вловлюється, містить приблизно 83% окислів заліза, а також графіт та інші компоненти.

Максимальна концентрація пилу в аспіраційному повітрі спостерігається при одночасній роботі всього обладнання ливарного двору, скіпової ями та прийомної воронки засипного апарата (конвеєра, перевантажувального вузла, похилого мосту, грохотів). Середня концентрація пилу, який вловлюється в системі очищення аспіраційного повітря ливарного двору ДП-5, скіпової ями та прийомної лійки засипного апарата, складає 2,98 г/м³.

Хімічний склад пилу, який вловлюється під час очищення аспіраційного повітря на ливарному дворі, здебільшого залежить від фізико-хімічних властивостей шихтових матеріалів, використовуваних у процесі виробництва чавуну.

Пил, зібраний з аспіраційного повітря на ливарному дворі ДП-5, скіпових ям і прийомних воронок засипних апаратів, складається переважно з Fe2O3, що є основним компонентом при виробництві чавуну. Після відповідної обробки цей пил може бути повторно використаний у виробничому процесі.

При зливі чавуну й шлаків у пилоповітряній суміші втримуються також газоподібні речовини:

- оксид вуглецю (CO);
- оксиди азоту ($NO+NO_2$);
- діоксид сірки (SO_2)

Фактичні значення концентрації газоподібних речовин, які містяться в аспіраційних викидах доменного виробництва наведені в табл. 1.3 .

Найбільша концентрація окису вуглецю спостерігається в момент випуску чавуну й шлаків у льоток і хитних жолобів. При випуску гарячого шлаку з домни сірка реагує з киснем повітря з утворенням сірчистого газу. Сірчистий газ виділяється від шлакових льоток, хитних жолобів і шлаковозів.

Пил на рудному дворі утворюється під час розвантаження вагонів, перевантаження руди за допомогою грейферних кранів та подачі руди на бункерну естакаду. Орієнтовний питомий викид пилу на 1 т чавуну на рудному

дворі складає близько 50 кг, а на бункерній естакаді – 22 кг. Концентрація пилу в цих зонах може досягати 1000 мг/м³.

Таблиця 1.3 – Фактичні значення концентрації газоподібних речовин, які містяться в аспіраційних викидах доменного виробництва

№ п/п	Ділянка відбору проб	Од.виміру	Речовини			
			CO	NO	NO_2	SO_2
1	Льотка і скімер	мг/м^3 при НФУ	80,0	6,2	0,31	12,9
2	Хитний жолоб чавуну	мг/нм^3	79,4	5,85	0,28	10,5
3	Хитний жолоб шлаку	мг/нм^3	78,9	6,1	0,295	13,9
4	Після рукавного фільтру	мг/нм^3	17,13	5,19	0,259	10,2

У підбункерному приміщенні пил виділяється під час роботи вагонів, грохотів, лебідок та інших механізмів, а також під час транспортування матеріалів. Додатково пил може виходити через вікна та отвори для скіпів, при скиданні сирих матеріалів на колошник та через труби аспіраційних систем. Найбільша кількість пилу утворюється під час вивантаження сирих матеріалів за допомогою транспортерів, дозування вагон-вагами і подачі їх у скіп. Концентрація пилу при роботі вагон-ваг може досягати близько 10 г/м³.

1.3 Оцінка теплотворної здатності доменного газу при різній їх вологості

Через насичення водяними парами, теплотворна здатність доменного газу знижується на 90-170 кДж/м³ порівняно з сухим газом.

Для визначення зміни калорійності колошникового газу при перерахунку на вологий доменний газ, припускаємо, що вміст вологи в газі до очищення

становить 50 г/м³, а після очищення – 150 г/м³ [15,22,23]. Для розрахунку використовуємо такий склад колошникового газу в процентах: CO - 26; CO_2 - 19; H_2 - 3,6; N_2 - 51,4.

Теплотворна здатність доменного газу:

$$Q_{Н} = 126{,}45 \cdot CO + 107{,}6\ H_2 + 358 \cdot CH_4, \quad (1.9)$$

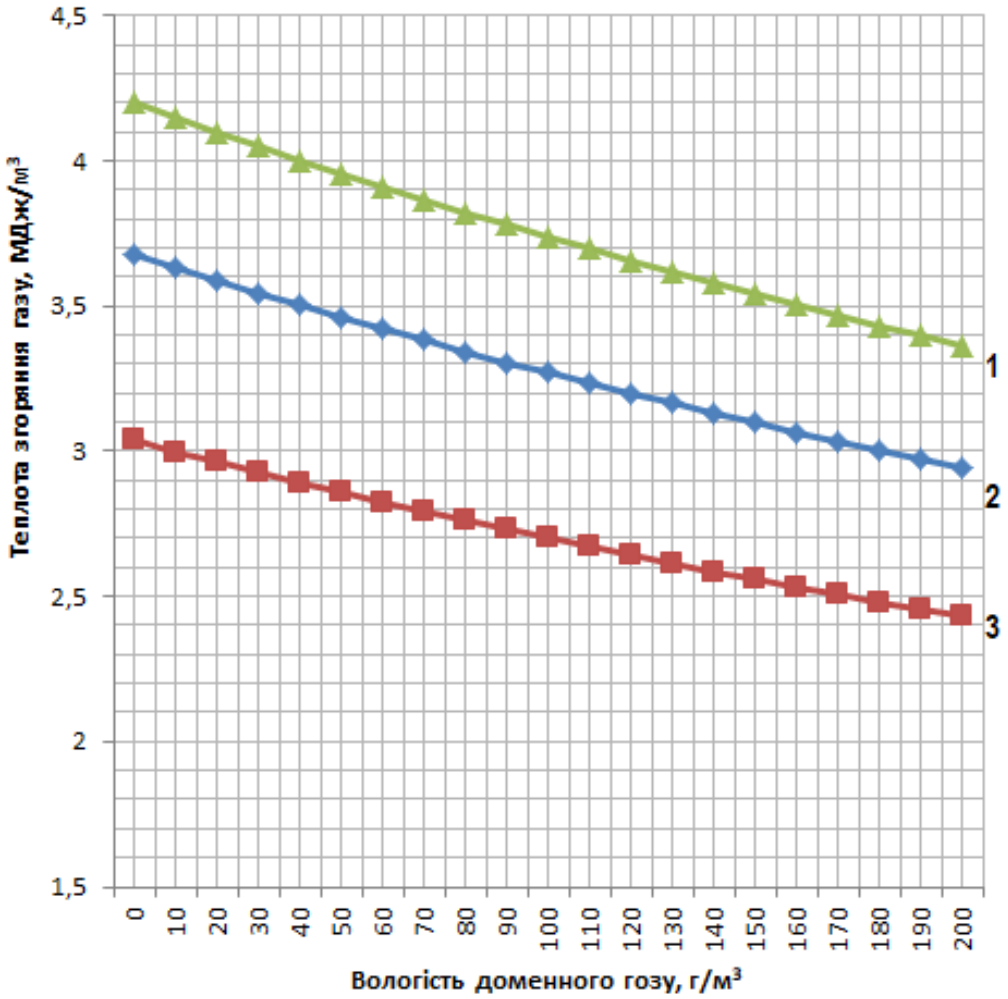
Перерахунок компонентів колошникового газу з сухого на вологий проводиться за формулою:

$$a_{іволог} = a_{iсух}/(1+f_0/0.804), \quad (1.10)$$

де f_0 – вміст вологості в газі, кг/м^3.

Результати розрахунку наведені на рис. 1.2.

Подібні розрахунки будуть виконані для «еталонного» складу колошникового газу печі, що використовує вугільне паливо [39], а також для доменного газу печі, що працює при підвищеному тиску на комбінованому паливі. Результати розрахунків показані на рисунку 1.2.



1 – 29 % CO, 11,3 % CO_2, 4,3 % H_2, 0,2 % CH_4, 55,2 N_2;

2 – 26 % CO, 19 % CO_2, 3,6 % H_2, 51,4 N_2;

3 – 21,1 % CO, 22,1 % CO_2, 3,4 % H_2, 53,4 N_2;

Рисунок 1.2 – Залежність теплотворної здатності доменного газу від його вологості

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз способів очищення технологічних газів доменного виробництва

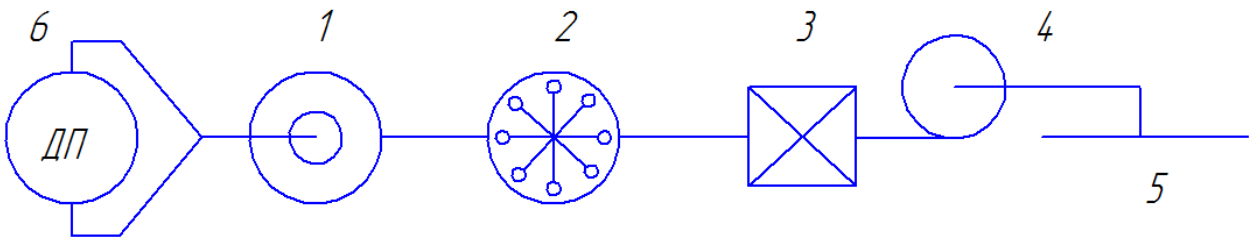
Доменний газ є вторинним продуктом, що утворюється під час роботи доменних печей. Він має низьку калорійність і містить 30-35% горючих речовин, а також домішки азоту та вуглекислого газу. Щоб використовувати цей газ у ролі палива, необхідно здійснити його очищення до рівня, коли вміст пилу не перевищує 10 мг/м³. Перевищення цього показника може призвести до пошкодження обладнання, зокрема засмічення пальників, оплавлення повітронагрівачів і утворення шлаку на поверхнях нагрівальних елементів котлів. На металургійних підприємствах для досягнення такої чистоти використовують багатоступеневі методи очищення, які можуть бути комбінованими або сухими.

Первинне очищення здійснюється у пиловловлювачах діаметром 5-8 метрів. У цих установках осідають частинки пилу розміром понад 50 мкм. Завдяки дії сили тяжіння та інерційних ефектів, що виникають при зміні напряму руху газу на 180 градусів, уловлюється 60-70% пилових часток. Видалення пилу з апаратів відбувається за допомогою гвинтового конвеєра, що змочує частинки водою. Після такої очистки концентрація пилу в газі знижується до 3-10 г/м³.

Для подальшого очищення використовується метод «мокрої» фільтрації. Після первинного сухого очищення доменний газ спрямовують на напівтонке очищення, яке дозволяє видаляти частинки розміром від 20 мкм, знижуючи рівень пилу до 0,6-1,6 г/м³. Для цього застосовують скрубери з форсунками та труби Вентурі. У скруберах газ рухається зі швидкістю 1-2 м/с, а на кожен кубометр газу витрачається 3-6 літрів води. Після проходження через скрубер температура газу зменшується з 250-300°С до 40-50°С, а також відбувається його повне насичення вологою. Ефективність видалення пилу на цьому етапі складає 60-70%.

Далі газ спрямовують у дві-чотири низьконапірні труби Вентурі, де швидкість газового потоку в горловині досягає 50-80 м/с. Тут завершується напівтонке очищення за рахунок інтенсивного контакту газу з водою (0,2 л/м³).

Фінальна стадія тонкого очищення передбачає зменшення вмісту пилу до 10 мг/м³ і здійснюється у спеціальних установках, таких як дросельні групи або мокрі електрофільтри. Дросельна група складається з клапанів різного діаметра, які додають аеродинамічний опір у газовому тракті, що сприяє стабілізації тиску в доменній печі (рис. 2.1).



1 – радіальний пиловловлювач; 2 – полий форсунковий скрубер; 3 – дросельна група; 4 – краплевловлювач; 5 – колектор «чистого» газу; 6 – доменна піч

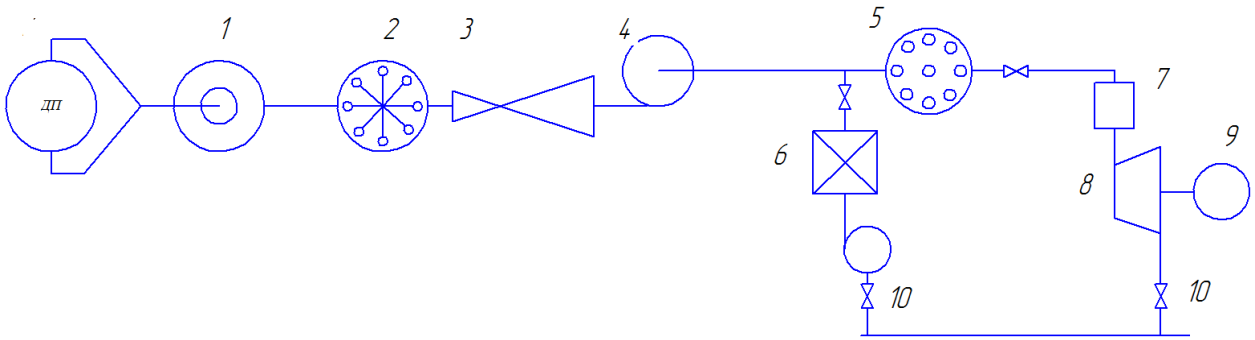
Рисунок 2.1 – Схема комбінованої очистки доменного газу з використанням дросельної групи

Практичний досвід експлуатації дросельних груп показує, що за умов значних перепадів тиску та швидкості газового потоку (до 200-250 м/с) вони демонструють високу ефективність у процесі очищення газу. Принцип їхньої роботи схожий із трубою Вентурі: при перепаді тиску понад 20-30 кПа рівень пилу в газі зменшується до 5-10 мг/м³, при цьому обладнання залишається малочутливим до незначного вмісту пилових частинок.

Високий тиск доменного газу відкриває можливість використання його потенційної енергії в газових утилізаційних безкомпресорних турбінах (ГУБТ), які забезпечують виробництво електроенергії.

З економічної точки зору доцільно застосовувати максимально можливий перепад тиску в ГУБТ, а для глибокого очищення газу використовувати обладнання, яке мінімізує втрати тиску. До таких пристроїв належить мокрий електрофільтр типу ДМ.

Доменний мокрий електрофільтр (ДМ), призначений для високоефективного очищення доменного газу, має корпус циліндричної форми, виготовлений зі сталевого листа. Видалення осадженого пилу з електродів, що розміщені всередині корпусу між двома трубними решітками, здійснюється шляхом змивання водою. Дросельну групу залишають у робочій системі лише як резервний варіант на випадок виходу з ладу ГУБТ (рис. 2.2).



1 – сухий інерційний пиловловлювач; 2 – порожнистий форсунковий скрубер; 3 – дросельна група; 4 – краплевловлювач; 5 – мокрий електрофільтр; 6 – дросельна група; 7 – підігрівач газу; 8 – ГУБТ; 9 – електрогенератор; 10 – засувка

Рисунок 2.2 – Схема очистки технологічних газів доменного виробництва при зостосувані ГУБТ

Оскільки трубчасті електрофільтри типу ДМ демонструють недостатню надійність у роботі, особливо при високому тиску газу під колошником, було запропоновано вдосконалену систему очищення. Вона включає тонке очищення газу у скруберах Вентурі з подальшим використанням отриманої енергії в газових утилізаційних безкомпресорних турбінах (ГУБТ). Після проходження через п’ять-сім труб Вентурі газ надходить у відцентрові скрубери

(краплевловлювачі), а звідти – у ГУБТ, а потім до споживача. Як резерв передбачено використання дросельної групи разом із відцентровим скрубером. Запропонована схема відзначається підвищеною надійністю, проте її недоліком є певні втрати тиску газу через гідравлічний опір скрубера Вентурі.

Останнім часом особливу увагу приділяють впровадженню сухого очищення доменного газу, що дозволяє підтримувати необхідну температуру газу перед надходженням у ГУБТ. Одним із варіантів такого очищення є використання рукавних фільтрів зі склотканини.

Також можливе застосування рукавних фільтрів із імпульсною регенерацією, де очищення здійснюється за допомогою стисненого азоту. Конструкція фільтра складається з окремих герметичних секцій циліндричної форми, які витримують надлишковий тиск понад 0,6 МПа. Кожна секція оснащена засувками на вході та виході, що дозволяють відключати її для ремонту, а також дросель-клапанами, які перекривають подачу газу під час регенерації фільтруючих елементів.

Якщо температура доменного газу перевищує 190 °С, перед системою очищення встановлюється охолоджувач. Він являє собою спеціальну ділянку газоходу, оснащену форсунками, що розпилюють азотно-водяну суміш. Для первинного очищення використовують радіальні пиловловлювачі. Забруднений газ надходить у пиловловлювач через центральний газопровід, де різке зниження швидкості та зміна напряму руху створюють сприятливі умови для осадження часток пилу розміром понад 100 мкм. Відфільтрований газ виходить через верхню частину установки. Початкова швидкість газу у вхідному патрубку становить близько 20 м/с, а у вихідній зоні – 0,6-1,0 м/с. При такому способі очищення ефективність пиловловлювача досягає 60-70%, а гідравлічний опір не перевищує 200-300 Па.

Доменний газ, що виходить із печі, містить пил у концентрації від 12 до 60 г/м³ (ПАТ «Запоріжсталь»). Для його подальшого використання як палива концентрація пилу має бути знижена до рівня не більше 10 мг/м³. Це необхідно

для запобігання утворенню відкладень у трубопроводах, засміченню пальникових пристроїв і їх передчасному зношуванню.

На металургійних підприємствах України, таких як «Запоріжсталь», «Криворіжсталь», «Азовсталь» та інших, широко застосовується багатоступенева мокра система очищення газу. Наприклад, на ПАТ «МК Запоріжсталь» первинне грубе очищення здійснюється у сухому радіальному пиловловлювачі, який має циліндричну форму з конічним бункером. Брудний газ подається зверху, а його швидкість у вхідному трубопроводі становить приблизно 10 м/с, тоді як у самому корпусі – не більше 1 м/с. Осадження пилу відбувається під час різкого повороту газового потоку на 180° при вході в корпус пиловловлювача, а також при його подальшому повільному підйомі до вихідного патрубка. Ефективність цього етапу очищення становить 60-80%. Зібраний пил періодично видаляється за допомогою шнека, змоченого водою, і транспортується в залізничні вагони.

Після першого ступеня очищення концентрація пилу у газі знижується до 3-20 г/м³. Другий етап – напівтонке очищення – здійснюється у мокрому форсунковому скрубері. Це вертикальна баштоподібна установка діаметром 6 м і висотою 16 м з конічним бункером у нижній частині. Газ подається знизу, а у верхній зоні розташовані три рівні евольвентних форсунок, які розпилюють воду під тиском 0,5-0,6 МПа. Ефективність цього етапу досягає 80-95%, а на виході вміст пилу знижується до 0,5-1,5 г/м³. Витрата води у цьому процесі складає 2-6 кг/м³ газу. Після скрубера газ охолоджується до 40-50 °С і насичується водяною парою.

Наступний етап – тонке очищення у скрубері Вентурі. Це пристрій, що складається з конфузора, горловини та дифузора, у якому швидкість газу у вузькій частині досягає 70-100 м/с. Вода, що подається у високошвидкісний потік, дробиться на мікроскопічні краплі, які захоплюють частинки пилу. Завдяки високій турбулентності газового потоку ефективність очищення у скрубері Вентурі сягає 98-99%.

Завершальним етапом є очищення у дросельній групі, основною функцією якої є дроселювання газу. Це дозволяє підтримувати підвищений тиск у доменній печі та системі газоочистки, забезпечуючи надходження газу до споживачів з оптимальними параметрами.

Дросельна група являє собою перегородку у газопроводі з каліброваними отворами – дроселями. У типовій конструкції використовується три регульовані дроселі діаметром 750 мм та один нерегульований діаметром 400 мм. Принцип їхньої роботи подібний до труби Вентурі, проте з ключовою відмінністю: якщо у трубі Вентурі до 80% енергії тиску відновлюється у дифузорі, то у дросельній групі ця енергія витрачається на інтенсивне турбулентне перемішування газу і води.

До кожного дроселя підведені трубопроводи з форсунками для подачі води. Висока швидкість газу у дросельному пристрої, його зволоження та різка зміна напрямку руху сприяють ефективному осадженню часток пилу, які потім видаляються у краплевловлювачах.

На металургійних комбінатах реалізовано замкнуту систему водообігу для очищення доменного газу, що дозволяє значно зменшити витрати води та підвищити екологічну ефективність виробництва.

Шламова вода після порожнистого форсуночного скрубера , скрубера Вентурі і дросельної групи містить зважені частки і нагріта до температури 60...70ºС. Ця вода по відкритому лотку, а потім по трубопроводу поступає на насосну шламової води, звідки перекачується в радіальні відстійники. Тут відбувається осадження зважених часток. Очищена від механічних домішок (освітлена) вода поступає на вентиляторну градирню для охолоджування.

У градирні вода розбризкується за допомогою форсунок і у вигляді крапель падає з висоти близько 8 м. Для інтенсифікації процесу охолоджування у верхній частині градирні змонтовані вентилятори, що створюють зустрічний потік повітря.

Для подачі води знов в систему газоочистки передбачена ще одна насосна станція - насосна освітленої води.

У системі замкнутого водообігу частина води втрачається зі шламом і при випарі в лотку, відстійниках і особливо у градирні. Ці втрати безперервно заповнюються підживлячою водою.

Вологий шлам після відстійників поступає на фільтр-преси, де його вологість знижується приблизно до 10%, і вивозиться у відвал.

Описаній схемі очищення доменного газу властиві як переваги, так і недоліки. До достоїнств можна віднести простоту конструкції, надійність роботи апаратів очищення. Їх обслуговування не вимагає високої кваліфікації персоналу. Дана схема може працювати з газами високої температури і великої вологості, витрата газів може мінятися в широких межах. Вживання замкнутого водообігу дозволяє уникнути забруднення водоймищ.

В той же час, в схемі є і істотні недоліки. Здобуття уловленого продукту у вигляді шламу утрудняє його подальшу переробку. Високий корозійний знос устаткування наводить до частих ремонтів. Апарати газоочистки (сухий пиловловлювач, порожнистий скрубер) громіздкі і металоємні.

Організація оборотного циклу водопостачання вимагає великих площ, великої кількості всілякого устаткування, значних капітальних і експлуатаційних витрат. На циркуляцію води в системі, на створення підвищеного тиску у форсунок витрачається багато електроенергії в насосних станціях.

Теплова енергія доменного газу витрачається в апаратах мокрого очищення на нагрів води, а потім безповоротно втрачається у градирні.

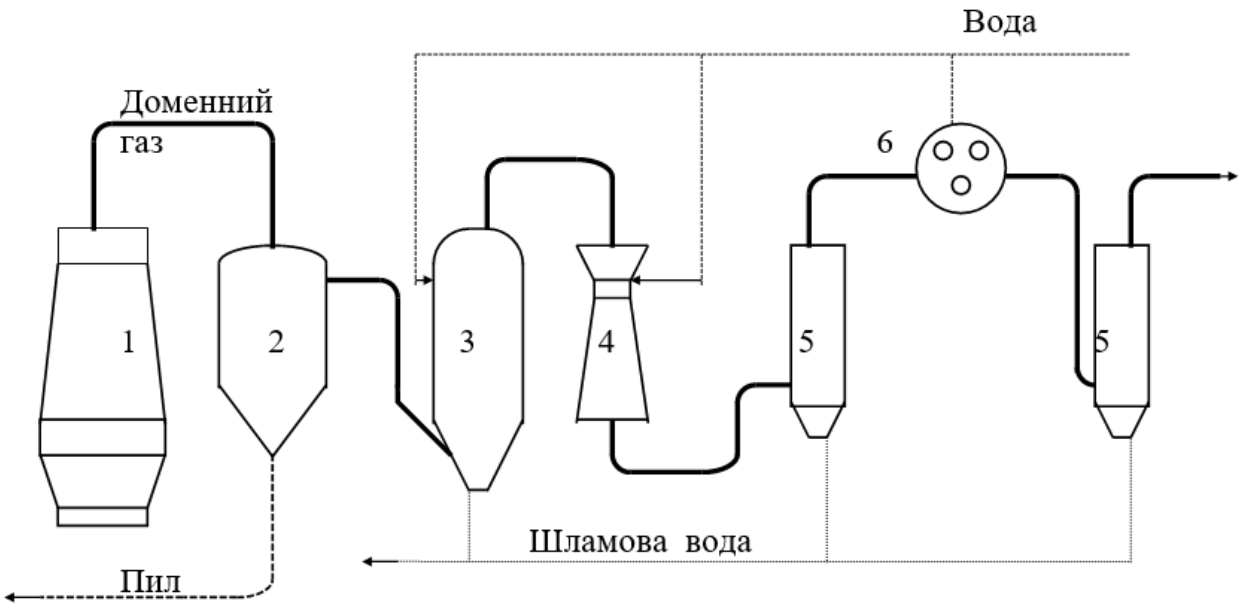
Енергія надлишкового тиску доменного газу також безповоротно втрачається в дросельній групі.

Тепловміст доменного газу можна ефективно утилізувати в газовій утилізаційній безкомпресорній турбіні (ГУБТ). Проте, встановлювати таку турбіну після апаратів мокрого очищення газу не можна. Газ, який пройшов такі апарати, насичений водяними парами, які при розширенні газу в турбіні конденсуватимуться. Крапельки вологи, ударяючись об рухомі з великими швидкостями лопатки турбіни, викличуть їх швидкий ерозійний знос. Тому,

при використанні мокрої системи очищення, газ перед ГУБТ необхідно підігрівати. Звичайно це роблять, спалюючи частину очищеного доменного газу і змішуючи продукти згорання з основним потоком газу. При цьому знижується теплота згорання, і так досить низька в доменного газу.

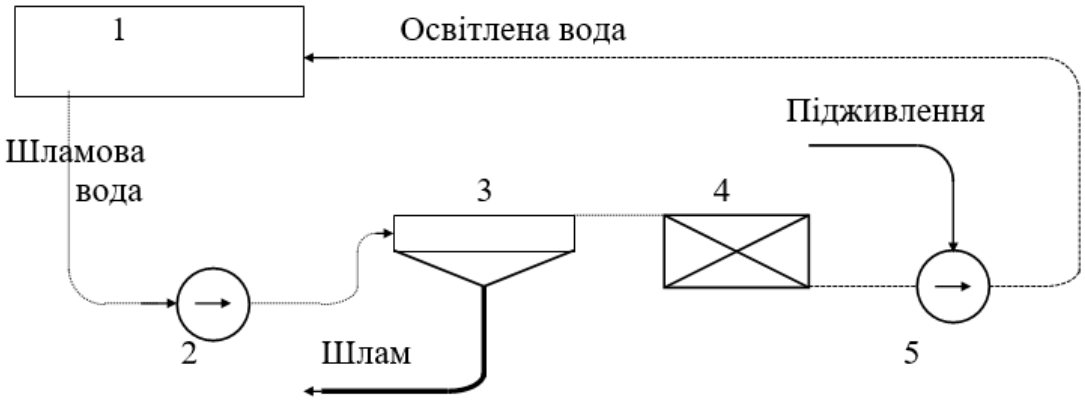
Враховуючи цей чинник і те, що значна частина теплової енергії доменного газу втрачається в порожнистому скрубері і скрубері Вентурі, можна зробити вивід про меншу ефективність використання ГУБТ при мокрому очищенні газу, в порівнянні з сухою. Це також є недоліком описаної схеми.

Схема очищення доменного газу на ПАТ «Запоріжсталь» представлена на рис. 2.1, схема замкнутого циклу водообігу доменної газоочистки – на рис. 2.3.



1 – доменна піч; 2 – сухий пиловловлювач; 3 – порожнистий форсунковий скрубер ; 4 – труба Вентурі; 5 – краплевловлювачі; 6 – дросельна група

Рисунок 2.3 – Схема очищення доменного газу на ПАТ «Запоріжсталь»



1 – газоочистка; 2 – насосна станція шламової води; 3 – радіальний відстійник; 4 – вентиляторна градирня; 5 – насосна станція освітленої води

Рисунок 2.4 – Схема замкнутого водооборотного циклу.

2.2 Розрахунок радіального пиловловлювача

Вихідні дані

Концентрація пилу в газі на вході в пиловловлювач, $Z_1 = 60$ г/м^3

Густина пилу, $\rho_п = 3200$ кг/м^3

Температура газу перед пиловловлювачем, $t_1 = 220°C$

Витрати доменного газу за нормальних умов, $V_o = 200\,000$ м^3/год.

Тиск газу на виході з печі $P_п = 230$кПа

Динамічна в'язкість газу $\mu = 25$ мкПа·с [1]

Дисперсний склад пилу і хімічний склад газу наведений у табл. 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1 – Дисперсний склад колошникового пилу [1].

Діаметр частинок, мкм	< 10	10...20	20...60	60...100	100...200	> 200
Масовий вміст, %	2	7	21	18	15	39

Таблиця 2.2 – Склад колошникового газу

Компонент	Вміст у колошниковому газі , %
CO_2	22
CO	26
H_2	11
N_2	41
Всього	100

Розрахунок

У кваліфікаційній роботі приймаємо в якості першого ступеня очищення радіальний пиловловлювач діаметром 12 м. Знайдемо наближену ступінь очищення, яку він забезпечує.

1. Густина доменного газу за нормальних умов, кг/м^3

$$\rho_o = a_1 \rho_1 + a_2\rho_2 + a_3\rho_3 + a_4\rho_4, \quad (2.1)$$

де ρ_i – густина компоненту[2], a_i – його об’ємна доля

$$\rho_o = 0{,}22 \cdot 1{,}968 + 0{,}26 \cdot 1{,}25 + 0{,}11 \cdot 0{,}09 + 0{,}41 \cdot 1{,}25 = 1{,}280$$

2. Тиск доменного газу попереду сухого пиловловлювача, кПа:

$$P_c = P_n - \Delta P_1 = 230 - 0{,}06 = 229{,}94, \quad (2.2)$$

де ΔP_1 – втрати тиску на ділянці від доменної печі до пиловловлювача.

3. Густина газу на вході в сухий пиловловлювач, кг/м^3 :

$$\rho_c = \rho_o T_o P_c / T_1 P_o \quad (2.3)$$

ρ_c = 1,280·273·229,94/(273 + 220)101,3 = 1,609

4. Об'ємна витрата газу на вході в сухий пиловловлювач, м^3/с:

$$V_c = V_o \rho_o / 3600 \rho_c \quad (2.4)$$

V_c = 200 000·1,280/3600·1,609 = 44,2

5. Швидкість газу в циліндричній частині пиловловлювача, м/с:

$$v_{\text{с}} = \frac{V_c}{0{,}785 D_c^2} \quad (2.5)$$

де $D_{ст}$ – внутрішній діаметр циліндричної частини пиловловлювача, м.

$$v_{\text{с}} = \frac{44{,}2}{0{,}785 \cdot 12^2} = 0{,}391$$

6. Падіння частинок пилу підпорядковується закону Стокса. Вони рухаються вниз зі швидкістю витання[4], м/с:

$$v_{\text{в}} = \frac{d^2 \rho_{\text{п}} g}{18\mu}\ , \quad (2.6)$$

де d – діаметр частинки, м.

Для визначення максимального розміру часток, що виноситься потоком газу з пиловловлювача, прирівняємо швидкість газу в циліндричній частині апарату і швидкість вітання. Замінивши в (5) $v_{\text{в}}$ на v_c, визначимо діаметр, м:

$$d = \sqrt{\frac{18\mu v_c}{\rho_п g}} \quad (2.7)$$

$$d = \sqrt{\frac{18 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}391}{3200 \cdot 9{,}81}} = 74{,}9 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 74{,}9 \text{ мкм}$$

7. Використовуючи дані по дисперсному складу пилу, знайдемо ступінь уловлювання сухого пиловловлювача:

$$\eta_c = 39 + 15 + 18(100 - 74{,}9)/(100 - 60) = 65{,}3\%$$

8. Запиленість газу після сухого пиловловлювача, г/м^3 :

$$Z_c = Z_1(1 - \eta_c) = 60(1 - 0{,}653) = 20{,}8 \quad (2.8)$$

2.3 Розрахунок порожнистого скруберу

Вихідні дані

Концентрація пилу в газі на вході в скрубер, Z_c = 20,8 г/м^3

Густина пилу, $\rho_п$ = 3200 кг/м^3

Температура газу перед скрубером, t_2= 215°С

Витрати доменного газу за нормальних умов, V_o= 200 000 м^3/год.

Середній медіанний діаметр частинок пилу,d_m= 22 мкм

Густина доменного газу за нормальних умов, ρ_o= 1,280 кг/м^3

Діаметр скруберу, $D_{ск}$ = 8 м

Висота циліндричної частини скруберу, Н = 20 м.

Динамічна в'язкість газу μ = 25 мкПа·с

Таблиця 2.3 – Дисперсний склад колошникового пилу попереду скруберу [3]

Діаметр частинок, мкм	<5	5…10	10...20	20...60	> 60
Масовий вміст, *а*	2	4	19	56	19

Розрахунок

1. Тиск доменного газу попереду скруберу, кПа:

$$P_{ск} = P_c - \Delta P_2 = 229{,}94 - 0{,}14 = 229{,}8 \quad (2.9)$$

де ΔP_2 – втрати тиску на сухому пиловловлювачі та на ділянці від пиловловлювача до скруберу

2. Густина газу на вході в скрубер, кг/м^3 :

$$\rho_{ск} = \rho_o T_o P_{ск} / T_2 P_o \quad (2.10)$$

$\rho_{ск} = 1{,}280 \cdot 273 \cdot 229{,}8/(273 + 215)101{,}3 = 1{,}624$

3. Об'ємна витрата газу на вході в скрубер, м^3/с:

$$V_{ск} = V_o \rho_o / 3600 \rho_{ск} \quad (2.11)$$

$V_{ск} = 200\,000 \cdot 1{,}280/3600 \cdot 1{,}624 = 43{,}8$

4. Швидкість газу в циліндричній частині скруберу, м/с:

$$v_{ск} = \frac{V_{ск}}{0{,}785 D_{ск}^2} = 43{,}8/0{,}785 \cdot 8^2 = 0{,}87 \quad (2.12)$$

5. Приймаємо діаметр краплі $d_к$ = 1 мм [3], тоді швидкість витання для частинок таких розмірів [4], м/с:

$$v_к = 5{,}45\sqrt{\frac{d_к \rho_в}{\rho_{ск}}} \quad (2.13)$$

$$v_к = 5{,}45\sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-3} 1000}{1{,}624}} = 4{,}28$$

де $\rho_в$ – густина води, приймаємо $\rho_в$ = 1000 кг/м^3.

6. Ефективність захоплення частинок пилу водою для частинок різного діаметру представлена в таблиці 2.4[3]:

Таблиця 2.4 – Ефективність захоплення частинок пилу водою.

Діаметр, мкм	2,5	7,5	15	40	60
$\eta_{зі}$	0	0,07	0,5	0,98	0,99

7. Приймаємо питому витрату води [3], кг/м^3:

m=2,5

8. Загальна витрата води, м^3/с:

$$Q = mV_{ск}/1000 \quad (2.14)$$

Q = 2,5·43,8/1000 = 0,110

9. Фракційні коефіцієнти очистки для скруберу[3]:

$$\eta_{скі} = 1 - exp\left[-\frac{3Q\eta_{зі}(v_{ск}+v_к)H}{2V_{ск}d_к v_к}\right] \quad (2.15)$$

Підставляючи відповідні значення $\eta_{зі}$, отримуємо:

$\eta_{ск1}$= 0;

$\eta_{ск2}$ = 0,98;

$\eta_{ск3}$= 0,99;

$\eta_{ск4}$= 0,995;

$\eta_{ск5}$=1,0

10. Загальний коефіцієнт очистки для скруберу:

$$\eta_{ск} = a_1 \eta_{ск1} + a_2 \eta_{ск2} + a_3 \eta_{ск3} + a_4 \eta_{ск4} + a_5 \eta_{ск5} \quad (2.16)$$

$$\eta_{ск} = 0{,}02 \cdot 0 + 0{,}04 \cdot 0{,}98 + 0{,}19 \cdot 0{,}99 + 0{,}56 \cdot 0{,}995 + 0{,}19 \cdot 1 = 0{,}975$$

11. Запиленість газу після скруберу, г/м^3 :

$$Z_{ск} = Z_c(1 - \eta_{ск}) = 20{,}8(1-0{,}975) = 0{,}52 \quad (2.17)$$

12. Середня теплоємність доменного газу, кДж/кг·К [5]:

$$C = 1{,}1$$

13. Ентальпія доменного газу на вході в скрубер, кДж/кг:

$$I_1 = Ct_2 = 1{,}1 \cdot 215 = 236{,}5 \quad (2.18)$$

14. Ентальпія води при температурі 20°С, кДж/кг [6]:

$$i = 83{,}9$$

15. Ентальпія доменного газу на виході зі скруберу, кДж/кг [5]:

$$I_2 = (0,61 – 1,19P_{ск})I_1/m + (1,54 – 3,4P_{ск})i/m – 208,3P_{ск} \quad (2.19)$$

$I_2 = (0,61 + 1,19 \cdot 0,2298)236,5/2,5 + (1,54 – 3,4 \cdot 0,2298)83,9/2,5 – 208,3 \cdot 0,2298 =$
$= 61,2$

16.Температура газу виході зі скруберу, °С:

$t_3 = I_2/C = 61,2/1,1 = 56$

2.4 Розрахунок скруберу Вентурі

1. Необхідна ступінь очищення газу в скрубері Вентурі:

$$\eta = 1 - \frac{Z_2}{Z_1} = 1 - \frac{0,01}{3,29} = 0.997.$$

2. Число одиниць переносу:

$$N_ч = ln\frac{1}{1-\eta} = ln\frac{1}{1-0,997} = 4,61$$

3. Питома енергія, що витрачається на пиловловлювання в скрубері:

$$N_ч = B \cdot K_ч^{\chi}, \quad (2.20)$$

де B и χ – константи, що залежать від дисперсного складу пилу [1, табл.4.18];

$К_ч$ – витрати енергії на мокре очищення газів від пилу, кДж/ 1000 м^3.

$N_ч = 4,61 = .09 \cdot 10^{-3} \cdot K_ч^{0,744}$, отсюда $К_ч$=4025 кДж/ 1000 м^3.

4. Загальний гідравлічний опір скруберу Вентурі:

$$\Delta P = K_ч - P_в \cdot m_в = 4025 - 400000 \cdot 0{,}002 = 3225 \quad кПа$$

5. Масова витрата води на зрошення:

$$M_в = m_в \cdot V_1 = 2 \cdot 29{,}33 = 58{,}66 \quad кг/с$$

6. Температура газів на виході з труби Вентурі:

$$T_2 = (0{,}133 - 0{,}041 \cdot m_в)T_1 + 35 = (0{,}133 - 0{,}041 \cdot 2) \cdot 56{,}5 + 35 = 38{,}7$$

7. Густина газів на виході з труби Вентурі:

$$\rho_2 = \rho_0 \frac{273 \cdot (P_{бар} \pm P_г - \Delta P)}{(273 + T_2) \cdot 101{,}3} = 1{,}33 \cdot \frac{273 \cdot (101{,}3 + 180 - 3{,}225)}{(273 + 38{,}7) \cdot 101{,}3} = 1{,}1$$

8. Визначення параметрів та режиму роботи краплевловлювача. Приймаємо для розрахунку циклон-краплевловлювач типу КЦТ.

Далі визначаємо необхідний діаметр циклону-краплевловлювача. Приймаємо кількість циклонів 2 шт.

Тоді діаметр циклону становить, м:

$$D = 1{,}13\sqrt{\frac{V_2}{N \cdot \omega_ц}} = 1{,}13\sqrt{\frac{27}{3{,}5 \cdot 2}} = 2{,}2$$

Відповідно до розрахунків, приймаємо 2 циклони з найближчим стандартним розміром $Д_ц$=2200 мм.

Отже, фактична швидкість газу в циклоні, м/с:

$$w = \frac{V_2}{0{,}785ND^2} = \frac{29}{0.785 \cdot 2 \cdot 2.2^2} = 3.82$$

За результатами розрахунків обираємо для краплевловлювання після труби Вентурі 2 циклони типу КЦТ-2200.

Тоді, гідравлічний опір циклону-краплевловлювача, Па:

$$\Delta P_ц = \frac{\zeta \cdot \omega_ц^2 \cdot \rho_2}{2} = \frac{32 \cdot 3{,}5^2 \cdot 1{,}1}{2} = 216$$

9. Гідравлічний опір труби Вентурі, Па:

$$\Delta P_T = \Delta P - \Delta P_ц = 3225 - 216 = 3009 \approx 3000$$

10. Коефіцієнт опору труби Вентурі:

В умовах розрахунку доцільно обрати трубу Вентурі (трубу-розпилювач) оптимальної форми з центральним підведенням зрошувальної рідини. У цьому випадку значення коефіцієнта гідравлічного опору сухої труби ξ_1=0,145, а емпіричні коефіцієнти А=1,4, B_1=-0,316.

$$\xi_2 = A \cdot \xi_c \cdot m_в^{B_1} = 1{,}4 \cdot 0{,}145 \cdot 0{,}002^{-0{,}361} = 1{,}45$$

11. Необхідна швидкість в горловині труби Вентурі:

$$W_г = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_T}{\xi_1 \cdot \rho_2 + \xi_2 \cdot \rho_в \cdot m_в}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3000}{0{,}145 \cdot 1{,}02 + 1{,}45 \cdot 1000 \cdot 0{,}002}} = 44{,}3 \quad м/с$$

12. Визначаємо діаметр горловини труби Вентурі:

$$d_г = 1{,}13\sqrt{\frac{V_г}{W_г}} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{27}{44{,}3}} = 0{,}88 \quad м$$

Отримане значення діаметра горловини значно перевищує найбільший діаметр горловини типорозмірного ряду високонапірних труб Вентурі (0,42 м). У зв'язку з цим необхідно встановити кілька паралельно працюючих труб. Приймаємо кількість труб n=4n = 4n=4 шт.

Підставляючи значення, отримаємо розрахунковий діаметр горловини для кожної труби.

$$d_г = 1{,}13\sqrt{\frac{V_г}{n \cdot W_г}} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{27}{4 \cdot 44{,}3}} = 0{,}44$$

Приймаємо діаметр горловини труби Вентурі рівним 420 мм, що відповідає марці труби ГВПВ-0,140-01.

Виходячи зі стандартного діаметра горловини, фактична швидкість газу в горловині становитиме, м/с:

$$W_г = \frac{1{,}13^2 \cdot V_г}{n \cdot d_г^2} = \frac{1{,}13^2 \cdot 27}{4 \cdot 0{,}42^2} = 49.$$

2.5 Аеродинамічний розрахунок газового тракту

Загальні втрати тиску в системі газоочистки складаються з втрат тиску на тертя ΔPl та втрат тиску на місцевих опорах ΔPм:

$$\Delta P = \Delta Pl + \Delta Pм, \qquad (2.21)$$

Втрати тиску на тертя, Па, визначаємо за формулами:

$$\Delta Pl = \sum \lambda i \cdot li \cdot \rho p\, i \cdot U^2 i /(dei \cdot 2)\,, \qquad (2.22)$$

де i – індекс це номер ділянки;

λ – коефіцієнт гідравлічного опору;

l – довжина ділянки, м;

d_e – еквівалентний діаметр газоходу, м;

ρ_p – густина газу, кг/м³;

U – середня по перерізу та довжині газоходу швидкість потоку на ділянці, м/с.

Втрати тиску на місцеві опори визначаються за наступною форм. (2.23):

$$\Delta Рм = \sum \varsigma i \cdot \rho ri \cdot U^2 i/2, \quad (2.23)$$

де ςi – коефіцієнт місцевого опору;

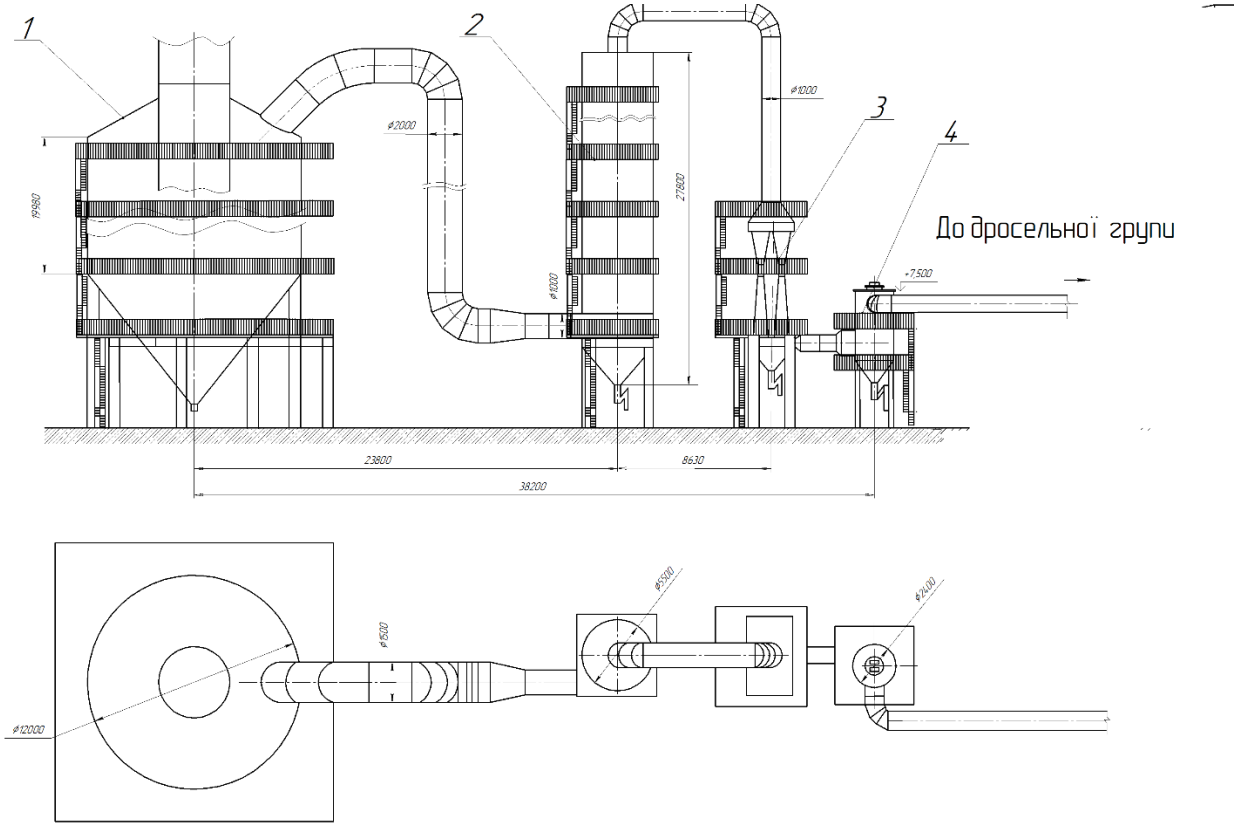
2.6 Утилізація шламів газоочисток доменних печей

Газоочистка доменних печей відіграє ключову роль у зниженні рівня забруднення навколишнього середовища. У процесі очищення доменного газу від пилових частинок утворюється шлам – суспензія, що складається з води, твердих частинок (залізовмісних сполук, вуглецю, оксидів кремнію, кальцію, магнію та інших домішок) та інших компонентів. Очищення шламів є важливим етапом екологічної утилізації та повторного використання цінних матеріалів.

Основні методи очищення шламів: механічне зневоднення, флотаційне очищення, хімічне очищення, термічне висушування.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку газового тракту «мокрої» системи газоочистки доменної печі

Ділянки	$V_{р.у.}$, $м^3/с$	$\rho_г$, $кг/м^3$	d, м	ω, м/с	l, м	Втрати тиску				
						Місцеві опори	Коефіцієнт сопр.	$\Delta P_м$, Па	ΔP_l, Па	$\Sigma\Delta P$, Па
Піч- радіальний пилевловлювач	38,42	3,88	1,6	19,1	9	Вхід до каналу Поворот на 90 ° Поворот на 60 °	0,5 0,24 0,34	764,3	70,62	843,92
Радіальний пиловловлювач										150
Радіальний пиловловлювач - порожнистий скрубер	38	3,86	1,6	18,9	18	2 повороти на 90 ^{0}	0,48	330,92	155,12	486,04
Скрубер										250
Скрубер— труба Вентурі	33,9	2,56	1,5	19,1	10	2 повороти на 90 ^{0}	0,48	224,13	62,26	286,39
Труба Вентурі										3000
Труба Вентурі - краплевловлювач	27	1,1	1,4	18	3			10,69		10,69
Краплевловлювач										216
Краплевловлювач – до дросельної групи	27,0	1,1	1,4	18	20	3 повороти на 90 ^{0}	0,72	128,3	50,91	179,21
										Всього 5422,25 Па



1 – радиальний пиловловлювач; 2 – порожнистий скрубер; 3 – труба Вентурі; 4 – краплевловлювач

Рисунок 2.5 – Розріз «мокрої» системи газоочищення технологічних газів доменного виробництва

Один із найбільш поширених методів обробки шламів – механічне зневоднення, яке дозволяє значно зменшити вміст вологи перед подальшим використанням або утилізацією. Основні методи механічного зневоднення:

-відстійники та згущувачі – у цих спорудах тверді частинки осідають під дією гравітації, а освітлена вода повертається в оборотну систему.

-фільтр-преси – використовуються для віджимання вологи з осаду, що дозволяє отримати більш сухий продукт.

-центрифугування – процес, при якому тверді частинки відокремлюються від води під дією відцентрових сил.

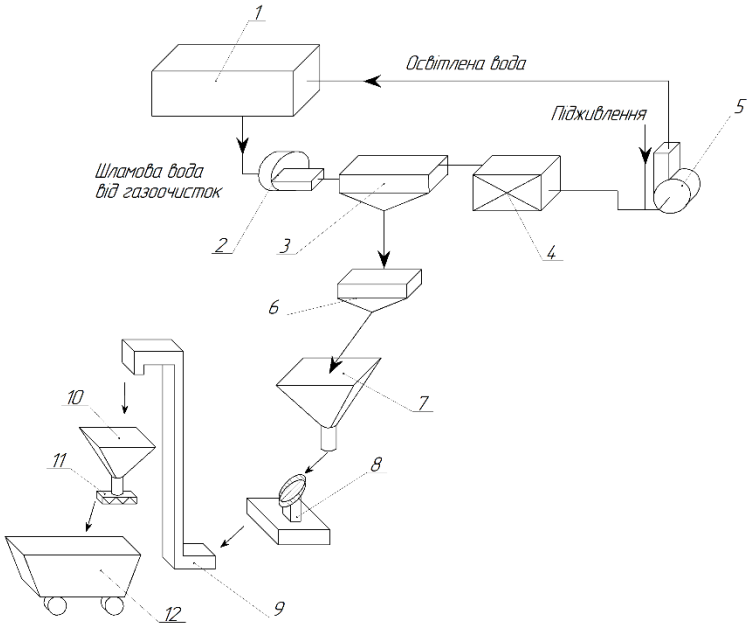
Флотація використовується для виділення цінних металів, що містяться в шламах. У процесі флотації частинки шламу взаємодіють з поверхнево-активними речовинами, що сприяють їхньому спливанню та утворенню пінного шару, який потім легко відділяється.

У деяких випадках застосовують хімічні реагенти для поліпшення процесів коагуляції та флокуляції. Це сприяє прискоренню осадження твердих частинок та зменшенню вмісту важких металів у воді. Використовуються такі речовини, як:

-коагулянти (сульфат алюмінію, хлорид заліза)

-флокулянти (полімерні сполуки, що сприяють агрегації частинок)

На рис. 2.6 наведена схема утилізації шламів газоочисток доменного виробництва.



1 – газоочистка; 2 – насосна станція шламової води; 3 – радіальний пиловловлювач; 4 – вентиляторна градирня; 5 – насосна станція освітленої води; 6 – фільтр-прес; 7 – збірний бункер; 8 – окомковувач; 9 – елеватор; 10 – збірний бункер окатишей; 11 – скребковий конвейер; 12 – вагон для завантаження згрудкованого пилу

Рисунок 2.6 – Схема утилізації шламів газоочисток доменного виробництва

Очистка шламів газоочисток доменних печей є важливим процесом, що дозволяє мінімізувати негативний вплив металургійного виробництва на довкілля та ефективно використовувати цінні ресурси. Використання комплексного підходу, що включає механічне, хімічне та термічне очищення, дає можливість зменшити кількість відходів та підвищити рівень екологічної безпеки на підприємствах.

РОЗДІЛ 3
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

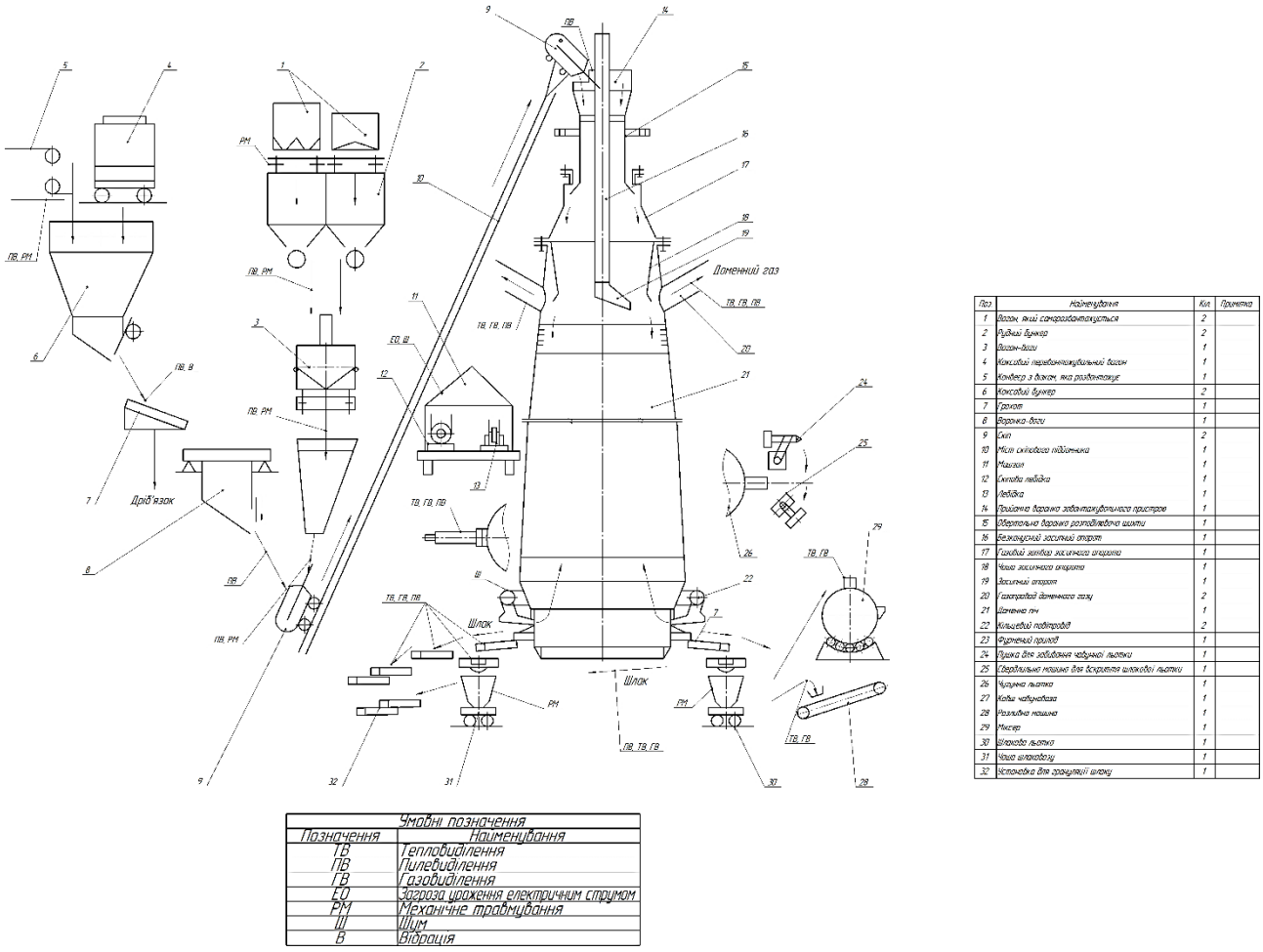
Доменний цех є гарячим цехом, що обумовлено високими температурами, які утворюються через наявність значних кількостей надлишкового тепла. Це призводить до значного підвищення температури повітря в робочих зонах. Негативний вплив високих температур посилюється за рахунок теплового випромінювання, джерелами якого є розплавлений чавун, шлаки, а також нагріта до високих температур вогнетривка футеровка внутрішнього простору печі та поверхня розплавленого шлаку. Вплив теплового випромінювання особливо відчутний, коли печі працюють з відкритими вікнами, що може викликати інтенсивне інфрачервоне опромінення. Апаратурно-технологічна схема доменного виробництва наведена на рис. 3.1.

Інтенсивність цього випромінювання на робочих місцях залежить від температури й розмірів джерел тепла, а також відстані до них. На деяких робочих місцях вона може досягати близько 560 Вт/м^2, тоді як норматив складає 140 Вт/м^2 згідно.

Висока температура й інтенсивне випромінювання створюють перенавантаження на терморегуляційні функції організму людини, що може призвести до порушень теплового балансу, швидкого стомлення, зниження працездатності, а також до серйозних захворювань, таких як теплове виснаження, тепловий удар, теплові судоми та катаракта.

Ще одним шкідливим фактором у доменному виробництві є наявність високої концентрації пилу в повітрі. Його рівень може досягати 15-22 мг/м^3, що більше ніж у 4,6 рази перевищує допустимий норматив. Доменний пил має фіброгенну дію й може спричиняти серйозні захворювання, проникаючи в

легені та викликаючи професійні хвороби, а також подразнювати шкіру, очі та інші органи.



Поз	Найменування	Кіл	Примітка
1	Вагони, які самороздвантажуються	2	
2	Рудяні бункер	2	
3	Вагони-ваги	1	
4	Конусний перевантажувальний бункер	1	
5	Конвеєр з вагою, що розвантажує	1	
6	Конусний бункер	2	
7	Грохот	1	
8	Воронка-ваги	1	
9	Скип	2	
10	Міст скипового підйомника	1	
11	Машина	1	
12	Скипова лебідка	1	
13	Лебідка	1	
14	Приймальна воронка завантажувального пристрою	1	
15	Обертальна воронка розподільчого шлюзу	1	
16	Безконусний засипний апарат	1	
17	Газовий затвор засипного апарата	1	
18	Чаша засипного апарата	1	
19	Засипний апарат	1	
20	Газопровід доменного газу	2	
21	Доменна піч	1	
22	Кільцевий повітропровід	2	
23	Фурмений прилад	1	
24	Пушка для забивання чавунної льотки	1	
25	Свердлильна машина для відкриття шлакової льотки	1	
26	Чавунна льотка	1	
27	Ковш чавунозаливна	1	
28	Розливна машина	1	
29	Міксер	1	
30	Шлакова льотка	1	
31	Чаша шлаковозу	1	
32	Установка для грануляції шлаку	1	

Умовні позначення	
Позначення	Найменування
ТВ	Тепловиділення
ПВ	Пилевиділення
ГВ	Газовиділення
ЕО	Загроза ураження електричним струмом
РМ	Механічне травмування
Ш	Шум
В	Вібрація

Рисунок 3.1 – Апаратурно-технологічна схема доменного виробництва

Шум і вібрація є додатковими небезпечними факторами на виробництві. Вони виникають через роботу великогабаритних машин і механізмів, падіння матеріалів, а також через горіння металу в печі. Шум може значно знижувати працездатність, якість та безпеку праці, спричиняти часткову або повну втрату слуху при тривалому впливі (вище 80 дБА). Крім того, шумове навантаження може негативно впливати на психологічний стан працівника, викликаючи тривогу і роздратування.

Вібрація на робочому місці горнового не перевищує нормативних значень, що вказує на менш виражений вплив цього фактору. За оцінкою умов праці, робоче місце горнового віднесено до шкідливих і важких умов. На ньому

присутні фактори різного ступеня небезпеки, що впливають на здоров'я працівників, як показано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого й трудового процесу

Професія: горновий

№	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норматив. значення (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас Шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3 2 клас небезпеки марганцю оксиди 3 клас небезпеки азоту діоксид ангідрид сірчаний вуглецю оксид	 0,3 2,0 10,0 20,0	 0,28 1,6 6,8 13,5				80
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м^3	4	18,5		4,6 р		80
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	85				80
4	Шум, дБА	80	86	6			80
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
6	Мікроклімат в приміщенні в теплий період року						
	- температура повітря,°С	15…26	37			10	90
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2…0,6	0,45	1,5р			90
	- відносна вологість повітря,%	<75	44				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	140	560		560		90
7	Атмосферний тиск						
8	Важкість праці	3	3				

3.2 Заходи з поліпшення умов праці робітників доменного цеху

У доменному цеху застосовується різноманітне обладнання, яке генерує інтенсивний шум, що значно погіршує умови праці. Ефективна організація робочого процесу, зокрема правильний режим роботи та відпочинку в шумних приміщеннях, допомагає запобігати розвитку професійних захворювань. Не допускається, щоб шум перевищував 50-60 % робочого часу, оскільки тривалий вплив на організм може бути шкідливим.

Для видалення надлишкового тепла у цеху використовуються методи аерації та вентиляції, а також ізоляція всіх джерел теплових викидів. Одним із ефективних способів захисту від теплового випромінювання є екранування, яке включає екрани для відбиття, поглинання та тепловідведення. Спеціальний одяг працівників має бути незаймистим, стійким до теплового впливу, міцним і забезпечувати достатню повітропроникність.

Під впливом інтенсивного теплового випромінювання організм втрачає велику кількість води, що може призвести до згущення крові, порушення роботи серцево-судинної системи та харчування тканин. Тому важливо регулярно поповнювати водний баланс організму. Крім того, з потом організм втрачає до 1% мінеральних солей і вітамінів, які також потребують відновлення. Для цього працівникам видають підсолену газовану воду (0,5% солі) в обсязі 4-5 літрів на зміну.

Для нормальної життєдіяльності працівників необхідно забезпечити наявність чистого повітря з відповідним хімічним складом, температурою, вологістю та швидкістю руху. Для підтримки цих параметрів у доменному цеху проводяться заходи з опалення та вентиляції, що регулюються відповідними нормативами (ДБН В.2.5-67:2013).

Для зниження рівня шуму на робочому місці горнового важливо встановлювати звукоізоляційні пости управління, а також використовувати звукоізоляційні ущільнювачі для повітронагрівачів і шумоглушники на повітроводах.

3.3 Виробнича санітарія

Опалення основних виробничих приміщень передбачено через повітряну систему, яка поєднана з припливною вентиляцією. Повітряний приплив здійснюється за допомогою великих установок, які організовані групами.

Через значну кількість надлишкового тепла, що виділяється на ливарному дворі, доменному цеху необхідний інтенсивний повітрообмін, особливо влітку. Природна вентиляція на ливарному дворі працює завдяки різниці температур між повітрям у приміщенні та зовні (тепловий напір) та впливу вітру (вітровий напір). Для покращення аерації встановлюються отвори в поздовжніх стінах будівлі: нижній ряд (для припливу повітря в теплу пору року) – на висоті не більше 1,8 м; верхній ряд (для припливу повітря взимку та влітку) – на висоті не менше 4 м. На даху будівлі встановлюється аераційний ліхтар.

Механічна вентиляція в цеху забезпечується через великі централізовані вентиляційні установки.

Одним з ключових аспектів виробничої обстановки є правильне освітлення. Низька якість освітлення ускладнює виконання робочих завдань, знижує ефективність праці та може спричиняти нещасні випадки й захворювання очей. Розрізняють два основних види освітлення: природне та штучне.

Природне освітлення забезпечується сонячним світлом, яке потрапляє через світлові прорізи, і поділяється на бічне (через вікна або отвори в стінах), верхнє (через прорізи в аераційних ліхтарях) та комбіноване (через обидва ці джерела).

Штучне освітлення використовується для забезпечення видимості у темний час доби або у приміщеннях, де недостатньо природного освітлення (ДБН В.2.5-28-2006). Воно характеризується такими параметрами, як напруга, потужність, світловий потік і розміри освітлювальних приладів.

У гарячих цехах є специфічна проблема – наявність самосвітних предметів у полі зору працівників, таких як полум'я, розплавлені метали й

шлаки. Яскравість цих елементів часто перевищує яскравість навколишнього середовища, що може бути шкідливим для очей. Потрібно постійно адаптувати зір, перемикаючи його між яскравими світловими поверхнями та більш темним фоном. Це може призвести до зниження зорових функцій, засліплення та утруднень при розпізнаванні об'єктів.

Для запобігання цих проблем необхідно забезпечити оптимальну яскравість навколишнього середовища, щоб зменшити різкі контрасти між освітленими і неосвітленими ділянками. Відповідно до вимог, для робіт із самосвітними об'єктами (VII розряд) встановлено мінімальну загальну освітленість 150 лк (ДБН В.2.5-28-2018). Для цього в доменному цеху використовуються лампи розжарювання НГД 127-100 (127 В, 100 Вт), а також світильники «Універсаль». Коефіцієнт їх запасу складає К = 1,3.

Аварійне освітлення має бути забезпечене незалежним джерелом живлення. Таке освітлення повинно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість не менше 5% від встановлених норм для загального освітлення. Для евакуації людей аварійне освітлення має створювати освітленість на підлозі основних проходів та сходах не менше 0,5 лк, а на відкритих територіях – не менше 0,2 лк.

3.4 Заходи з електробезпеки

Враховуючи умови, які панують у виробничих приміщеннях доменного цеху, ці приміщення можна віднести до категорії особливо небезпечних з точки зору ураження електричним струмом. Серед факторів, що підвищують небезпеку, варто відзначити високу температуру повітря, струмопровідні підлоги, а також можливість одночасного контакту з металевими конструкціями електричних установок та конструкціями, що з'єднані із землею (НПАОП 40.1-1.01-97).

Для забезпечення роботи електричного устаткування в цеху використовуються установки з напругою не більше 380 В (три фази). Перед

початком роботи важливо перевірити стан обладнання, інструментів, огороджувальних конструкцій, заземлення та вентиляційних систем. Під час експлуатації необхідно суворо дотримуватись усіх вимог щодо технічного обслуговування обладнання, правил безпеки при використанні транспортних засобів і вантажопідйомних механізмів, а також щодо утримання робочих місць у належному стані.

У разі аварійних ситуацій слід беззаперечно дотримуватись всіх інструкцій щодо поведінки персоналу, що передбачають заходи у випадках аварій, які можуть призвести до нещасних випадків. Робочі ділянки повинні бути забезпечені необхідними попереджувальними знаками та плакатами, а обладнання — відповідним фарбуванням. Також важлива наявність чіткої розмітки для організації проїздів на території цеху.

Основну небезпеку у доменному цеху становить вплив електричного струму та електричної дуги. Ураження електричним струмом можливе в разі потрапляння в зону дії електричної дуги або при підключенні до електричної установки. Задля безпеки в електричних установках, де використовується напруга понад 1000 В, мають бути вжиті заходи для запобігання дотику або небезпечного наближення до струмоведучих частин (ГОСТ 12.1.30-81 ССБТ).

Для забезпечення належної безпеки роботи електроустановок одним з основних умов є надійний стан ізоляції. У доменному цеху також використовуються системи захисного занулення як засіб захисту від електричного струму.

3.5 Пожежна безпека

Основну пожежну небезпеку в доменному цеху становлять вибухи газу, а також вибухи металу і шлаків. Ці явища значно небезпечніші для життя працюючих, ніж звичайні пожежі, оскільки їх наслідки можуть бути набагато більш руйнівними. Щодо звичайних пожеж, їх ймовірність у доменному цеху

досить низька, оскільки більшість елементів будівель виконані з матеріалів, які не горять, враховуючи використання високотемпературних технологій.

До того ж, з доменної печі разом із газом виноситься значна кількість пилу, що утворюється внаслідок випаровування сирих матеріалів і конденсації пар летких речовин. Колошниковий пил є самозаймистим і може стати причиною вибухів газу у пиловловлювачах і газопроводах, що транспортують забруднений газ.

Для запобігання виникненню загорянь і вибухів у процесі експлуатації технологічного устаткування необхідно врахувати всі небезпеки на стадії проектування. Оскільки найбільша загроза пов'язана з розвитком пожеж і вибухів у виробничих приміщеннях, розробка профілактичних заходів розпочинається з класифікації приміщень за ступенем вибухопожежної небезпеки. Відповідно до характеристик використовуваних речовин та технологічного процесу, згідно з НАПБ Б.03.002-2007, апаратура доменного цеху, яка працює з коксовим або природним газом, відноситься до категорії А. Система газоочищення доменного газу, міжконусний простір колошника та установки для вдмухування вугільного пилу належать до категорії Б. Ливарний двір, де обробляються неспалені речовини у гарячому або розплавленому стані, відноситься до категорії Г.

Усі електротехнічні приміщення повинні бути оснащені автоматичною пожежною сигналізацією, яка зазвичай підключена до пультів керування печами або до чергового персоналу в машинному залі. Важливими елементами для забезпечення пожежної безпеки є підтримка чистоти території, справність обладнання та організація безпечних шляхів евакуації для працюючих. Однією з головних вимог є суворе дотримання персоналом правил експлуатації обладнання, інструкцій з техніки безпеки і технології, а також дисципліна праці.

Для ефективного гасіння пожеж у доменному цеху зручні в експлуатації установки газового пожежогасіння з тросовим пуском. Такі установки добре справляються із пожежами на початкових етапах їх розвитку.

Норми для первинних засобів пожежогасіння в доменному виробництві передбачають на одну домну один пінний вогнегасник, шість вогнегасників ВВ-8 і чотири ящики з піском (НАПБ Б.03.001-2004).

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Капітальні витрати на реалізацію запроєктованого об’єкту

Ділянка газоочищення функціонує як окрема виробнича та господарська одиниця підприємства. Керівництво цією ділянкою здійснює начальник, якому підпорядковуються заступник начальника ділянки та заступник начальника з питань устаткування. Заступник начальника з газоочищення організовує забезпечення виробничої ділянки необхідною технічною документацією, що забезпечує належний рівень управління. Майстер ділянки відповідає за виконання планових завдань, підвищення продуктивності праці та постачання ділянки потрібною технологічною сировиною. Оператор газоочисного устаткування контролює безперервну роботу установок згідно з номінальними режимами, гарантуючи їх стабільну експлуатацію.

Процеси, що відбуваються на очисних спорудах, тісно інтегровані з роботою доменного цеху. Доменна піч працює без зупинок, оскільки це агрегат безперервної дії. Тому газоочищення забезпечується безперервно, оскільки його ефективна робота є критично важливою для функціонування всього виробничого процесу.

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

$$С_к = (С_{осн.\ о.} + С_{м.} + С_{мон.} + С_н + С_{зд.}) \cdot 1000/3600 \cdot Q_с \cdot \tau, \quad (4.1)$$

де $С_{осн.\ о.}$ – вартість основного встаткування, грн;

$С_{м.}$ – вартість установки й монтажу встаткування, грн.

$$С_{м.} = 0{,}3 \cdot С_{осн.об.}, \text{ грн}, \quad (4.2)$$

де $С_{мон.}$ – вартість монтажу комунікацій, грн.

$$С_{мон.} = 0,15 \cdot С_{осн.об.,}\ грн, \quad (4.3)$$

де $С_н$ – вартість накладних витрат спеціалізованої організації,

$$С_н = 0,2 \cdot С_{осн.о.}, грн, \quad (4.4)$$

де $С_{зд.}$ – вартість будівель, грн;

$Q_с$ – витрата газів, що очищаються, $м^3/с$;

τ – ефективний час роботи газоочищення за рік, год.

За проєктним варіантом потрібне устаткування має наступну ціну:

- радіальний пиловловлювач 250000 грн, 1шт;
- порожнистий скрубер Вентурі 350000 грн, 1 шт
- скрубер Вентурі 800000 грн;
- шламове господарство 3500000 грн;
- дросельна група 500000 грн.

КВП становить 25% від вартості основного устаткування:

КВП = 0,25(250000+ 350000 + 800000+3500000+500000) = 1 350 000 грн;

Усього вартість основного устаткування:

$С_{осн. п.}$= 250000+ 350000 + 800000+3500000+500000+ 1350000 = 6750000 грн.

Тоді далі розраховуємо такі витрати:

$С_м$ = 0,3 ·6750000 = 2 025 000 грн;

$С_{мон}$= 0,15 ·6750000 = 1 012 500 грн;

$С_н$ = 0,2· 6750000 = 1 350 000 грн;

$С_{зд}$ = 160·(6 · 6 · 6 + 6 ·6 ·4) =57600 грн;

Тоді загальна сума капітальних витрат буде становити:

$С_к$ = 6750000 + 2 025 000 + 1 012 500 + 1 350 000 + 57600 = 11195100 грн

4.2 Розрахунки експлуатаційних витрат на очищення газів

Річні експлуатаційні витрати на очищення доменного газу:

$$З = \sum_{i=1}^{n} Сi = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7, \quad (4.5)$$

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

$З_2$ – витрати на електроенергію, грн;

$З_3$ – амортизаційні відрахування від основних фондів плюс ремонтний фонд, грн;

$З_4$ – основна й додаткова зарплата виробничих робітників, грн;

$З_5$ – відрахування на соціальне страхування, грн;

$З_6$ – витрати на поточний ремонт і зміст основних засобів, грн;

$З_7$ – інші цехові витрати, грн.

Розраховуємо вартість води, що витрачається за рік:

$$З_1 = Q \cdot m_{уд} \cdot Т_{эф} \cdot Ц, \quad (4.6)$$

де Q – витрата газів, що очищаються, 1000 $м^3$/год;

$m_{уд}$ – питома норма витрати води, $м^3$/1000$м^3$;

$Т_{эф}$ – фактичний час роботи газоочистки, год;

Ц – ціна 1000$м^3$ води (технічної), Ц = 0,80 грн.

Енергетичні витрати:

$$З_2 = r \cdot l \cdot N \cdot 1000, \quad (4.7)$$

де r – вартість електроенергії, грн/(кВт год);

1 – коефіцієнт враховуючий зміст обслуговуючого персоналу, грн/(кВт год);

N – сумарна потужність електродвигунів, $N_{пр}$ = 700 кВт

Амортизаційні відрахування від основних фондів визначається множенням вартості основних фондів на відповідні норми амортизаційних відрахувань:

- для устаткування – 15%;
- для будинку й споруджень - 5%;
- для мереж і комунікацій – 5%;
- для КВП – 25%.

Робимо підстановку вихідних даних та отримуємо загальну величину експлуатаційних витрат:

$С^{пр}$ =149111,52 +6566868 +393750+ 2880 + 19687,5 + 131250 = 7263547,02 грн

Відрахування в ремонтний фонд становить 15% від амортизаційних відрахувань:

$$С^{пр} = 0,15 \cdot А^{пр} = 0,15 \cdot 7263547,02 = 1089532,05 \text{ грн}$$

Інші цехові витрати становлять 25% від суми амортизаційних відрахувань і відрахувань у ремонтний фонд:

$$С_{інп} = 0,25(А^{пр} + С_6^{ін}) = 0.25(7263547,02 + 1089532,05) = 2088269,77 \text{ грн}$$

Тоді експлуатаційні витрати будуть становити:

З= 2088269,77+1089532,05+7263547,02=10441348,84 грн.

Економія від утилізації продуктів, що вловлюються в процесі очищення газу:

$$E_y = Q_{ут} \cdot Ц, \quad (4.8)$$

де $Q_{ут}$ – кількість утилізованого продукту, т/рік;

Ц – ціна відпускна за 1т, Ц = 94 грн.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування прийнятих у проєкті рішень

Термін окупності капітальних вкладень дорівнює:

$$T_{0к} = \frac{K}{E_y} = \frac{11195100}{3498468,75} = 3,2 \text{ років}$$

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень складає

$$E_{пр} = \frac{1}{T_{ок}} = \frac{E_y}{K} = 0,31 \text{ грн/(рік·грн)}$$

Виходячи з того, що нормативний термін окупності становить 6,67 р, а нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень - 0,15 грн/(рік·грн), то запропонована схема очистки газів з утилізацією вловленого пилу економічно доцільна.

Результати розрахунків зведено у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні техніко-економічні показники газоочисної установки

Показники	Ед.виміру	Величина
Річна виробнича потужність газоочищення:	тис.м^3	$1{,}7 \cdot 10^6$
Капітальні вкладення	тис. грн.	11195,1
Річні експлуатаційні витрати	тис. грн.	10441,3
Економічна ефективність капвкладень	грн.рік/ грн	0,31
Річний економічний ефект	тис. грн.	3498,4681
Строк окупності капітальних вкладень	років	3,2

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розроблено систему «мокрого» очищення технологічних викидів чавунного виробництва. У ході роботи проведено аналіз сучасних методів очищення доменного газу, обґрунтовано вибір оптимальної технології та виконано відповідні розрахунки.

Основні висновки, отримані в результаті дослідження:

1. Запропонована схема газоочистки демонструє ефективність у вилученні твердих частинок з доменного газу, що дозволяє значно знизити шкідливі викиди у навколишнє середовище.

2. Економічна доцільність проєкту підтверджена розрахунками: термін окупності капітальних вкладень становить 3,2 роки, що є нижчим за нормативний термін окупності (6,67 років). Коефіцієнт економічної ефективності – 0,31 грн/(рік·грн), що перевищує нормативний показник у 0,15 грн/(рік·грн).

3. Екологічна ефективність реалізації запропонованої технології підтверджується зниженням рівня запиленості доменного газу, що сприяє покращенню умов праці та зменшенню шкідливого впливу на довкілля.

4. Охорона праці та безпека виробництва – реалізація системи газоочищення сприяє зменшенню запиленості робочої зони та покращенню санітарно-гігієнічних умов праці.

5. Рекомендації щодо подальшого вдосконалення – можливість удосконалення системи шляхом використання комбінованих методів очищення та автоматизації процесів, що дозволить підвищити ефективність газоочистки та знизити експлуатаційні витрати.

Запропоноване рішення відповідає сучасним вимогам до екологічної безпеки металургійного виробництва та може бути впроваджене на підприємствах галузі для підвищення ефективності роботи газоочисних установок.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Доменна піч. URL: https://metinvest-smc.com/ua/articles/domennaya-pech-chto-eto-takoe-i-kak-ona-rabotaet/?srsltid=AfmBOorHP_B-I-z_rtv0kBRHRESOcMJAqZvzcDX-hLHYijZaxTbgq7Iv (дата звернення 11.11.2024).

2. Проектування об'єктів доменного виробництва. URL: https://mtechnology.com.ua/proektuvannya-obyektiv-domennogo-virobnictva/ (дата звернення 17.09.2024).

3. Теорія та технологія доменного виробництва. URL: https://www.libr.dp.ua/text/kraj/1543234.pdf (дата звернення 10.12.2024).

4. ММК ім. Ілліча відновлює потужності доменного виробництва. URL: https://metinvestholding.com/ua/media/news/2548 (дата звернення 10.11.2024).

5. Кожемякін Г.Б. Теоретичні основи та техніка захисту повітряного басейну: метод. вказівки до виконання курсового проекту та лабораторних робіт для студ. ЗДІА напряму 6.040106 "Екологія, охорона навкол. середовища та збалансоване природокористування".Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 115 с.

6. 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.

7. Манідіна Є.А., Бєлоконь К.В. Безпека технологічних процесів та обладнання : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 263 «Цивільна безпека» освітньо-професійної програми «Охорона праці». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2022. 133 с.

8. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електроустаткування спеціальних установок : Державний нормативний акт від 21 чер. 2001 р. №272. URL: https://dnaop.com/html/29478/doc-ДНАОП_0.00-1.32-01 (дата звернення: 17.12.2024).

9. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : затв. наказом М-ва України з пит. Надзвичайних ситуацій від 03 грудня 2007 р. № 833 URL: https://dnaop.com/html/32980/doc-НАПБ_Б.03.002-2007 (дата звернення: 17.11.2024).

10. Передистий Б.О. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів агломераційного виробництва. *Металургія як основа сучасної промисловості* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 23-26 жовт. 2017 р. Дніпро : ДДТУ, 2017. С. 45-47.

11. Геврик, Є.О. Охорона праці: навч. посібник для внз: [рек. М-вом освіти і науки України]. Київ : Ельга, Ніка-Центр, 2004. 279 с.

12. Податковий Кодекс України: Закон України № 2755-VI від 02.12.2010 (Редакція станом на 01.01.2017): веб-сайт. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17/paran8575#n8575 (дата звернення: 21.11.2024).