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 конвертерних газів»*

Виконав: студент *2* курсу, групи *8.1834*

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

спеціалізації
_____
(шифр і назва)

Прочухан О.В.

Керівник *доцент, к.ф.-м.н. Вагін А.В.*

Рецензент *проф., д.хім.н. Прутцьков Д.В.*
(прізвище та ініціали)

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*_____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

«____» _____ 2025 року

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

_____*Прочухан Олександр Вадимович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Проєкт системи мокрого очищення конвертерних газів»_____
керівник роботи_____*Вагін Андрій Вікторович*_____*к.ф.-м.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *"19" 09* 2025 року *№ 1305-с*

2. Строк подання студентом роботи _____*08.12.2025*_____

3. Вихідні дані до роботи розробити систему мокрого очищення відхідних газів в умовах конвертерного цеху._____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *вступ, загальна частина, спеціальна частина, охорона праці та техногенна безпека, висновки, перелік джерел посилань.*_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
*презентаційний матеріал на 12 слайдах (на 12 сторінках)*_____

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання___02.06.2025 р._____

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	*Висновки*		
6	*Презентація*		

Студент _____ *Олександр ПРОЧУХАН*

Керівник роботи _____ *Андрій ВАГІН*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Каріна БЄЛОКОНЬ*

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 61 стор., 2 табл., 9 рис., 11 джерел.

КИСНЕВИЙ КОНВЕРТЕР, ВІДХІДНІ ГАЗИ, МОКРЕ ОЧИЩЕННЯ, ДИМОТЯГ, ДИМОВА ТРУБА, КОТЕЛ-УТИЛІЗАТОР, ВИПАРНИЙ СКРУБЕР, ТРУБА ВЕНТУРІ, КРАПЛЕВЛОВЛЮВАЧ.

Об'єкт дослідження – ділянка газоочищення конвертерного цеху.

Предмет дослідження – система газоочищення відхідних газів від кисневого конвертора.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему очищення відхідних газів від кисневого конвертера.

У кваліфікаційній роботі розглянуто технологію виплавки сталі в киснево-конверторному виробництві, надано характеристику викидів та джерела виділення пилу та газів у киснево-конвертерному цеху. Проаналізовано існуючі системи очищення газів конвертерного виробництва. Обґрунтовано очищення за такою схемою – конвертер – котел-утилізатор – випарний скрубер – труба Вентурі – краплеуловлювачі – димотяг – димова труба. Після конвертера стоїть котел-утилізатор, де газ охолоджується до температури 600°С. Після котла-утилізатора газ надходить у два випарні скрубери. Газ, охолоджений до температури 250°С, надходить на очищення в дві труби Вентурі і два краплеуловлювачі. Після очищення газ витягується димотягом у трубу заввишки 50 м. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуті потенційно небезпечні і шкідливі чинники виробничого середовища конвертерного цеху і запропоновані технічні рішення по виробничій санітарії, розглянуті заходи щодо техніки електробезпеки і пожежної безпеки. Виконано розрахунок основних техніко-економічних показників, термін окупності інвестицій становить 4,4 року, а коефіцієнт ефективності капіталовкладень дорівнює 0,23 грн/грн на рік.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 7
1.1 Короткий опис конвертерного виробництва 7
1.2 Особливості устрою киснево-конвертерного цеху . . . 14
1.3 Характеристика газових викидів 20
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 23
2.1 Огляд існуючих способів очищення газу та вибір методу очищення 23
2.2 Розрахунок технологічної схеми очищення 27
2.2.1 Розрахунок апаратів схеми очищення газів 27
2.2.2 Розрахунок аеродинамічного опору газовідвідного тракту . 37
2.2.3 Аеродинамічний розрахунок димової труби . . . 41
2.3 Утилізація пилу 42
2.4 Техніко-економічне обґрунтування рішень, які прийняті у роботі 43
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 45
3.1 Аналіз шкідливих та небезпечних чинників конвертерного цеху 45
3.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища конвертерного цеху . . . 47
3.3 Характеристика конвертерного виробництва як пожежонебезпечного об'єкта 49
3.4 Протипожежні заходи 52
3.5 Розрахунок блискавкозахисту пічного прольоту конвертерного цеху 55
ВИСНОВКИ 59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 60

ВСТУП

Наразі питанням захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу викидів промислових підприємств приділяється велика увага.

Майже всі стадії технологічних процесів виробництва кольорових і рідкісних металів супроводжуються утворенням пилу, що зноситься технологічними та вентиляційними газами. У ці ж гази у вигляді домішок переходять окисли сірки (сірчистий і сірчаний ангідрид), хлористий водень, хлор, фтор та деякі інші складові сировини, що переробляється.

Кількість пилу, що утворюється – так званий винос або перехід металів в пил – залежить від металургійного процесу, його інтенсивності, конструкції агрегату, фізико-хімічної характеристики компонентів шихти (великість, міцність, вміст легковозгоняються металів і з'єднань та ін) і багатьох інших факторів.

Добре організоване пиловловлення дуже важливе для комплексного і повного використання всіх цінних компонентів сировини, що переробляється.

Організація систем знешкодження багатокомпонентних газоподібних викидів є складним науково-технічним завданням, вирішення якого, як правило, пов'язане з великими витратами матеріальних, енергетичних і людських ресурсів на спорудження газоочисних установок та їх експлуатацію. Це, звичайно, зумовлює підвищення вартості продукції, що створює відомі проблеми для прискореного і повсюдного будівництва газоочисних установок. Однак з урахуванням запобігання збиткам, які завдають шкідливих викидів навколишньому середовищу, будівництво спеціальних установок для знешкодження газів завжди економічно виправдане, не кажучи вже про соціальний ефект.

У разі використання уловлених продуктів і відходів виробництва, що утворюються, всі природоохоронні заходи за своєю ефективністю виявляються на рівні звичайних технологічних розробок.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Короткий опис конвертерного виробництва

При конвертерному способі виробництва сталі з рідкого чавуну домішки, що містяться в ньому, окислюються киснем дуття. При цьому вуглець значною мірою переходить у газ, а марганець, кремній, фосфор та сірка переходять у шлаки. Реакція окислення домішок супроводжується виділенням великої кількості тепла, достатньої підтримки сталі в рідкому стані.

Конвертер є грушоподібною сталевою судиною з футеровкою з вогнетривкого матеріалу. Розрізняють безсемерівський, томасівський та кисневий конвертерні процеси.

При безсемерівському процесі футерування конвертера кисла (з динасу), він призначений для переділу малофосфористих і малосірчаних чавунів; при томасівському – основна (зі смолодоміту), в таких конвертерах переробляються чавуни з високим вмістом фосфору. В обох випадках процес переділу полягає в продуванні знизу через шар налитого в конвертер чавуну повітря, що подається повітродувкою.

Киснево-конвертерний процес з продуванням чавуну киснем зверху дозволяє отримати сталь з різних чавунів як при кислій, так і при основній футеровках, причому сталь за якістю не поступається мартенівською.

Після завантаження скрапу і заливки чавуну конвертер ставлять у вертикальне положення і вводять фурму, що є водоохолоджувальною трубою зі змінним наконечником, по якій подають під тиском технічно чистий кисень (99,5%). У процесі продування вводять вапно та інші неметалеві присадки.

При киснево-конвертерному процесі відбувається виділення великої кількості забрудненого газу з високою температурою. Такі гази значно забруднюють навколишню місцевість, тож до викиду в атмосферу їх

потрібно ретельно очищати. Оскільки температура газів висока, перед очищенням необхідно охолоджувати.

Відведення газів з конвертера здійснюється двома принципово різними способами: з допалюванням (відведення з доступом повітря) та без допалювання (відведення без доступу повітря).

Схеми охолодження газів, що відходять, бувають з використанням (утилізацією) тепла газів і без використання. У схемах з використанням тепла охолоджувачі є котлами-утилізаторами радіаційно-конвективного або радіаційного типів. У перших продукти згоряння охолоджуються до 250-400°С, по-друге – приблизно до 1000°С при подальшому впорскуванні води. У схемах охолодження без утилізації тепла охолоджувачі є газоходами з водоохолоджувальними металевими стінками (трубчастими або панельними).

Залежно від способу відведення та охолодження відхідних газів об'єм їх на 1 т сталі, що виплавляється, знаходиться в межах 400-1600 $м^3$, нижня межа відповідає схемі без допалювання газів з охолодженням в радіаційному охолоджувачі з упорскуванням води, верхній – з допалюванням газів без утилізації [1].

В даний час безсмерівський і томасівський процеси конвертерного одержання сталі майже не застосовуються, оскільки якість такої конвертерної сталі поступається мартенівською, зате киснево-конвертерне виробництво сталі набуває все більшої питомої ваги.

Це пояснюється високою продуктивністю кисневих конвертерів, меншими капітальними витратами на спорудження конвертерного цеху в порівнянні з мартенівським цехом такої ж потужності, а також тим, що продуктивність праці в півтора рази вища, а вартість конвертерного переділу нижча за вартість мартенівського переділу.

Сутність конвертерних процесів на повітряному дутті (безсемерівського та томасівського) полягає в тому, що залитий у плавильний агрегат (конвертер) чавун продувають знизу повітрям; кисень повітря окислює домішки чавуну, у результаті він перетворюється на сталь.

Тепло, що виділяється при окисленні, забезпечує нагрівання сталі до температури випуску (1600 °С).

Безсемерівський процес (в конвертері з кислою футеровкою) був запропонований і розроблений англійцем Г. Бессемером в 1856-1860 рр., Томасівський (в конвертері з основною футеровкою) С, Томасом в 1878 р. Виникнення безсемерівського процесу мало винятково важливе значення литої сталі у великих кількостях, а пудлінговий процес отримання заліза в тістоподібному стані, що застосовувалися в той час, і тигельний процес отримання рідкої сталі в тиглях ємністю менше 50 кг не могли задовольнити потреби машинобудування, що розвивається.

Безсемерівський і томасівський конвертери являють собою посудину грушоподібної форми (рис. 1.1), виконану зі сталевого листа з футеруванням зсередини.

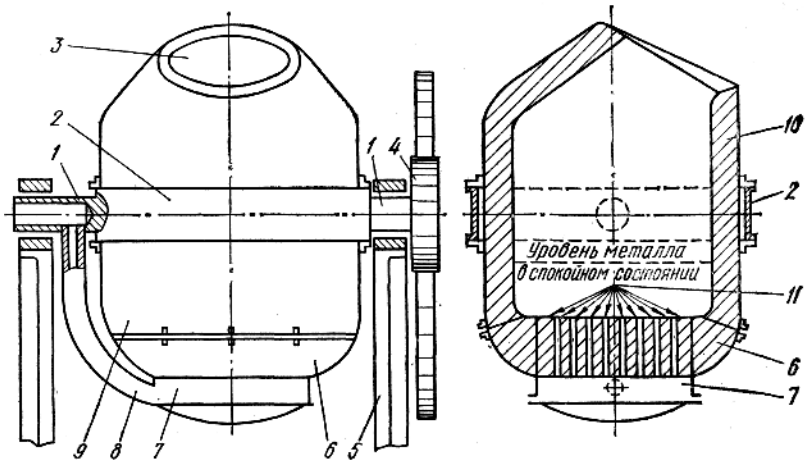


Рисунок 1.1 – Влаштування безсемерівського конвертера: 1 – цапфи; 2 – опорне кільце; 3 – отвір горловини; 4 – зубчасте колесо приводу повороту; 5 – опорна станина; 6 – днище; 7 – повітряна коробка; 8 – патрубок для подачі дуття; 9 – корпус; 10 – футерування; 11 – сопла

Футеровка безсемерівського конвертера кисла (динасовий цегла), томасовського – основна (доломит). Зверху в частині конвертера, що

звужується, – горловині – дається отвір, що служить для заливки чавуну і випуску сталі. Знизу до кожуха кріпиться відокремлене днище з повітряною коробкою. Дуття, що подається в повітряну коробку, надходить у порожнину конвертера через фурми (наскрізні отвори), що є у футеруванні днища. Дуттям служить повітря, що подається під тиском 0,30-0,35 МПа. Циліндричну частину конвертера охоплено опорним кільцем; до нього кріпляться цапфи, на яких конвертер повертається навколо горизонтальної осі [2].

Стійкість днища безсемерівського конвертера становить 15-25 плавок, томасівського 50-100 плавок, після чого їх замінюють. Стійкість решти футерування вища: у томасівського конвертера 250-400 плавок, у безсемерівського 1300-2000 плавок.

При конверторних процесах рідкий чавун піддається впливу окисного газу – повітря, кисню, водяної пари.

Кисень дуття окислює домішки чавуну – кремній, марганець, вуглець, у разі основного процесу та фосфор. При окисленні домішок виділяється значна кількість тепла, що розігріває метал. Температура плавлення сплаву під час видалення домішок підвищується. Одночасно підвищується температура металу, зберігається або збільшується перегрів металу над точкою плавлення (ліквідус). Тому сталь виходить у рідкому стані.

При продуванні через дно в безсемерівському та томасівському процесах схема технології наступна [3]:

1. У конвертер заливається рідкий чавун при положенні конвертера «на спині».

2. Пуск дуття та одночасний підйом конвертера у вертикальне положення. Надлишковий тиск дуття у повітряній коробці 1,8-2,2 ат, при томасовському процесі до 2,5 ат. З цього моменту починається продування.

3. Продування чавуну ділиться на три періоди за зовнішніми явищами, що спостерігаються у горловини, та за фізико-хімічною сутністю.

У першому періоді з горловини вириваються майже прозорі гази (без полум'я) та іскри. Іскри – це крапельки чавуну, що розриваються на повітрі через окислення вуглецю. У цей період окислюються залізо, кремній та марганець. Окисли їх FeO, SiO_2, MnO утворюють шлак. За рахунок окиснення домішок температура металу піднімається.

У другому періоді інтенсивно окислюється вуглець, що можливо при підйомі температури та зниженні концентрації кремнію. У томасовском процесі починає окислюватися фосфор. Окис вуглецю окислюється на повітрі до двоокису (CO_2), при цьому з'являється яскраве полум'я, що поступово збільшується у розмірі: яскравість полум'я теж зростає.

Третій період – період диму. У цей час вуглець вигорів майже до кінця (до сотих часток відсотка), кремнію та марганцю теж дуже мало і окислюється переважно залізо. Так як вуглецю майже немає, то в конвертерних газах, що відходять, немає CO, і полум'я тому спочатку знижується, яскравість його зменшується, а незабаром зникає повністю. Крапельки заліза, що окислюється, виносяться газами, додатково окислюються до Fe_3O_4 і Fe_2O_3 і дають інтенсивний бурий дим. Дим зазвичай супроводжує полум'я весь час, але в другому періоді він не інтенсивно забарвлений і в невеликій кількості, в томасівському конвертері в третьому періоді окислюється основна кількість фосфору (до сотих часток відсотка), у цьому процесі третій період є обов'язковим і має назву «передувки» або «дефосфорації».

4. При досягненні металом заданого складу слід «повалка» конвертера та припинення дуття. Тривалість усієї продування – від підйому до повалки – 10-20 хвилин, частіше в безсемерівському процесі 12-15 хвилин, а в томасівському 15-20 хвилин.

5. Розкислення металу і злив його в сталерозливний ківш.

6. Розливання сталі.

При продуванні чавуну киснем зверху чавун може заливатись у глуходонний конвертер при дещо похилому його положенні.

Дуття дають при вертикальному положенні конвертера, для чого в нього опускають фурму, через яку вдихається кисень. Періоди процесу продування є і в цьому випадку, але вони менш різко виражені, причому короткочасний період (1-2 хв). Після закінчення продування фурму виймають і припиняють подачу кисню при вертикальному положенні конвертера. Тривалість продування від 15 до 40 хвилин в залежності від ємності конвертера. Після продування метал також розкислюється і зливається в сталерозливний ківш.

У конвертерних процесах треба розглядати три взаємно пов'язані сторони [5].

1. Механізм впливу дуття на рідкий метал та шлак. Спосіб підведення дуття в конвертер, параметри дуття визначають насамперед фізико-хімічні процеси в конвертерній ванні, мають значний вплив на продуктивність конвертерів, вихід придатного та якісного металу.

2. Хімічні реакції процесу, послідовність та ступінь їх розвитку.

3. Тепловий бік процесу. Чавун, що зливається в конвертер, має температуру 1200-1300°С. До кінця продування для можливості розливання сталь повинна мати перегрів на 100-130 град. температура її наприкінці продування 1600-1650°С. Необхідно її нагріти під час продування на 300 – 400 град.

Достоїнства безсемерівського та томасівського процесів – висока продуктивність, простота пристрою конвертера, відсутність необхідності застосовувати паливо, мала витрата вогнетривів і пов'язані з цим нижчі, ніж при мартенівському та електросталеплавильному процесах, капітальні витрати та витрати по переділу.

Однак обом процесам властивий великий недолік - підвищений вміст азоту в сталі (0,010-0,025%), що викликається тим, що азот повітряного дуття розчиняється в металі. З цієї причини безсемерівська і томасівська сталь мають підвищену крихкість і схильність до старіння. Для отримання сталі зі зниженим вмістом азоту в 1950-65 роках були розроблені та знаходили

промислове застосування способи продування знизу парокисневою сумішшю та сумішшю кисню та вуглекислого газу, а також метод продування дмухом, збагаченим киснем.

Дуття, збагачене киснем містить від 30 до 40 % кисню. При більш високому вмісті кисню, як показав досвід, різко знижується стійкість днищ конвертера, що є наслідком виникнення у фурм зон високих температур через перебіг екзотермічних реакцій окиснення чавуну. При повітряному дутті температура у днища була нижчою, оскільки азот, що містяться у дутті у великій кількості, грав роль охолоджувача.

Застосування збагаченого дуття дозволяє скоротити тривалість продування (приблизно на 30 %), оскільки в цьому випадку в порівнянні з повітряним дуванням зростає кількість кисню, що вводиться в конвертер в одиницю часу. Через зменшення кількості азоту в дутті скорочуються втрати тепла з газами, що дозволяє переробляти до 10-15 % брухту. Виплавлювана сталь містила 0,006-0,009% N, тобто. більше, ніж мартенівська.

Продування парокисневою сумішшю дозволяє повністю виключити азот з дуття, отримувати сталь з дуже низьким вмістом азоту (0,001-0,0035 %) і скоротити тривалість продування. Пари води, потрапляючи в конвертер, розкладаються на водень та кисень із поглинанням тепла. Зазвичай застосовувалися суміші, що містили близько 50 % кисню та пари, які тепловому відношенні еквівалентні повітряному дуттю. У зв'язку з можливістю насичення металу воднем метод застосовувався при виплавці низьковуглецевих сталей для глибокої витяжки, в яких водень не є небезпечним, але важливо мати дуже низький вміст азоту.

Продування сумішшю кисню та вуглекислого газу у співвідношенні 1:1 дозволяло отримувати сталь з низьким вмістом азоту, але через високу вартість дуття застосовувалася рідше, ніж інші способи комбінованої продування знизу. У період із 1955 по 1975 рр. безсемерівський і томасовський процеси та їх різновиди були витіснені киснево-конвертерними процесами з верхньою та нижньою подачею дуття.

1.2 Особливості устрою киснево-конвертерного цеху

Цех із двома 350-т конвертерами включає наступні основні відділення: головний будинок, шихтове відділення для сипучих матеріалів, відділ безперервного розливу сталі. Головний будинок (рис. 1.2) складається із чотирьох прольотів: завантажувального *В*, конвертерного *Г*, шлакового *Б*, ковшового *А* і скрапного *Д*. У конвертерному прольоті розташовані три конвертери (відстань між ними 48 м), машини для подачі кисню з фурмами, система завантаження сипучих, частина газовідвідного тракту й 80-т кран для обслуговування ремонту конвертерів, фурм і котлів-утилізаторів [6].

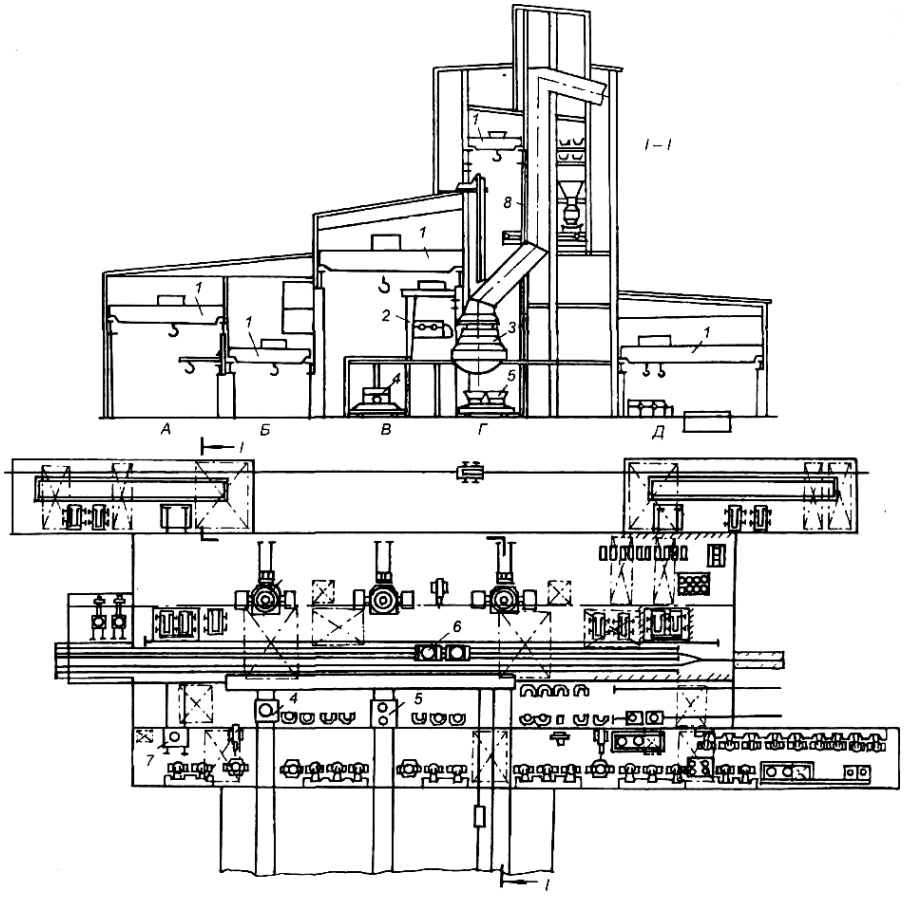


Рисунок 1.2 – План та переріз конвертерного цеху: А – ковшевой проліт; Б – проліт перестановки шлакових ковшів; В – завантажувальний проліт; Г – конвертерний проліт; Д – скрапний проліт; 1 – мостовий кран; 2 – напівпортальний кран; 3 – конвертер; 4 – сталевоз; 5 – шлаковоз; 6 – чавуновоз; 7 – скраповоз; 8 – газовідвідний тракт

Система відводу й очищення газів розташована в прибудовах над електромашинним приміщенням. Робоча площадка (+11,5 м) перекриває завантажувальний і конвертерний прольоти. Управління конвертером, кисневою фурмою і трактом шихтоподачі здійснюється з пульта управління. Пульти керування конвертерами розташовані між колонами ряду *В*.

У завантажувальному прольоті встановлений один заливальний кран (400+100/16 т), одна напівпортальна машина (130 т) для завантаження брухту; на робочій площадці прокладена опорна рейка напівпортальних машин.

Шлаковий проліт служить для перестановки й вивозу із цеху шлакових ковшів. Ковшовий проліт із кранами (125+30 т) призначений для ремонту й підготовки сталерозливальних ковшів. Під конвертерами прокладені ширококолійні шляхи, що йдуть через всі прольоти у відділення безперервного розливання сталі (ВБРС). У шихтових відкрилках є шість магнітних кранів, один мостовий кран (130 т) з поворотним візком, 5 ямних бункери для брухту.

Подача чавуну до конвертерів здійснюється ковшами міксерного типу, які транспортують у відділення переливу, розташоване поруч із завантажувальним прольотом.

Брухт у шихтові відкрилки доставляють близько 20 % розсипом з розвантаженням у бункери, а основну частину в совках обсягом 50 м^3, розміщених на платформах у поздовжнім положенні. Совки піднімають і розвертають у поперечне положення краном і встановлюють на підлогу відкрилка або на скраповоз.

Після довантаження брухту в совки з бункерів магнітним краном скраповоз перевозить два совки по поперечному шляху у завантажувальний проліт, де їх через виріз у робочій площадці піднімає напівпортальна машина і транспортує до конвертерів.

У торці конвертерного прольоту на робочій площадці розташована ділянка підготовки феросплавів. Система завантаження сипучих матеріалів –

двостороння. З кожної сторони конвертера встановлено по чотири видаткових бункера, матеріали в які доставляють конвеєрами із шихтового відділення. На кожні два видаткових бункери встановлені ваги-дозатори; з них матеріали видаються до конвертерів поперечним конвеєром. Сталь випускають у ківш, встановлений на сталевозі, що по поперечному шляху переїжджає в ВБРС. Шлаки зливають у ковші самохідного шлаковоза, що переїжджає з-під конвертера по шляху у шлаковий; тут ковші зі шлаками переставляють краном на несамохідні шлаковози і вивозять їх у шлакове відділення [6].

Організація основних робіт у цеху. *Доставка й завантаження брухту*. Витрата сталевого брухту в кисневих конвертерах становить 27 % від маси металевої шихти. Брухт завантажують у конвертери совками (лотками) обсягом 120 м^3. Сталевий брухт завантажують у совки в шихтових прольотах, звідки совки доставляють у завантажувальний проліт. Совки ємністю 105 м^3 мають довжину 14,5 м. Під час завантаження нахиляємий совок повинен бути розташований поперек завантажувального прольоту, тому при доставці совків по поздовжніх шляхах необхідний їхній розворот на 90^o.

Завантаження брухту ведуть напівпортальними машинами. Напівпортальні машини працюють незалежно від заливальних кранів і не загороджують робочу площадку прольоту. Конструкція машини дозволяє застосовувати совки обмежених розмірів: для завантаження необхідної кількості лома (до 30 %) потрібні два совки.

Подача й заливання чавуну. Чавун заливають у конвертер мостовими заливальними кранами. Перед заливанням чавуну в конвертер необхідно скачати із заливального ковша шлак, що попадає з ковша міксерного типу, оскільки він містить багато сірки. Скачування шлаку ведеться у торці завантажувального прольоту машиною гребкового типу з ковшів, утримуваних і нахиляємих заливальним краном.

Системи подачі й завантаження в конвертер сипучих матеріалів. Системи подачі й завантаження сипучих матеріалів включають розташовану над конвертером автоматизовану систему завантаження й тракт подачі матеріалів у видаткові бункери завантажувальної системи.

Видаткові бункери системи завантаження сипучих розташовані над конвертерами на висоті 55 м від рівня підлоги цеху. Матеріали в ці бункери подають стрічковими конвеєрами – вапно з вапновипалювального відділення, а інші матеріали – із шихтового. Поблизу головного будинку цеху споруджені прийомні бункери, у які матеріали доставляють залізничними вагонами або автосамосвалами. Із прийомних бункерів матеріали транспортують у видаткові бункери конвеєрної системи.

Система завантаження матеріалів у конвертер забезпечує зберігання оперативного запасу матеріалів: набір, дозування й завантаження порцій матеріалів у певний час і в певній послідовності без зупинки продувки; можливістю швидкого варіювання програми завантаження; автоматизацію всіх виконуваних процесів; мале виділення пилу в атмосферу цеху й у газовідвідний тракт [6].

Подача феросплавів у сталерозливальний ківш забезпечує подачу феросплавів декількома порціями в певній послідовності, їхній прогрів і іноді розплавлювання. Система подачі феросплавів сполучена із системою подачі сипучих матеріалів у конвертер. Видаткові бункери для феросплавів у цій системі розташовані в одному ряді з видатковими бункерами для сипучих, а феросплави в бункери доставляють по конвеєрному тракті подачі сипучих матеріалів із шихтового відділення.

Кожний конвертер обладнаний двома трактами подачі в ківш твердих феросплавів з видаткових бункерів, розташованих симетрично із двох сторін конвертера. Загальне число видаткових бункерів на один конвертер становить вісім, що дозволяє застосовувати до восьми видів феросплавів.

Є також самостійний тракт подачі в ківш рідких феросплавів. З видаткових бункерів через ваги-дозатори феросплави подаються у візок, що

завантажує їх в одну з індукційних печей. Розплав випускають у встановлений на самохідному візку ківш, а з нього по футерованій тічці зливають у сталерозливальний ківш.

Випуск і передача сталі на розливання. Сталь випускають у ківш, установлений на сталевозі, що пересувається по поперечних ширококолійних шляхах, прокладених під конвертером, і транспортує ківш в ВБРС. Сталевоз являє собою самохідну платформу й має два механізми пересування з електродвигунами постійного струму. Вантажопідйомність сталевозів для 350-т ковшів становить 550 т, ширина колії 4800 мм.

Збирання шлаків. Ширококолійні шлаковози с самохідними, являючи собою рейковий візок, схожий за пристроєм зі сталевозом. Шлаковози розраховані на установку одного ковша обсягом 30 $м^3$. На шлаковозах передбачають також установку коробів для сміття. Застосування ковшів ємністю 30 $м^3$ скорочує тривалість зливу шлаків, оскільки не потрібно переривати злив після наповнення одного ковша й пересувати шлаковоз, подаючи наступний.

Шлакове відділення. Шлаки з конвертерних цехів вивозять у шлакові відділення, де спорожняють шлакові ковші. Відділення являє собою обладнану мостовими кранами траншею, з боків якої проходять рейкові шляхи для подачі шлаковозів і платформ, у яких вивозять застиглі шлаки. Шлаки виливають у траншею шляхом нахилу ковшів. Для видалення настилів шлаків служить спеціальна установка. Ківш перекидають за допомогою спеціального стенда й на його дно зверху краном установлюють вібратор, завдяки якому відокремлюються настилі. Застиглі шлаки із траншеї завантажують па платформи грейферним краном і вивозять на переробку.

Очищення конвертерних газів. У газах, що відходять із кисневих конвертерів міститься до 250 $г/м^3$ пилу (в основному окислів заліза) у зв'язку із чим всі конвертери обладнають системами газоочистки для зниження вмісту пилу до припустимих санітарних норм (менш 0,1 $г/м^3$). Ці системи з метою економії електроенергії обладнають котлами-утилізаторами

(охолоджувачами конвертерних газів – ОКГ). Система відводу й очищення газів включає котел-утилізатор, газоочисні пристрої, димосос і трубу для викиду газу в атмосферу або газгольдер для збору газу.

Газовідвідний тракт киснево-конвертерного цеху запроектований на інтенсивність продування 2800 $м^3$/хв O_2 з відведенням конвертерних газів за схемою з допалом СО в конвертері з регулюванням тиску в гирло кесона. Охолоджувач конвертерних газів (ОКГ) є одноходовим екранованим газоходом радіаційного типу. Нижня частина ОКГ виконана відкаткою, що забезпечує доступ в конвертер при ремонтах. За ОКГ-400 встановлено газоочищення з мокрою системою очищення газів в трубах Вентурі. В ОКГ гази охолоджуються до 900-1000 °С і потім рухаються через зрошуваний газохід, де їхня температура знижується до 80 °С водою, що подається через форсунки. Далі вони надходять на першу ступінь газоочистки (дві паралельно розташовані труби Вентурі) і потім на другу (одна труба Вентурі), а потім димососом викидаються в атмосферу через свічу, постачену допалювальним пристроєм, що забезпечує спалювання СО. Недоліком системи є висока витрата води (8-10 л/$м^3$ газів). Завдяки малим габаритам газоочистку розміщають у конвертерному прольоті (над конвертерами між ними); при цьому не потрібно додаткових приміщень.

У відділенні підготовки ковшів відбувається ремонт і заміна футерування аварійних місткостей, сталерозливних, чавуновозних і проміжних ковшів. Також тут здійснюється ремонт металоконструкцій і механізмів, якими обладнані ковші. Це відділення знаходиться між конвертерним відділенням і МБЛЗ [5, 6].

ВБЛЗ складається з трьох сталерозливних прольотів: прольоту транспортування слябів, ділянки підготовки технологічного устаткування і розливання. Уся сталь, що виплавляється в ККЦ, розливається в сляби уніфікованого перерізу 220÷300÷1550÷1850 мм. Усі МБЛЗ згруповані в один блок, що має один загальний сталерозливний майданчик. Подача сталі в ВБЛЗ здійснюється самохідними сталевозами, а на МБЛЗ кранами. Всі МБЛЗ

радіального типу. Основу устаткування сталерозливного майданчика складає розливний стенд, на якому встановлені сталековші. Стенд двопорційний, виконаний він підйомно-поворотним. Для установки і підтримки в процесі розливання промковшів, їх переміщення, на розливному майданчику передбачено два самохідні візки, що переміщаються по кільцевій траєкторії навколо стенду. Устаткування технологічної лінії призначене для початкового формування сляба, його охолодження, протягування через МБЛЗ і видачу його в зону різання на мірні довжини. Устаткування включає: кристалізатор з механізмами гойдання, установка роликових секцій зони вторинного охолодження, устрій для відділення затравки, рольганг прибирання затравки [6].

1.3 Характеристика газових викидів

Процес виплавки сталі в конвертері з продуванням ванни киснем зверху супроводжується виділенням значної кількості конвертерних газів, які містять високодисперсний пил та токсичні газоподібні компоненти (CO, SO_2, NO_x). Інтенсивність утворення конвертерних газів визначається швидкістю вигоряння вуглецю шихти та розкладання вапняку та коливається в межах 70-90 $м^3$ на 1 т сталі.

Очищення конверторних газів без допалювання окису вуглецю здійснюють без доступу повітря до газового тракту. Тому на газоочищення надходять лише конвертерні гази, а не продукти їхнього згоряння. Кількість газів, що утворюються в процесі плавки, залежить від методу проведення кисневого продування, режиму плавки і типу присадок, конструкції фурми і її положення, виду чавунів, що переробляються, інтенсивності продування і, за практичними даними, становить 70-90 $м^3$ на кожну тонну ємності.

Пил складається в основному з оксидів заліза; в ній присутні також оксиди кремнію, алюмінію, кальцію, магнію, марганцю. Переважна більшість частинок пилу (80%) має розміри менше 1 мкм; густина пилу 4 – 5 $г/см^3$.

Хімічний склад конвертерного газу без допалювання окису вуглецю, % (обсяг.): 17 CO_2; 16 N_2; 67 CO. Крім того, в газі міститься, мг/м^3: до 70 SO_2; 30 H_2S; 200 F; 20 Cl. Запилення газу на виході з конвертера доходить до 200 г/м^3.

Температура конвертерних газів, що відходять на виході з горловини конвертера в міру проведення кисневої продування підвищується від 1250 - 1300°С на початку продування до 1600-1700 °С в середині і кінці продування. З конвертерними газами виноситься значна кількість високодисперсного пилу як бурого диму.

За періодами плавки викид пилу розподіляється нерівномірно. Максимальне значення запилення спостерігається в момент завантаження в конвертер сипких матеріалів.

Хімічний склад пилу мало залежить від інтенсивності продування розплаву металу киснем, але значно змінюється за періодами плавки; крім того, склад пилу залежить від способу відведення конвертерних газів. У табл. 1.1 наведено хімічний склад пилу перед газоочищенням при відведенні конвертерних газів з частковим допалюванням на виході з агрегату [7].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад конвертерного пилу

Час від початку плавки, год	Масова частка, %				
	Fe_2O_3	FeO	CaO	SiO_2	C
0,02-0,07	55,4	5,5	31,9	2,0	0,7
0,07-0,18	12,6	78,8	2,5	1,5	0,6
0,18-0,25	18,8	64,6	4,1	1,2	0,5

Дисперсний склад пилу в пробах, взятих перед газоочисною установкою (середня проба за всю плавку), характеризується такими даними:

Розмір частинок, мкм	0 – 3	3 – 60	60 – 250	Більше 250
Масова частка, %	59	10	7	24

Кількість SO_2 у газі коливається не більше 20-200 мг/м^3. Сірка в конвертерному пилу міститься у вигляді сульфідів і сульфатів, її кількість в пилу в горловині конвертера і газовідвідному тракті приблизно однаково.

Загалом при продуванні киснем ванни розплавленого металу у конвертері як пилу втрачається 1,5 – 2 % маси залитого в конвертер чавуну.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Огляд існуючих способів очищення газу та вибір методу очищення

В установках без допалювання окису вуглецю очищення газу здійснюють майже завжди в мокрих пиловловлювачах. Електрофільтри, у яких безперервно виникає іскріння, можуть стати джерелом вибуху; тканинні фільтри складні у виготовленні, громіздкі та не мають необхідної газощільності. Відведення конвертерного газу без допалювання оксиду вуглецю здійснюють в основному за схемою з котлом-утилізатором, а очищення газів від пилу за умов вибухобезпечності виробляють в апаратах мокрого типу (рис. 2.1) [6].

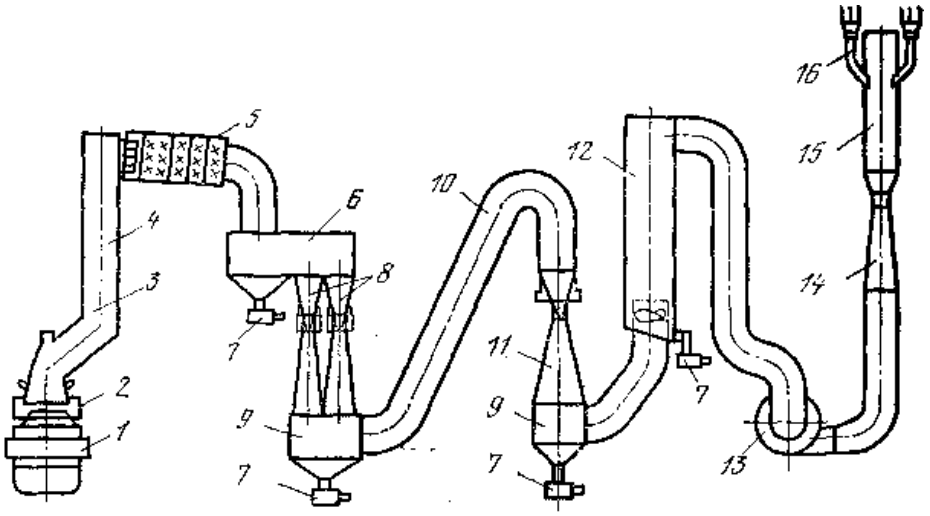


Рисунок 2.1 – Схема відведення та очищення конвертерного газу без допалювання окису вуглецю: 1 – конвертер; 2 – рухома водоохолоджувальна муфта; 3 – киснева фурма; 4 – котел-утилізатор; 5 – зрошуваний газохід; 6 – колектор запиленого газу; 7 – гідрозатвор; 8 – низьконапірні труби Вентурі; 9 – інерційний пило- та бризкоуловлювач; 10 – газохід; 11 – високонапірна труба-коагулятор; 12 – відцентровий скрубер із завихрювачем газу; 13 – димосос; 14 – труба Вентурі для вимірювання кількості газу; 15 – димова труба; 16 – пристрій, що допалює

Система відведення газу складається з кесона, що переходить у камін, у який вбудований котел-утилізатор. В останньому газ охолоджують до 800-900 ° С; доохолодження його здійснюють спочатку в горизонтальному газоході за рахунок подачі дрібнорозпиленої води, а потім в низьконапірних трубах Вентурі з регульованим перерізом горловини. Коагуляція дрібнодисперсного пилу відбувається у високонапірній трубі Вентурі з регульованим перерізом горловини та зрошенням у межах 1,4-1,7 л/м^3.

Очищення газу від великих крапель шламу здійснюють в інерційних пило- та бризкоуловлювачах, на яких встановлені труби Вентурі; остаточне очищення газу від укрупненого пилу проходить у відцентровому скрубері.

Існують дві конкуруючі між собою системи газоочищення: гранівор-солівор (фірма «Ірсід-Кафл») та двоступінчаста система з трубами Вентурі (фірма Оксижен-газ»).

У системі гранівор-солівор газ із радіаційного котла-охолоджувача надходить знизу в гранівор, що має п'ять ярусів зрошення (рис. 2.2). Як у звичайному форсуночному скрубері, у ньому відбувається охолодження та зволоження газу, а також коагуляція та часткове уловлювання укрупнених частинок пилу. З гранівору по похилому газоходу, що зрошується, газ переходить в основний апарат газоочищення - солівор, в якому розміщено п'ять ярусів низьконапірних дрібних труб Вентурі (1575 шт.). Перед кожним ярусом в газохід подається дрібнорозпилена вода для насичення та часткового пересичення газів. При проході через труби Вентурі внаслідок зміни тиску по довжині труби відбувається конденсація парів, що сприяє коагуляції пилу.

На виході з соливору встановлено апарат відцентрового типу мультициклогалакс, що складається з 200 литих елементів з гвинтовими вставками, що відокремлює уловлений пил від потоку газу. Остаточне очищення газу здійснюють у двох циклогалаксах з поворотними лопатями, які монтують безпосередньо на димарі. У димову трубу газ подається за допомогою димососа з дросельним клапаном на всмоктуванні, що регулює тиск газів при вході в кесон. У гирлі димаря стоять свічки для допалювання

окису вуглецю при викиданні її в атмосферу. При використанні конверторного газу як паливо димосос перемикають на роботу в газгольдер, звідки газ подається споживачам.

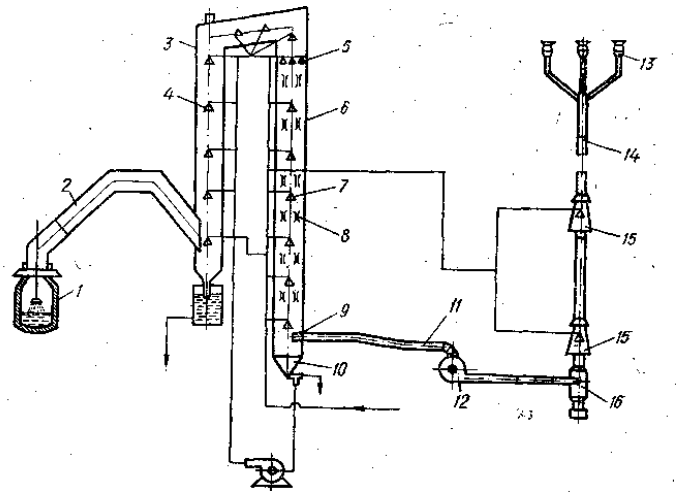


Рисунок 2.2 – Система газоочищення гранівор-солівор: 1 – конвертор; 2 – охолоджувач; 3 – гранівор; 4 – яруси зрошення; 5 – розпилювач води, що обертається; 6 – солівор; 7 – стаціонарний розпилювач; 8 – яруси труб Вентурі; 9 – мультициклогалакс; 10 – бункер; 11 – дросельний клапан; 12 – димосос; 13 – пристрій, що допалює; 14 – труба-свічка; 15 – циклогалакс; 16 – циклон

Характерною особливістю системи очищення гранівор-солівор є відносно невеликий гідравлічний опір (8,50 кПа) та значна витрата води (16,6 $дм^3/м^3$).

У двоступінчастій системі з трубами Вентурі або системі ОГ (Оксиген-газ) очищення конверторних газів здійснюють у двох послідовно розташованих ступенях прямокутних труб Вентурі з регульованим перерізом горловини. По зрошуваному похилому газоходу, що є ступенем попереднього охолодження і очищення (рис. 2.3), газ надходить в першу ступінь 5 труб Вентурі, що працює з малим перепадом тиску (2,5-3,0 кПа) і є напівтонкою очищення апаратом. Як вологовідділювачі за першим ступенем труб Вентурі

стоять кутові сепаратори 6. Тонку очищення здійснюють у другому ступені з 7 труб Вентурі, перепад тиску на яких становить 7,0-8,0 кПа. Регулювання перерізу труб Вентурі другого ступеня забезпечує оптимальний ступінь очищення і одночасно підтримує необхідне розрідження при вході в кесон. Відділення вологи після другого ступеня труб Вентурі відбувається в пиловловлювачах з лопатковим завихрювачем.

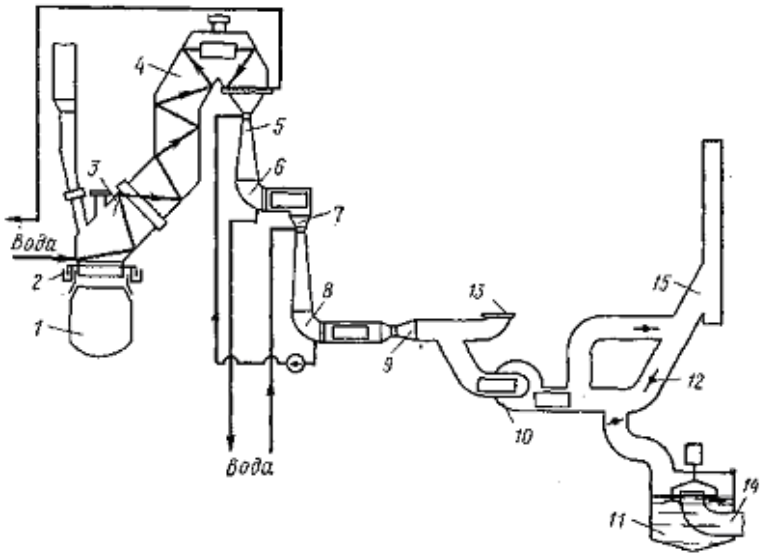


Рисунок 2.3 – Система очищення фірми «Оксижен-газ»: 1 – конвертор; 2 – ущільнювальне водоохолоджувальне кільце; 3 – підйомний газохід; 4 – скруберна частина; 5,7 – труби Вентурі; 6, 8 – кутові сепаратори; 9 – гідрозатвор; 10 – димосос; 11 – газгольдер; 12 – дросельний клапан; 13 – запобіжний клапан; 14 – газопровід до споживача; 15 – димова труба

Безпека роботи системи забезпечується герметичним ущільненням зазору між каміном та конвертором рухомою муфтою з пісковим затвором, що повністю закриває зазор під час продування. Для забезпечення кращого ущільнення та безпеки роботи при опущеній муфті в зазор подається азот для продування газовідвідного тракту перед надходженням конверторного газу і після закінчення кисневого продування.

Система очищення двома ступенями труб Вентурі має значний гідравлічний опір (~1,6 кПа) та помірну витрату води (~6,5 дм^3/м^3).

У кваліфікаційній роботі пропонується така схема очищення конвертерних газів (рис. 2.4). Гази з конвертера надходять до котла-утилізатора, де охолоджуються до 600°С. З котла-утилізатора гази надходять у випарний скрубер, де вони не очищаються, а лише охолоджуються до 250°С. Сама очищення проводиться в скрубері Вентурі, який знаходиться після випарного скрубера. Далі гази через димову трубу викидаються в атмосферу.

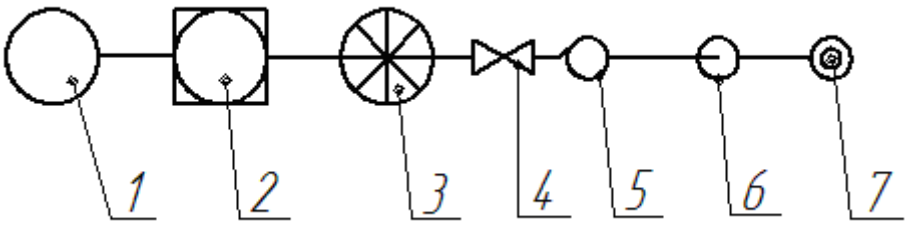


Рисунок 2.4 – Схеми очищення конвертерного газу: 1 – конвертер; 2 – котел-утилізатор; 3 – скрубер; 4 – труба Вентурі; 5 – краплеуловлювачі; 6 – димосос; 7 – димова труба

2.2 Розрахунок технологічної схеми очищення

2.2.1 Розрахунок апаратів схеми очищення газів

Вхідні дані:

1. Витрата газу – 80 тис. нм^3/год = 22,2 м^3/с;
2. Запиленість – 40 г/м^3;
3. Температура – 1100^{0}С;
4. Газовий склад, %: N_2 – 8,2; O_2 – 2,8; CO – 80; CO_2 – 9; SO_2 – 120 мг/м^3 = 4,2·10^{-3}%.
5. Дисперсний склад пилу:

Фракція, мкм	<3	3-6	60-250	>250
Зміст, %	59	10	7	24

6. Очищення підлягає газ із розрядженням 0,1 кПа;

Схема очищення: котел-утилізатор – скрубер – скрубер Вентурі.

Котел-утилізатор

Котел-утилізатор підбирається за температурою та витратою газу.

Визначаємо щільність газової суміші за нормальних умов, кг/м^3:

$$\rho_0 = \sum a_i \cdot \rho_i = 0{,}082 \cdot 1{,}251 + 0{,}028 \cdot 1{,}429 + 0{,}8 \cdot 1{,}25 + 0{,}09 \cdot 1{,}976 + \\ + 4{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}927 = 1{,}32$$

Щільність газів за робочих умов, кг/м^3:

$$\rho = \rho_0 \frac{273 \cdot \left(P_{бар} \pm P_ц\right)}{\left(273 + T_г\right) \cdot 101{,}3} = 1{,}32 \cdot \frac{273 \cdot \left(101{,}3 - 0{,}1\right)}{\left(273 + 1100\right) \cdot 101{,}3} = 0{,}26$$

де ρ_0 – щільність газів за нормальних умов, кг/м^3;

$P_{бар}$ – нормальний атмосферний тиск, Па;

$P_г$ – розрядження газу, Па;

$T_г$ – температура газів.

Витрата газів за робочих умов, м^3/с:

$$V_p = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho \cdot 3600} = \frac{80000 \cdot 1{,}32}{0{,}26 \cdot 3600} = 112{,}8$$

де V_0 – об'ємна витрата газів за нормальних умов, м^3/год.

За каталогом вибираємо котел-утилізатор марки ОКГ – 400.

Випарний скрубер

Вхідні дані:

- об'ємна витрата газу за нормальних умов Q_0 = 22,2 м^3/с;
- розрядження газу в скрубері Р = - 0,3 кПа;
- початкова температура газу t = 600 °С;
- тиск води перед форсунками Рж = 0,4 МПа;
- початкова температура води t = 20 °С;
- втрата тиску в скрубері $\Delta P_{ап}$ = 250 Па.

Об'ємна частка компонентів конвертерного газу, %:

N_2 – 8,2; O_2 – 2,8; CO – 80; CO_2 – 9; SO_2 – 120 мг/м^3 = 4,2·10^{-3}%.

1) Ентальпія газу на вході в скрубер (t = 600 °С):

$$I_1=0.01\sum_{1}^{n} i \cdot r = 0{,}01\cdot(803{,}9\cdot 8{,}2 + 850\cdot 2{,}8 + 802{,}2\cdot 80 + 1222{,}6\cdot 9 + 829{,}9\cdot 4{,}2\cdot 10^{-3}) = 841{,}5 \text{ кДж/м}^3.$$

2) Приймаємо, що на виході зі скрубера газ має температуру $t_г$ = 250 °С. Ентальпія газу за цієї температури:

$$I_2 = 0{,}01\cdot(325{,}95\cdot 8{,}2 + 337{,}05\cdot 2{,}8 + 328{,}6\cdot 80 + 458{,}25\cdot 9 + 383{,}55\cdot 4{,}2\cdot 10^{-3}) = 340{,}3 \text{ кДж/м}^3.$$

3) Кількість води, що передається в скрубері від газу до води:

$$Q = Q_0\cdot(i_1-i_2) = 22{,}2\cdot(841{,}5-340{,}3) = 11126{,}64 \text{ кВт}.$$

Приймаємо коефіцієнт випаровування води в скрубері =1, кінцеву температуру води 190 °С [7].

4) Середня температура газу в скрубері:

$$t_{ср} = (t_1+t_2)/2 = (600+250)/2 = 425\ °C.$$

5) Ентальпія насиченої пари при середній температурі газу в скрубері $i_п$ = 2804,9 кДж/кг, ентальпія води при початковій температурі $t_н$ = 20 °С, $i_п$ = 83,9 кДж/кг, при кінцевій температурі $t_к$ = 190 °С, $i_п$ = 807,85 кДж/кг.

6) Витрата води в скрубері [7]:

$$M_в = \frac{Q}{\varphi\cdot(i_п - i_н)+(1-\varphi)\cdot(i_к - i_п)} = \frac{11126,64}{1\cdot(2804,9-83,9)+(1-1)\cdot(807,85-83,9)} = 4,1 кг/с.$$

7) Об'ємна витрата газу за робочих умов на вході в скрубер:

$$V_1 = \frac{V_0(273+t_г)B}{273(101,3-P)} = \frac{22,2\cdot(273+600)101,3}{273\cdot(101,3-0,3)} = 71,2 м^3/с.$$

$$\rho_р = \rho_0\cdot\frac{273\cdot(101,3-P)}{(273+t)101,3} = 1,32\cdot\frac{273\cdot(101,3-0,3)}{(273+600)\cdot101,3} = 0,41 кг/м^3.$$

8) Питома витрата води на зрошення:

$$m = \frac{M_в}{V_1} = \frac{4,1}{71,2} = 0.058 кг/м^3.$$

9) Вологість газу на виході зі скрубера за нормальних умов:

$$f_{0г} = f_0 + \frac{\varphi\cdot M_в}{V_0} = 0 + \frac{1\cdot4,1\cdot10^3}{22,2} = 184,7 г/м^3.$$

10) Максимально можлива абсолютна вологість газу за робочих умов на виході зі скрубера:

$$f_н = \frac{P_п}{R_п \cdot T} \cdot \frac{P}{P - P_п} = \frac{16965}{463 \cdot 523} \cdot \frac{101025}{101025 - 16965} = 0{,}084 кг / м^3.$$

11) Наведена до нормальних умов максимально можлива вологість газу на виході зі скрубера:

$$f_{0н} = f_п \cdot \frac{101325 \cdot T}{273 \cdot P_a} = 0{,}084 \cdot \frac{101325 \cdot 523}{273 \cdot 101025} = 0{,}16 кг / м^3.$$

Розрахунки показали, що газ на виході зі скрубера насичений водяними парами (відносна вологість φ=1) і містить максимально можливу їх кількість – 0,16 кг/м^3 [7].

12) Об'ємна витрата газу за робочих умов на виході зі скрубера:

$$V_Г = V_{0C} \cdot (1 + \frac{f_0}{0.804}) \cdot \frac{101325 \cdot T}{273 \cdot P} = 22.2 \cdot (1 + \frac{0.16}{0.804}) \cdot \frac{101325 \cdot 523}{273 \cdot 101025} = 51.14 м^3 / с.$$

13) Середня різниця температур між газом і водою в скрубері:

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_k) - (t_2 - t_п)}{\ln \frac{t_1 - t_k}{t_2 - t_п}} = \frac{(600 - 190) - (250 - 20)}{\ln \frac{600 - 190}{250 - 20}} = 311 C°.$$

14) Щільність сухого конвертерного газу за нормальних умов:

$$\rho_0 = \sum a_i \cdot \rho_i = 0{,}082 \cdot 1{,}251 + 0{,}028 \cdot 1{,}429 + 0{,}8 \cdot 1{,}25 + 0{,}09 \cdot 1{,}976 +$$
$$+ 4{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}927 = 1{,}32$$

15) Щільність вологого газу за робочих умов на виході зі скрубера:

$$\rho_г = \frac{\rho_0 + f_0}{1 + \frac{f_0}{0.804}} \cdot \frac{273 \cdot P}{101325 \cdot T} = \frac{1.32 + 0.16}{1 + \frac{0.16}{0.804}} \cdot \frac{273 \cdot 101025}{101325 \cdot 523} = 0{,}64 кг / м^3 .$$

16) Об'ємний коефіцієнт теплопередачі:

$$K_0 = (17{,}4+115 \cdot m \cdot U_г) \cdot \rho_г \cdot U_г = (17{,}4+115 \cdot 1 \cdot 1{,}2) \cdot 0{,}64 \cdot 1{,}2 = 119.3 \text{ Вт/(м}^3 \cdot °C).$$

17) Необхідний обсяг скрубера:

$$V_{скр} = \frac{10^3 \cdot Q}{K_0 \cdot \Delta t} = \frac{10^3 \cdot 11126.64}{119{,}3 \cdot 311} = 300 м^3 .$$

18) Діаметр скрубера:

$$Д = (V_г / 0{,}785 \cdot U_г)^{0{,}5} = (51{,}14 / 0{,}785 \cdot 1{,}2)^{0{,}5} = 7.4 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартний діаметр $d_{ст} = 5{,}5$ м, кількість 2.

19) Корисна висота скрубера:

$$H = \frac{V_{скр}}{0{,}785 \cdot Д^2} = \frac{300}{0{,}785 \cdot 5{,}5^2 \cdot 2} = 6.3 м .$$

Вибираємо 2 скрубери марки АКРП з такими характеристиками: витрата газу 130 $м^3/с$; діаметр скрубера 5,5 м; висота скрубера 27,8 м; маса скрубера 55,8 т.

Зміна газового складу після випарного скрубера:

18г – 22,4 л X_{H_2O} = 229,85 л

184.7 г – X_{H_2O} л

N_2	O_2	CO	CO_2	SO_2	H_2O	
82л	28л	800л	90л	0,042л	229,85л	V = 1230л
6,7%	2,28%	65,04%	7,3%	$3{,}4 \cdot 10^{-3}$%	18,69%	100%

1) Витрата газів за нормальних умов після випарного скрубера:

$$Q_0 = 80000 \cdot 1{,}23 = 98400 \text{ м}^3/\text{ч} = 27{,}3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2) Запиленість після випарного скрубера:

$$Z = \frac{40}{1{,}23} = 32{,}5 г/м^3.$$

3) Щільність газів за нормальних умов після випарного скрубера, кг/м^3:

$$\rho_0 = \sum a_i \cdot \rho_i = 0{,}067 \cdot 1{,}251 + 0{,}0228 \cdot 1{,}429 + 0{,}6504 \cdot 1{,}25 + 0{,}073 \cdot 1{,}976 +$$
$$+ 3{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}927 + 0{,}1869 \cdot 0{,}804 = 1{,}22$$

Розрахунок скрубера Вентурі

Вхідні дані:

- витрата вологих газів за нормальних умов V_0 = 27,3 м^3/с;
- температура газів t = 250 °С;
- розрідження перед газоочищенням Р = -0,55 кПа;
- щільність газу за нормальних умов ρ_0 = 1,22 кг/м^3;
- концентрація пилу в газі на вході в газоочищення Z_1 = 32,5 г/м^3;
- напір води, що надходить на зрошення води $Р_ж$ = 300 кПа;
- необхідна концентрація пилу в газі на виході з апарату Z_2 = 0,1 г/м^3.

1. Необхідний ступінь роботи апарату:

$$\eta = 1 - \frac{Z_2}{Z_1} = 1 - \frac{0{,}1}{32{,}5} = 0{,}997 .$$

2. Число одиниць перенесення:

$$N_ч = \ln \frac{1}{1-\eta} = \ln \frac{1}{1-0{,}997} = 5{,}8 .$$

3. Питома енергія, що витрачається на пиловловлення:

$$N_ч = B \cdot K_ч^{\chi},$$

де B і χ – константи, що визначаються дисперсним складом пилу;

$К_ч$ – витрати енергії на мокре очищення газів від пилу;

$$N_ч = 5{,}8 = 9{,}88 \cdot 10^{-2} \cdot K_ч^{0{,}4663},$$

звідси $К_ч$ = 6208,5 кДж/ 1000 м^3.

4. Загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі:

$$\Delta P = K_ч - P_в \cdot m_в = 6208{,}5 - 300000 \cdot 0{,}001 = 5908{,}5 Па .$$

5. Щільність газів на вході в трубу Вентурі за робочих умов:

$$\rho_г = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (B - P_г)}{(273 + T_1) \cdot 101{,}3} = 1{,}22 \cdot \frac{273 \cdot (101{,}3 - 0{,}55)}{(273 + 250) \cdot 101{,}3} = 0{,}63 \text{ кг/м}^3.$$

6. Об'ємна витрата газів, що надходять у скрубер Вентурі, за робочих умов, м^3/с:

$$V_1 = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho_1} = \frac{27{,}3 \cdot 1{,}22}{0{,}63} = 52{,}9 м^3 / с.$$

7. Масова витрата води на зрошення:

$$M_в = m_в \cdot V_1 = 1 \cdot 52{,}9 = 52{,}9 кг / с$$

8. Температура газів на виході з труби Вентурі:

$$T_2 = (0{,}133 - 0{,}041 \cdot m_в) T_1 + 35 = (0{,}133 - 0{,}041 \cdot 1) \cdot 250 + 35 = 58°C.$$

9. Щільність газів на виході з труби Вентурі:

$$\rho_2 = \rho_0 \frac{273 \cdot (P_{бар} \pm P_г - \Delta P)}{(273 + T_2) \cdot 101{,}3} = 1{,}22 \cdot \frac{273 \cdot (101{,}3 - 0{,}55 - 5{,}9)}{(273 + 100) \cdot 101{,}3} = 0{,}94 \text{ кг/м}^3.$$

10. Об'ємна витрата газів на виході з труби Вентурі:

$$V_2 = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho_2} = \frac{27{,}3 \cdot 1{,}22}{0{,}94} = 35{,}4 м^3 / с.$$

11. Визначення параметрів краплеуловлювача. Приймаємо для розрахунку циклон-каплеуловлювач КЦТ.

Діаметр циклону-каплеуловлювача, м:

$$D = 1{,}13 \sqrt{\frac{V_2}{\omega_ц}} = 1{,}13 \sqrt{\frac{35{,}4}{5}} = 3{,}01 м \quad .$$

Приймаємо 2 циклони зі стандартним розміром $Д_ц$=2400 мм.

Справжня швидкість газу в циклоні, м/с:

$$w = \frac{V_2}{0{,}785 \cdot D^2} = \frac{35{,}4}{2 \cdot 0.785 \cdot 2.4^2} = 3{,}9 м / с \, .$$

За результатами розрахунку вибираємо для очищення після труби Вентурі 2 циклони КЦТ-2400.

12. Гідравлічний опір циклону, Па:

$$\Delta P_ц = \frac{\zeta \cdot \omega_ц^2 \cdot \rho_2}{2} = \frac{32 \cdot 3{,}9^2 \cdot 0{,}94}{2} = 229 Па .$$

13.Гідравлічний опір труби Вентурі, Па:

$$\Delta P_T = \Delta P - \Delta P_ц = 5908{,}5 - 229 = 5680 Па .$$

В умовах розрахунку доцільно вибрати трубу Вентурі (трубу-розпилювач) оптимальної форми з центральним підведенням рідини, що зрошує. У цьому випадку значення коефіцієнта гідравлічного опору сухої труби ξ_1=0,145, а емпіричні коефіцієнти А=0,63, B_1=-0,3.

$$\xi_2 = A \cdot \xi_c \cdot m_в^{B_1} = 0{,}63 \cdot 0{,}145 \cdot 0{,}001^{-0{,}3} = 0{,}73.$$

14.Необхідна швидкість горловини труби Вентурі:

$$W_г = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_T}{\xi_1 \cdot \rho_2 + \xi_2 \cdot \rho_в \cdot m_в}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5680}{0{,}145 \cdot 0{,}94 + 0{,}73 \cdot 1000 \cdot 0{,}001}} = 114{,}5 м/с .$$

15.Діаметр горловини труби Вентурі:

$$d_г = 1{,}13\sqrt{\frac{V_г}{W_г}} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{35{,}4}{114{,}5}} = 0{,}63 м .$$

Приймається діаметр горловини труби Вентурі рівним 420 мм, що відповідає марці труби ГВПВ-0,140-01. Так як фактична швидкість буде велика, приймаємо дві труби Вентурі по 420 мм.

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

$$W_г = \frac{1{,}13^2 \cdot V_г}{d_г^2} = \frac{1{,}13^2 \cdot 35{,}4}{2 \cdot 0{,}42^2} = 128 м/с .$$

2.2.2 Розрахунок аеродинамічного опору газовідвідного тракту

Аеродинамічна схема очищення конверторних газів наведена на рис. 2.5.

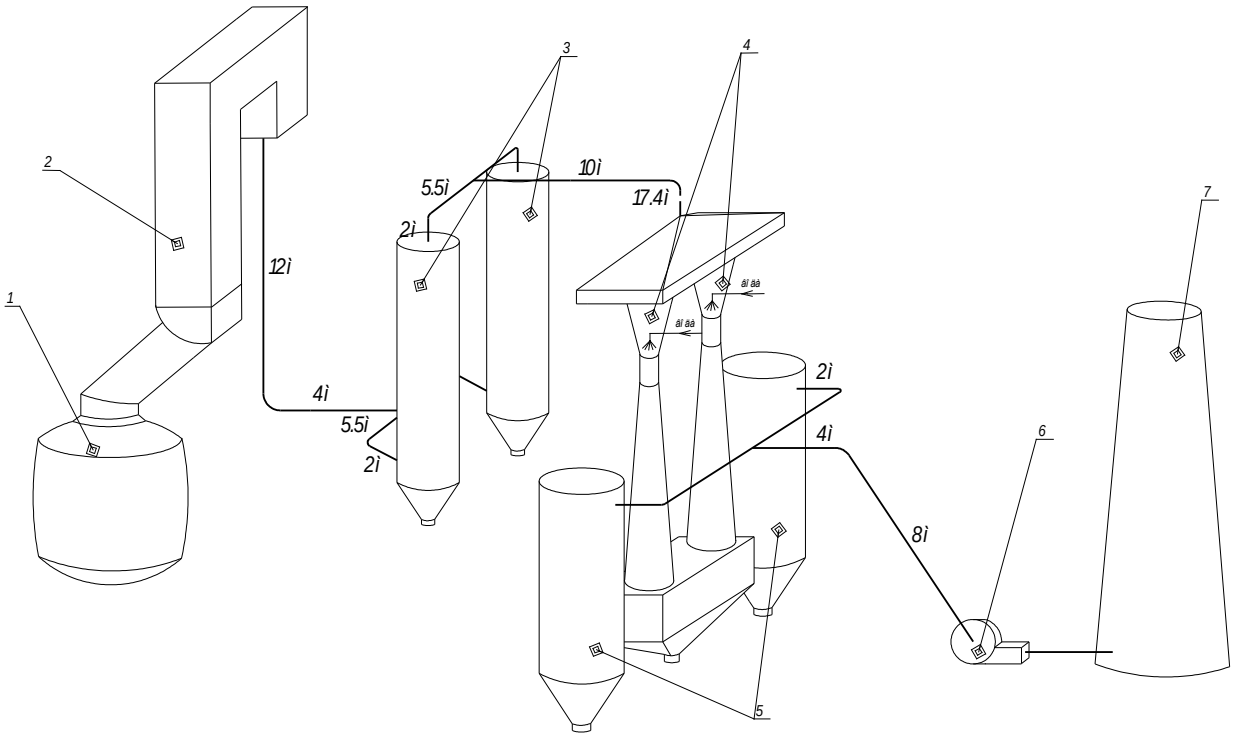


Рисунок 2.5 – Схема очищення конверторних газів (без допалу):
1 – конвертор; 2 – котел-утилізатор; 3 – скрубер; 4 – труба Вентурі;
5 – краплеуловлювач; 6 – димосос; 7 – димова труба

Повний розрахунковий опір газоочисного тракту ΔP визначають як суму опорів розміщеного в ньому обладнання $\Delta P_{обл}$ та опорів сполучних газопроводів $\Delta P_{тракт}$, включаючи опір димової труби $\Delta P_д$ і динамічний напір, що втрачається при виході, а також тиск газу на виході з технологічного агрегату $\Delta P_Т$:

$$\Delta P = \Delta P_T + \Delta P_{тракт} + \Delta P_{обл} + \Delta P_д .$$

$\Delta P_{тракт}$ складаються із втрат опору за довжиною $\Delta P_{дов}$ та місцевих опорів $\Delta P_{місц}$. Втрати тиску на місцевих опорах можна отримати за формулою:

$$\Delta P_{місц} = \frac{\xi \cdot \omega^2 \cdot \rho_Г}{2},$$

де ξ – коефіцієнт місцевого опору;

ω – швидкість газу за місцевим опором, м/с;

$\rho_Г$ – щільність газу за робочих умов, кг/м^3.

Втрати на тертя за довжиною газопроводу враховують лише за довгих ділянок (понад 10 м) за формулою:

$$\Delta P_{дл} = \lambda \cdot \frac{l}{d_{екв}} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_Г}{2},$$

де λ =0,02 ÷ 0,03– коефіцієнт тертя;

$d_{екв}$ – еквівалентний діаметру газопроводу, м;

l – довжина ділянки, м.

Результати аеродинамічного розрахунку зведені до таблиці 2.1.

Виходячи з аеродинамічних розрахунків підбираємо димосос: розрідження перед димососом Р = - 7153 Па; витрата перед димососом Q = 35,4 м^3/с.

Коефіцієнт перерахунку:

$$K = \frac{(273 + T_Г) \cdot 101{,}3 \cdot \rho_{ог}}{(273 + T_{кат}) \cdot P_{бар} \cdot \rho_{ов}} = \frac{(273 + 100) \cdot 101{,}3 \cdot 1{,}29}{(273 + 100) \cdot 101{,}3 \cdot 0{,}94} = 1{,}37$$

Тиск (розрядження), що створюється димососом, наведений до умов каталогу, за яким вибирається димосос $\Delta P_{кат}$ приймаємо рівним:

$$\Delta P_{кат} = 1{,}2 \cdot P_р \cdot K = 1{,}2 \cdot 7153 \cdot 1{,}37 = 11760 \quad Па.$$

Таблиця 2.1 – Результати аеродинамічного розрахунку газоочищення

№ участку	Найменування	Q, $м^3/с$	ρ, $кг/м^3$	D, м	V, м/с	l, м	Місцеві опори	ξ	ΔPl, Па	ΔPм, Па	± P, Па
I	КУ-розгалуження	71,2	0,41	2	22,7	16	1) Плавний поворот 2) Розгалуження	0,24 0,47	26	75	-300
II	розгалуження-скруббер	35,6	0,41	1,5	20	7,5	1) Плавний поворот	0,24	13	20	-401 -250
III	скрубер-сходження	26,45	0,63	1,3	20	7,5	1) Плавний поворот 2) Злиття	0,24 0,38	22	78	-684
IV	сходження-скруббер Вентурі	52,9	0,63	1,8	20,8	27,4	1) Плавний поворот	0,24	63	33	-784 -5909
V	скрубер Вентурі - сходження	17,7	0,94	1	22,5	6	1) Дифузор 2) Плавний поворот 3) Злиття	0,16 0,24 0,38	43	186	-6785
VI	сходження - димосос	35,4	0,94	1,5	20	12	1) Поворот 107 ° 2) Плавний поворот 3) Конфузор	0,1 0,24 0,15	46	93	-7014

ΣP = -7153 Па

За результатами аеродинамічного розрахунку вибираємо вентилятор марки ВМ-20А з витратою V_p=150000 $м^3/год$ та напором Н= 12900 Па.

Необхідна потужність електродвигуна:

$$N = \frac{V \cdot \Delta P_{кат} \cdot 10^{-3}}{\eta_{кат} \cdot \eta_2} = \frac{35{,}4 \cdot 11760 \cdot 10^{-3}}{0{,}81 \cdot 1} = 514 кВт .$$

Розріз системи газоочищення від кисневого конвертеру наведено на рис. 2.6.

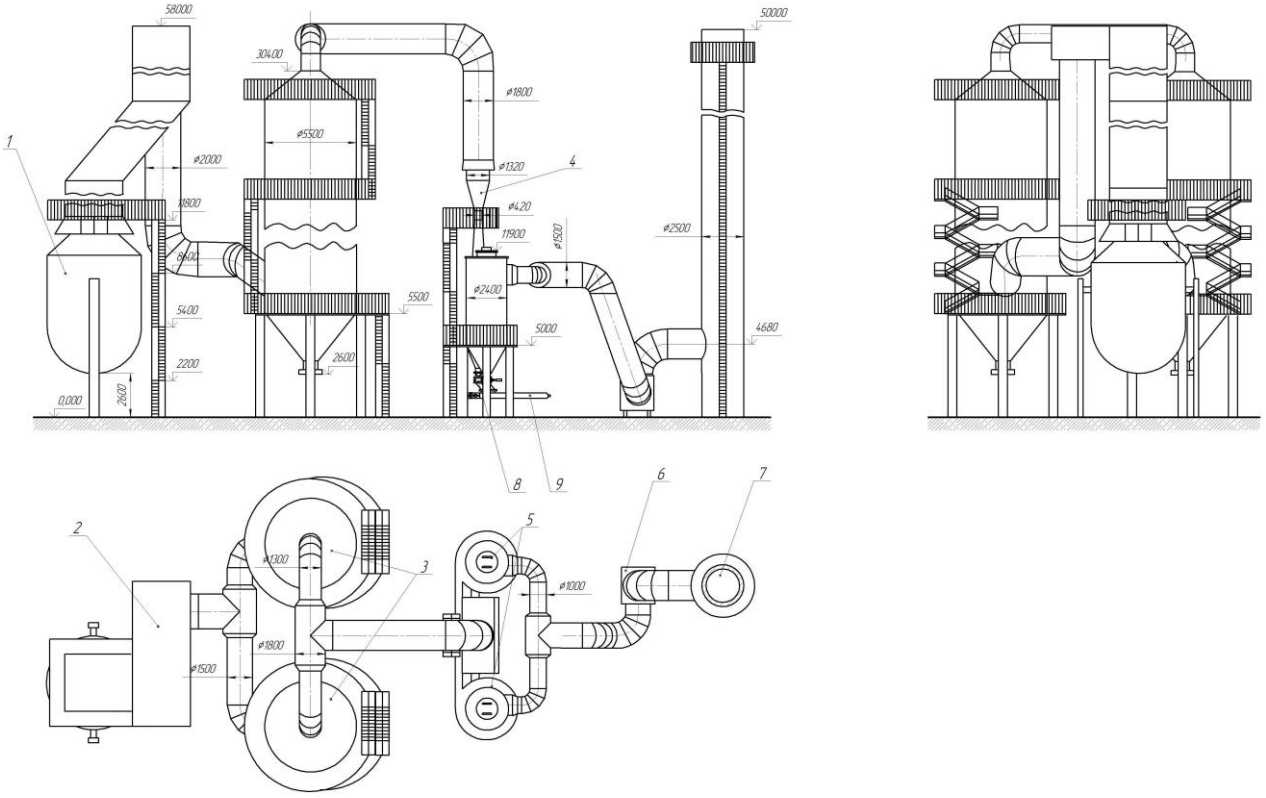


Рисунок 2.6 – Розріз системи газоочищення від кисневого конвертеру: 1 – кисневий конвертер; 2 – котел-утилізатор ОКГ-400; 3 – випарний скрубер АКРП; 4 – труба Вентурі ГВПВ-0,140-01; 5 – цикклон-краплевловлювач КЦТ-2400; 6 – димотяг ВМ-20А; 7 – механізм видалення пилу; 8 – шнековий конвейер

2.2.3 Аеродинамічний розрахунок димової труби

Вихідні дані:

- температура газу $t_г = 100$ °С;
- витрата газу за нормальних умов $Q_0 = 27,3$ м^3/с;
- тиск газу $Р_г = 12,9\text{-}7,153 = 5,747$ кПа;
- щільність газу за нормальних умов $\rho_0 = 1,22$ кг/м^3.

Витрата газу за робочих умов:

$$Q = 27,3 \cdot \frac{273+100}{273} \cdot \frac{101,3}{(101,3+5,747)} = 35,3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Розрахункову висоту труби визначити з умов розсіювання за формулою:

$$Н_р = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot F}{(ПДК - C_ф)} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{Q \cdot \Delta t}}} = \sqrt{\frac{160 \cdot 1,013 \cdot 2}{(0,5-0,4)} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{35,3 \cdot 77}}} = 15 \text{ м}.$$

Приймаємо висоту труби Н = 50 м.

Щільність газу, що викидається при робочих умовах:

$$\rho = 1,22 \cdot \frac{273}{273+100} \cdot \frac{101,3+5,747}{101,3} = 0,94 кг/м^3.$$

Гідравлічний опір димової труби:

$$\Delta Р_{тр} = \lambda \cdot \frac{H_р}{D} \cdot \frac{U_0^2}{2} \cdot \rho = 0.05 \cdot \frac{50}{2,5} \cdot \frac{10^2}{2} \cdot 0,94 = 47 Па.$$

Динамічне тиск газу, необхідне створення швидкості U_0, розраховуємо за формулою:

$$Р_{дин} = \frac{U_0^2}{2} \cdot \rho = \frac{10^2}{2} \cdot 0,94 = 47 Па.$$

Сумарний тиск складе:

$$\sum P = \Delta P_{тр} + P_{дин} = 47 + 47 = 94 \text{ Па}.$$

Розрахунок тяги, створюваної трубою, виконуємо за формулою:

$$P_т = (\rho_в - \rho) \cdot g \cdot H_р = (1{,}17 - 0{,}94) \cdot 9{,}81 \cdot 50 = 113 \text{ Па}.$$

Потім розраховуємо додатковий тиск:

$$P_{доп} = P_т - \sum P = 113 - 94 = 19 \text{ Па}.$$

2.3 Утилізація пилу

Після очищення газів у скрубері Вентурі або КЦТ утворюється шламова вода – це суміш води та вловленого пилу (зазвичай оксидів заліза, вуглецю та вапна). Оскільки скидати таку воду у водойми заборонено, на підприємствах створюють системи зворотного циклу.

Схема очищення шламу після конвертерного газоочищення:

1. Попереднє відстоювання (шламова канава). Вода зі скрубера самопливом надходить у відкриті канали або баки, де осідають найважчі та найбільші частки пилу.

2. Реагентна обробка (коагуляція та флокуляція). У воду додають спеціальні хімічні речовини (коагулянти та флокулянти). Вони змушують дрібні частки пилу злипатися у великі «пластівці», які швидше осідають.

3. Освітлення в радіальних відстійниках. Це величезні круглі басейни. Вода повільно рухається від центру до країв. Пластівці шламу осідають на дно, а спеціальний скребковий механізм згрібає цей осад у центр. Освітлена (чиста) вода переливається через край і повертається назад у скрубер.

4. Згущення та зневоднення шламу. Осад (густий шлам) насосами перекачується на установки зневоднення: вакуум-фільтри або фільтр-преси: вода відтискається, і на виході виходить «кек» - вологий порошок, схожий на землю.

5. Утилізація або рециклінг. Оскільки конвертерний шлам містить багато заліза (до 50-60%), його часто відправляють на аглофабрику, де додають у шихту і знову використовують для виплавки чавуну. Таким чином замикається екологічний та економічний цикл.

2.4 Техніко-економічне обґрунтування рішень, які прийняті у роботі

Річний економічний ефект, грн/рік [8]:

$$E_{рік} = \left[\left(C_б + E_н \times K_б\right) - \left(C_{пр} + E_н \times K_{пр}\right)\right] \times Q_{пр} =$$
$$= \left[\left(C_б - C_{пр}\right) + E_н \times \left(K_б - K_{пр}\right)\right] \times Q_{пр}$$

де $C_б$ і $C_{пр}$ – собівартість очищення 1000 м^3 за базовим і проєктним варіантами відповідно, грн./1000 м^3;

$K_б$ і $K_{пр}$ – питомі капітальні вкладення за базовим і проектним варіантами відповідно, грн./1000 м^3;

$E_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень. Приймаємо $E_н$ = 0,2;

$Q_{пр}$ – річний обсяг очищуваних газів за проєктним варіантом, тис. м^3/рік.

Визначаємо термін окупності додаткових капітальних вкладень $K_{дод.}$ = ($K_{пр} – K_б$), років:

$$T_{ок} = \frac{K_{пр} - K_б}{C_б - C_{пр}}$$

де $C_б$ і $C_{пр}$ – річна собівартість (річні експлуатаційні витрати) очищення газів за базовим і проєктним варіантами, грн./рік;

$K_б$ і $K_{пр}$ – капітальні вкладення за базовим і проектним варіантами, грн.;

Коефіцієнт ефективності додаткових капітальних вкладень, грн./(грн*рік):

$$E = \frac{1}{T_{ок}},$$

де $T_{ок}$ – розрахунковий термін окупності додаткових капітальних вкладень.

Виконано розрахунок основних техніко-економічних показників, капітальні вкладення – 40260 тис. грн., термін окупності інвестицій становить 4,4 року, а коефіцієнт ефективності капіталовкладень дорівнює 0,23 грн/грн на рік.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Аналіз шкідливих та небезпечних чинників конвертерного цеху

В останні роки розвиток сталеплавильного виробництва здійснюється шляхом будівництва киснево-конверторних цехів. Киснево-конверторні цехи призначаються для масового виробництва вуглецевих і низьколегованих сталей.

У конвертерних цехах створюються несприятливі умови для обслуговуючого персоналу. Основні виробничі шкідливості наступні: теплові випромінювання від технологічного устаткування (конвертора, установки ківш-піч, МБЛЗ) і розплавленого металу і шлаку; газовиділення, що утворюються при продуванні конвертера; пиловиділення, що утворюються при транспортуванні сипких матеріалів, продуванні конвертера, сливі чавуну з ковша в конвертер, випуску сталі і шлаку з конвертера [9].

Основні джерела небезпеки конвертерного виробництва наступні: рухомі частини механізмів і устаткування, переміщення вантажів, розплавлений метал і шлак, що обертаються; електроустаткування конвертерного цеху.

Процес конвертерної виплавки сталі супроводжується викидами розплавленого металу і шлаку. Крім того, процес продування супроводжується виділенням великої кількості розжарених газів і дрібнодисперсного пилу.

Джерелами тепла, що супроводжуються інфрачервоним, видимим і ультрафіолетовим випромінюваннями, є рідкий метал і шлак; гарячі кожухи конвертерів, чавуновозних і сталерозливних ковшів, шлакових чаш; гаряче футерування конвертерів і ковшів. У розливному прольоті велику кількість тепла і розжарених газів виділяє розплавлений метал, що розливається у МБЛЗ. Інтенсивність теплоопромінення на цих ділянках вагається в значних межах – від 300 до 9000 Вт/м^2. Особливо великому тепловому опроміненню

піддаються конверторники при узятті проби, вимірі температури, огляді і ремонті горловини конвертера [10].

Із-за наявності в конвертерних цехах великих кількостей надлишкового тепла відбувається значне підвищення температури повітря. Підвищена теплова дія на організм людини призводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може спричиняти порушення теплового балансу організму. Посилене потовиділення при напруженій м'язовій роботі в умовах підвищеного температурного режиму призводить до втрати кров'ю хлористого натрію, що є основним елементом, який утримує в крові воду. Вимивання сполучень хлору з організму призводить до пониження кислотності шлункового соку і виникнення шлунково-кишкових захворювань.

Несприятливий вплив високих температур повітря посилюється дією випромінюваного тепла. Дії теплового опромінення на органи зору спричиняє, головним чином, тепловий ефект. При інтенсивності опромінення може виникнути катаракта очей [9].

Загазованість повітряного середовища киснево-конвертерного цеху вельми незначна, а на більшій його частині практично відсутня. Проте при продуванні конвертерів, при сущці відремонтованих конвертерів і сталерозливних ковшів в повітря виробничих приміщень потрапляють токсичні гази, концентрація яких у ряді випадків перевищує санітарні норми.

Найбільш високі концентрації оксиду вуглецю і сірчистого газу мають місце на майданчику над працюючим конвертером в зоні газових пальників котла-утилізатора.

Середня кількість пилу, що міститься в конвертерних газах, складає 50-300 г/м^3. Конвертерний пил складається в основному з оксидів заліза і містить 60-65 % Fe, 2-6 % Mn, решта SiC>2, CaO, $A1_2O_3$ та інші оксидів. Близько 80% часток пилу мають розміри до 0,5 мкм. Кількість пилу з частками більше 1 мкм складає всього 5-15 % [11]. Такий пил відноситься від конвертера на великі відстані і довгий час витає в повітрі. Пил може шкідливо впливати на організм людини, подразнюючи шкіру, очі, ясна, вуха. Проникаючи в легені,

пил може викликати специфічні професійні захворювання, такі як силікоз, силікатоз, антракоз та ін. [9].

У великих кількостях виділяють пил шихтові матеріали, кладка конвертерів і сталерозливних ковшів при її руйнуванні під час ремонту. У міксерних відділеннях пил і гази виділяються в період заповнення міксерів і зливу з них чавуну. На 1 м пропущеного через міксер чавуну через аераційні ліхтарі виділяється близько 60 г пилу і 370 г оксиду вуглецю.

Експлуатація різного устаткування (рух електромостових кранів, машин завалень, рух газових потоків по газопроводах і т.п.) в конвертерному цеху, супроводжується інтенсивним шумом, значно погіршуючи умови праці робітника. Джерелами шуму також є сам конвертер, трансформатори, пересувні залізничні крани, механізми і інше устаткування. Рівень шуму розрізняється залежно від виробничої ділянки, часто він може досягати 100 дБ і більш. Вібрацію створюють ті ж агрегати, які є джерелами шуму.

Тривала дія шуму може привести до зниження слуху, а інколи до глухоти. Шум негативно діє на серцево-судинну і центральну нервову систему.

3.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища конвертерного цеху

При проектуванні конвертерного цеху для досягнення нормативних показників використані інженерні рішення, що забезпечують комфортні умови праці та дозволяють безпечно експлуатувати технологічне обладнання.

Для зменшення кількості газів і пилу забезпечуємо конвертери пилогазоочисними спорудами, припливно-витяжною вентиляцією.

Для захисту від пиловиділення застосовуємо герметизацію операцій, пов'язаних з просіюванням, змішуванням і транспортуванням сипких матеріалів і аспірацію пилу з місць її утворення.

Для захисту працюючих від шуму звукоізолюємо вбудовані приміщення

– пости управління, кімнати відпочинку і т.п. Для зниження шуму агрегатів (електродвигунів, насосів) використовуємо звукоізолюючий кожух, який виготовляється з листів сталі завтовшки 2-3 мм, в яких укладають або весь агрегат, або його шумлячи вузли, а внутрішні поверхні облицьовуємо звукопоглинальними матеріалами. Ослаблення шуму повітро(газо)- проводів досягаємо застосуванням глушників [9].

Для видалення конвекційного тепла в цеху застосовуємо аерацію, шляхом установки двох аераційних ліхтарів типу КТИС на покрівлі будівлі цеху. Ще однією мірою боротьби з теплонадлишками є організація на робочому місці конверторника повітряного душу.

Пост керування кисневим конвертором повинен бути зроблений тепло- і звукоізольованим з подачею в нього кондиційованого повітря. Стіни поста керування виконуємо двошаровими – з вогнетриву і ізоляції. Матеріал вогнетриву - червона цегла, матеріал теплоізоляції – скловолокно. Скловолокно має також властивості звукоізоляційного матеріалу.

Також, для безпеки робіт застосовуємо індивідуальні засоби захисту [9]:

- спеціальний одяг з суконної тканини для оберігання тіла від бризок розплавленого металу і променистої енергії, від теплових випромінювань – льняні і бавовняні тканини з вогнетривким просоченням, від поразки струмом – прогумований одяг і діелектричні рукавички або рукавиці;

- спеціальне взуття з шкіри і кожозамінювачей для захисту ніг працівників від дії небезпечних виробничих чинників, для захисту від електроструму застосовують спеціальні прогумовані боти;

- захисні окуляри і щітки для захисту очей і особи від дії на них твердих часток, бризок рідкого металу, ультрафіолетового, і інфрачервоного випромінювання;

- захисні засоби органів дихання – безхлипакові респіратори марки ШБ (ШБ-2 «пелюстка») і клапанні респіратори типів КЗМ, РН- 16, Ф- 46 та ін., а також протигази, що фільтрують;

- захисні засоби органів слуху – вкладиші протигалясливі «Беруши»,

спеціальні шумоізолюючі шоломи і антифони, що мають спеціальну конструкцію (противошум-подшлемник і заглушки чашки).

3.3 Характеристика конвертерного виробництва як пожежонебезпечного об'єкта

У конверторних цехах пожежі виникають внаслідок попадання на горючі матеріали шлаку під час кантування шлакової чаші, а також чавуну під час заливання в конвертор.

На одному із заводів конвертор було зупинено на холодний ремонт. Залишки шлаку з металом були злиті в шлакову чашу, яку не вивезли негайно на шлаковий двір, внаслідок чого стався прогар чаші. Шлак розлився у бік конвертора, машинного залу, кабельної шахти. При цьому під дією теплового випромінювання спалахнули кабелі в трубному блоці конвертора. Місця проходу кабелів через конструкції не були загорнуті ущільнювачем, що не згорає, внаслідок чого пожежа поширилася на кабельну шахту і кабельний напівповерх. Конвертор простояв 72,5 год; втрати виробництва становили 10126 т сталі [10].

Конверторне виробництво споживає велику кількість кисню, що надходить у цех із зовнішніх мереж. При цьому до киснево-розширювального пункту кисень йде зазвичай під надлишковим тиском 35 ат, а цех надходить під надлишковим тиском 16 ат.

Кисень – безбарвний газ, що не має запаху. У рідкому вигляді – блакитна рідина; сильний окисник. Молекулярна вага 32,00. Щільність 1,429 кг/м^3 при 0° С 760 мм рт. ст.; розчинність у воді незначна (0,031 см^3 в 1 мл води при 20°С) [11].

Кисень негорючий, але є основним газом, який підтримує горіння речовин. В атмосфері з підвищеним вмістом кисню звичайні горючі речовини стають значно вогненебезпечнішими: мають нижчу температуру самозаймання, ширшу область займання парів за рахунок зростання верхньої

межі займання, більшу швидкість вигоряння та повноту згоряння. Трудногорючі та багато негорючі речовини в кисні стають горючими. Окислювальна здатність кисню проявляється сильніше, коли кисень перебуває у стислому вигляді. Олії та жири в атмосфері стисненого кисню активно самозаймаються. При попаданні олії всередину вентилів, редукторів та інших механізмів, що працюють у кисневому середовищі, відбувається вибух. Для гасіння речовин, що горять у кисневому середовищі, вогнегасні засоби слід подавати з підвищеною інтенсивністю.

Небезпеку становлять також сторонні іскроутворюючі та горючі предмети, які випадково можуть бути залишені в киснепроводах при їх монтажі. Під час виконання робіт на кисневих трактах необхідно ретельно стежити за очищенням труб, компенсаторів та засувок від сторонніх предметів.

На одному з уральських заводів сталася пожежа в кисневорозширювальному пункті (КРП), призначеному для зниження тиску кисню та подачі його під необхідний тиск у конверторний цех (діаметр киснепроводу 400 мм). Пожежа викликала повне зупинення киснево-конверторного цеху, а також машини вогневої зачистки на блюмінгу.

На шостій хвилині від початку продування конвертора в районі засувок на киснепроводі високого тиску поблизу КРП було відзначено дві глухі послідовні бавовни, що супроводжувалися появою чорно-бурого диму і полум'я. Одночасно в конверторному цеху було зафіксовано різке падіння тиску кисню, а на компресорах, що подають кисень у КРП, надлишковий тиск впав до 12 ат. Через 2-3 хв відбулося запалення компенсатора правої гілки киснепроводу [11].

Внаслідок пожежі були повністю виведені з ладу киснепроводи з боку високого тиску, лінії регулювання, причому на окремих ділянках киснепроводи повністю згоріли. Усередині приміщення КРП було пошкоджено регулюючі клапани, зруйновано освітлювальні прилади та прилади КВП та автоматики. На компенсаторі правої нитки киснепроводу

вигоріла частина кисню довжиною близько трьох метрів. На компенсаторі лівої нитки стався вирив металу стінки труби (200×400 мм) [9].

Як було встановлено спеціальною комісією, пожежа виникла та розвивалася наступним чином. Подача кисню від КРП в конверторний цех здійснювалася через повністю відкриту засувку (клин засувки був піднятий на 140 мм замість 245 мм). Потокам кисню, що проходили в завуженому перерізі засувки, були захоплені шматки металу, що залишилися після монтажу кмслородопровода, шматки і пил коксу, доменного шлаку та інших легкозаймистих матеріалів. При ударах металевих частинок корпус і клин засувки утворювалися іскри, здатні запалити горючі матеріали або метал. Внаслідок цього спалахнув чавунний клин і корпус засувки. Від засувки спалахнули трубопроводи, а також сусідня засувка. Руйнування на лінії засувки свідчать про вибуховий характер виникнення та протікання пожежі (зрушений та погнутий трубопровід до регулюючого клапана, розтискний кронштейн трубопроводу відкинуто на 25 м).

Під час виникнення пожежі машиніст компресора, що подає кисень у компресорний цех, і змінний майстер, дізнавшись про пожежу на киснепроводі у КРП, негайно перевели один компресор на азот, а інший на подачу кисню до електросталеплавильних цехів. Правильними діями персоналу пожежа була загашена азотом через 12-45 хв після її виникнення.

Тривалість простою киснево-конверторного цеху під час переходу на тимчасову схему киснепостачання становила 49ч 30хв і викликала великі втрати.

На підприємствах робітники та інженерно-технічні працівники нерідко недооцінюють небезпеку кисню, оскільки він є негорючим газом [10].

На одному металургійному заводі йшли ремонтні роботи на кисневій станції. Робітники, всупереч вимогам безпеки, були одягнені в промаслений спецодяг. Один із них тримав у руках переносну лампу. У цей час помилково іншого робітника кисень під великим тиском було подано на місце проведення ремонтних робіт. Сітка переносної лампи сильно вдарилася в

металевий предмет. Від іскри, що утворилася, загорівся метал і одночасно спецодяг трьох робітників.

Маслостанції та маслонасосні становлять небезпеку як потенційні осередки пожеж. Наявні в конверторних цехах установки автоматичного пожежогасіння, призначені для захисту інших об'єктів, необхідно в першу чергу використовувати для пожежогасіння в маслостанціях та маслонасосних. Якщо маслостанції та маслонасосні розташовані на високих відмітках, доцільно постачати їх стаціонарними повітряно-пінними вогнегасниками ВВПС-250, що випускаються Валмієрським заводом протипожежного обладнання. По можливості ці вогнегасники повинні мати автоматичну дію.

У приміщеннях приводів конверторів та насосно-акумуляторних станцій можливе застосування парового пожежогасіння. У відділеннях мастила виливниць викид парів важких вуглеводнів становить 60-70 кг/год, тому тут важливим є хороший повітрообмін. У сховищі матеріалів для фарбування забороняється куріння та застосування відкритого вогню.

При порушенні технології у конверторі можуть відбуватися вибухи та викиди, попередження яких не належить до компетенції пожежної охорони. Проте попередження пожеж внаслідок таких вибухів та викидів – обов'язок осіб, які відповідають за пожежну безпеку та ведуть нагляд за нею. Частини металу, що розлітаються, можуть запалити мастило виливниць, киснепідводний шланг, кабіну крана, електропроводу та ін. [10].

3.4 Протипожежні заходи

При застосуванні дуття, збагаченого киснем, необхідно суворо дотримуватись правил, викладених нижче.

Ковші для металу та шлаку повинні подаватися лише сухими. Щоб уникнути виплеску металу і шлаку, ковші не доливають до верхньої кромки на відстань, вказану в цеховій інструкції. Електрокабельне господарство має

бути надійно захищене від попадання розплавленого металу та шлаку.

У конверторному цеху одного з металургійних заводів у результаті прогару шлаковозного ковша розплавлені шлак та метал потрапили через повітропровід у електрокабельний підвал машинного залу. Було виведено з ладу кабельну трасу довжиною 7800 м, зупинено два конвертори, що викликало втрати виробництва у розмірі 315 т металу. Пожежа в цьому випадку виникла через те, що шлакова чаша була підготовлена під налив з порушенням правил (без підсипки сухого матеріалу або твердого шлаку) [9].

Зазвичай кабельне господарство зосереджено електричної підстанції, в кабельних підвалах, тунелях, галереях. Небезпеку становлять також розподільні щити та щити управління. Тому кабельні приміщення та галереї оснащуються стаціонарними системами гасіння пожежі. Там, де постійно знаходиться черговий персонал, встановлюються потужні вуглекислотні або порошкові вогнегасники.

У місцях з підвищеною температурою (дільниці електрогармат, машин для оброблення чавунної льотки, розливання металу та ін.) електричне проведення виконується спеціальними термостійкими електричними проводами; застосування звичайної проводки, хоча б для тимчасових цілей, забороняється.

Усі кабельні та інші електротехнічні приміщення обладнані автоматичною пожежною сигналізацією. Приймальні станції цієї сигналізації зазвичай встановлюються на пультах керування печами або у чергового в машинному залі.

Особливістю конверторних цяхів є небезпека пожежі від попадання на горючі матеріали шлаку під час кантування шлакової чаші.

На одному із заводів конвертор було зупинено на холодний ремонт. Залишки шлаку з металом були злиті в шлакову чашу, яку не вивезли негайно на шлаковий двір, внаслідок чого стався прогар чаші. Шлак та метал розлилися у бік конвертора, машинного залу, кабельної шахти. При цьому під дією теплового випромінювання спалахнули кабелі в трубному блоці

конвертора.

Місця проходу кабелів через конструкції не були загорнуті незгоряним матеріалом, внаслідок чого пожежа поширилася на кабельну шахту та кабельний напівповерх. Конвертор простояв 72,5 год; втрати виробництва становили 10125 т металу [9].

Іншою особливістю конверторних печей є споживання великої кількості кисню, що надходить до цеху зовнішніх мереж. При цьому до кисневорозширювального пункту кисень йде зазвичай під надлишковим тиском 3,5 МПа, а цех надходить під надлишковим тиском 1,6 МПа [9].

В атмосфері, збагаченій киснем, звичайні горючі речовини стають більш вогненебезпечними: легше спалахують, мають нижчу температуру самозаймання, ширший діапазон меж вибуху пари в результаті значного зростання верхньої межі займання, велику швидкість вигоряння і повноту згоряння. Трудногорючі та багато негорючі речовини в кисні стають горючими. Кисень сильніше окислює у стислому вигляді. Олії та жири в атмосфері стисненого кисню самозаймаються. При попаданні олії всередину вентиля або редуктора балонів зі стисненим киснем зазвичай відбувається вибух. Рідкий кисень надзвичайно небезпечний при контакті з органічними речовинами, так як утворює з ними вибухові суміші. Для гасіння речовин в атмосфері, збагаченій киснем, вогнегасні засоби необхідно подавати з підвищеною інтенсивністю.

У газовому господарстві об'єктів чорної металургії до вибухонебезпечних відносяться виробництва у закритих приміщеннях, у яких встановлена різна апаратура під тиском газу. Утворення вибухонебезпечних сумішей горючих газів з повітрям у цих приміщеннях за нормальної експлуатації не має місця, а можливе лише внаслідок несправностей чи аварій.

У виробництвах, розміщених у приміщеннях, у яких можливе підвищення концентрації кисню більше 23% (об'ємн.), необхідно передбачати примусову вентиляцію та встановлення автоматичних газоаналізаторів кисню. При перевищенні допустимого вмісту кисню повинна автоматично вмикатися

світлова та звукова сигналізація. Для виключення можливості загоряння киснепроводів необхідно передбачати у разі аварії автоматичну подачу азоту або іншого інертного газу до трубопроводу.

У цехах (відділеннях) компресії кисню, у киснедонебезпечних місцях, а також у всіх виходів слід розміщувати ванни (душі) для гасіння одягу на обслуговувальному персоналі під час його загоряння. Будівлі цехів компресії кисню повинні проектуватися не нижче II ступеня вогнестійкості. За ступенем пожежної небезпеки виробництва, пов'язані із застосуванням кисню, належать до категорії Д, якщо немає інших факторів, що збільшують ступінь пожежної небезпеки.

Надземні міжцехові киснепроводи необхідно прокладати по негорючих естакадах або опорах. Допускається їх прокладання по зовнішніх стінах будівель і споруд I та II ступенів вогнестійкості. Для цехів, що виробляють або споживають кисень, допускається прокладати киснепроводи по дахах на негорючих опорах заввишки не менше 250 мм; при цьому будівля цеху має бути не нижчою за II ступінь вогнестійкості. Прокладання надземних киснепроводів не допускається: по стінах та покриттям будівель з виробництвами категорій А, Б, В та Е, а також по будівлях та спорудах III, IV та V ступенів вогнестійкості; через цехи та споруди, а також по покриттям будівель, не пов'язаних із виробництвом та споживанням кисню; по стінах, покриттям та у міжферменному просторі будівель з легких металевих конструкцій, а також по території складів легкозаймистих та горючих рідин.

3.5 Розрахунок блискавкозахисту пічного прольоту конвертерного цеху

Схема будівлі пічного прольоту конвертерного цеху наведена на рис. 3.1.

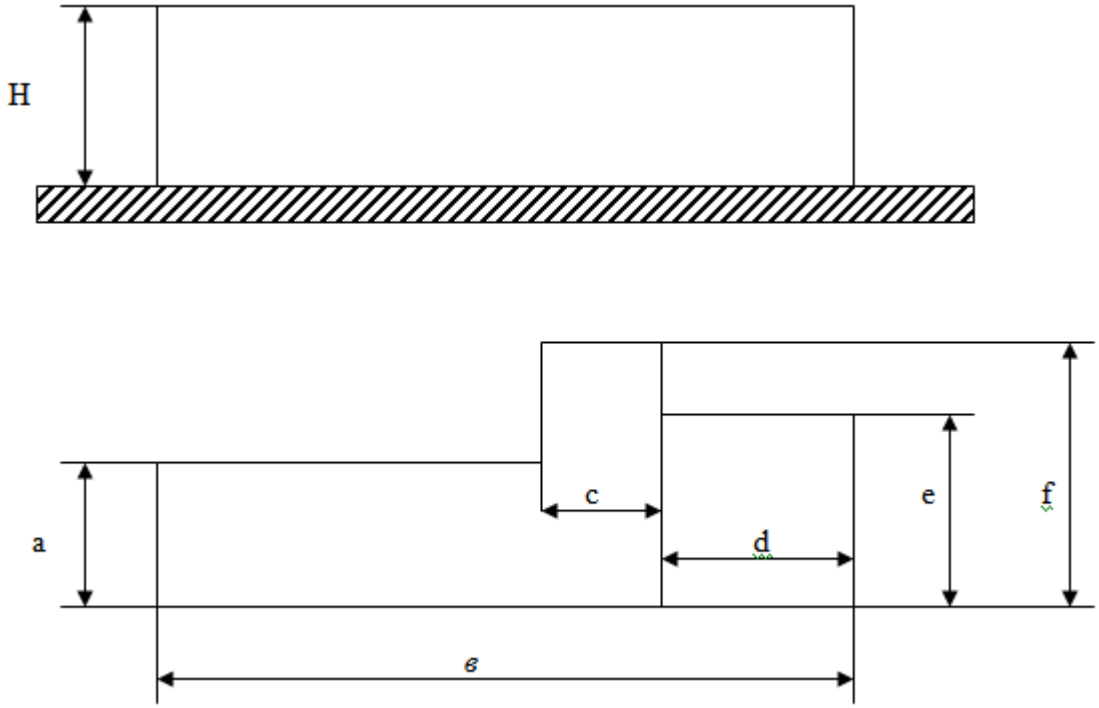


Рисунок 3.1 – Схема пічного прольоту конвертерного цеху

Розміри будівлі: довжина *в* = 100 м., ширина *a* = 10 м, висота *H* = 20 м, ширина *c* = 12м, ширина *d* = 30 м; *e* = 1,2*a* =1,2 · 10 = 12м; *f* = *e* + *c*/2 = 12 + 12/2 = 18м.

Обираємо тип блискавковідведення: подвійний стрижневий блискавковідвід, що складається з двох стрижневих блискавковідводів різної висоти.

Так як будівля складної форми, то приймаємо що блискавковідводи встановлені на щоглах, розташованих на осі, яка проходить від краю будівлі на рівній відстані

$$r_{x1} = f/2 + 1,5 + 1,5 = 18/2 + 3 = 9 + 3 = 12 \text{ м.}$$

Блискавковідводи розташовані на відстані 4м від краю самої будівлі. Відстань між блискавковідводами:

$$L = в + 4 + 4 = 100 + 8 = 108\text{м, тогда } l_{1,2} = L / 2 = 54 \text{ м.}$$

Зона захисту – А, отже, зона захисту має надійність 99,5%.

Ширина внутрішньої області зони захисту r_c у середині між блискавковідводами визначається за формулою:

$$r_{CX} = r_C \frac{h_C - h_X}{h_C},$$

де r_c – ширина внутрішньої зони захисту r_c; визначається за формулою:

$$r_c = (r_{o1} + r_{o2}) / 2,$$

де r_{o1} , r_{o2} – радіуси торцевих областей зон захисту кожного зі стрижневих блискавковідводів на рівні землі, м:

$$r_{o1} = (1{,}1 - 0{,}002h_1)h_1; \quad r_{o2} = (1{,}1 - 0{,}002h_2)h_2,$$

де h_1, h_2 – висоти блискавковідводів над землею, м.

h_c – висота зони захисту над землею в середині між блискавковідводами, м:

$$h_C = \frac{h_{C1} + h_{C2}}{2}.$$

При $l_{1,2}$ = 54м > $h_{1,2}$, фіктивна висота між блискавковідводами різної висоти h_1 або h_2 визначається за формулою [10]:

$$h_{c1,2} = h_{o1,2} - (0{,}17 + 3 \cdot 10^{-4} h_{1,2})(l_{1,2} - h_{1,2}).$$

Висота зони захисту кожного з блискавковідводів над землею, м:

$$h_o = 0{,}85h.$$

Радіус зони захисту на висоті hx для такого виду блискавковідводу визначається за формулою [10]:

$$r_x = (1{,}1 - 0{,}002h)(h - h_x/0{,}85).$$

На відстані h_{x1}=20м ширина зони (мінімальна) має становити r_{x1} = 12 м, тоді

$$r_{x1} = (1{,}1 – 0{,}002h_1)(h_1 – h_x/0{,}85);$$

$$12 = (1{,}1 – 0{,}002 \cdot h_1)(h_1 –20/0{,}85),$$

з цього виразу знайдемо h_1: h_1 = 35,2 м, тоді

$$h_{o1} = 0{,}85 \cdot 35{,}2 = 29{,}9\ м; \qquad r_{o1} = (1{,}1 – 0{,}002 \cdot 35{,}2)35{,}2 = 36{,}2\ м;$$

$$h_{c1} = h_{o1} – (0{,}17+3 \cdot 10^{-4}h_1)(l_1 – h_1) =$$

$$= 29{,}9 – (0{,}17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 35{,}2)(54 – 35{,}2) = 26{,}5\ м.$$

Приймаємо h_2 = 2Н = 40м і перевіримо, чи достатня обрана висота блискавковідводу для виконання захисту, тоді:

$$r_{x2} = (1{,}1 – 0{,}002h_2)(h_2 – h_x/0{,}85) = (1{,}1 – 0{,}002 \cdot 40)(40\text{-}20/0{,}85) = 16{,}8\ м;$$

$$h_{o2} = 0{,}85 \cdot 40 = 34м; \quad r_{o2} = (1{,}1 – 0{,}002 \cdot 40)40 = 40{,}8\ м;$$

$$h_{c2} = h_{o2} – (0{,}17+3 \cdot 10^{-4}h_2)(l_2 – h_2) = 34 – (0{,}17 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 40)(54 – 40) =$$

$$= 31{,}5м.$$

Таким чином,

$$h_C = \frac{26{,}5 + 31{,}5}{2} = 29м;$$

$$r_c = (36{,}2 + 40{,}8) / 2 = 38{,}5м;$$

$$r_{CX} = 38{,}5\frac{29 – 20}{29} = 12м.$$

Будівля входить у зону захисту, отже обраний подвійний стрижневий блискавковідвід забезпечить необхідний блискавкозахист.

ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі розглянуто технологію виплавки сталі в киснево-конверторному виробництві, надано характеристику викидів та джерела виділення пилу та газів у киснево-конвертерному цеху.

2. Проаналізовано існуючі системи очищення газів конвертерного виробництва. Обґрунтовано очищення за такою схемою – конвертер – котел-утилізатор – випарний скрубер – труба Вентурі – краплеуловлювачі – димотяг – димова труба. Після конвертера стоїть котел-утилізатор марки ОКГ-400, де газ охолоджується до температури 600°С. Після котла-утилізатора газ надходить у два випарні скрубери марки АКРП з такими технічними характеристиками: витрата газу 130 м^3/с; діаметр скрубера 5,5 м; висота скрубера 27,8 м; маса скрубера 55,8 т. Газ, охолоджений до температури 250°С, надходить на очищення в дві труби Вентурі типу ГВПВ-0,140-01 і два краплеуловлювачі типу КЦТ-2400. Після очищення газ витягується димотягом у трубу заввишки 50 м. Димотяг марки ВМ-20А з витратою V_p=150000 м^3/год і натиском Н = 12900 Па. Початкова запиленість газу 40 г/м^3, кінцева запиленість 0,01 г/м^3. Ступінь очищення газів від пилу становить 99,97 %. Загальний опір газовідвідного тракту за результатами розрахунків – ΣР = 7153 Па.

3. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуті потенційно небезпечні і шкідливі чинники виробничого середовища конвертерного цеху і запропоновані технічні рішення по виробничій санітарії, розглянуті заходи щодо техніки електробезпеки і пожежної безпеки.

4. Виконано розрахунок основних техніко-економічних показників, термін окупності інвестицій становить 4,4 року, а коефіцієнт ефективності капіталовкладень дорівнює 0,23 грн/грн на рік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Машини і агрегати киснево-конвертерних і електро-сталеплавильних цехів. URL: https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/pidruchnuku13122023/Mahunu_i_agregatu_ztaleplavelnuh_cehiv/2_2/2_2.htm#%D0%BF2216 (дата звернення 02.10.2025).

2. Металургія : проблеми, теорія, технологія, якість : підручник / П. С. Харлаки, Г. С. Єршов, В. П. Тарасов [та ін.]. Донецьк : Норд-комп'ютер, 2005. 724 с.

3. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підруч. для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега [та ін.]. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.

4. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія виплавки сталі» (розд. «Конвертерні процеси») для студентів спеціальності 6.050400 «Металургія чорних металів» (усіх форм навчання) / Полєтаєв В. В. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. 104 с.

5. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / за ред. В. Л. Найдека. Київ : Вініченко, 2016. 224 с.

6. Воденніков С. А., Тарасов В. К., Воденнікова О. С. Конструкції агрегатів чорної металургії : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 192 с.

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

8. 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.

9. Ткачук К.Н. Филипчук В.Л., Каштанов С.Ф. Виробнича санітарія. Рівне : НУВГП, 2012. 443 с.

10. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. Основи охорони праці. Київ : Основа, 2006. 448 с.

11. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник. Львів : Афіша, 2000. 352с.