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 очищення колошникового газу домених печей»*

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

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

спеціалізації
_____
(шифр і назва)

Каряка І.Г.

Керівник *доцент, к.т.н. Бєлоконь К.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

_____*Каряка Ігор Генадійович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) *«Проєкт системи очищення колошникового газу домених печей»*_____
керівник роботи___*Бєлоконь Каріна Володимирівна*_____*к.тн., доцент*____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від *"27" 02* 2025 року *№ 319-с*

2. Строк подання студентом роботи _____*08.12.2025*_____

3. Вихідні дані до роботи *розробити систему очищення колошникового газу домених печей, витрата газу 250 000 м^3/год, температура 200^{0}С.*_____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *вступ, загальна частина, спеціальна частина, охорона праці та техногенна безпека, висновки, перелік джерел посилання*_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
*презентаційний матеріал на 14 слайдах (на 14 сторінках)*_____

6. Консультанти розділів роботи

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

Керівник роботи _____ *Каріна БЄЛОКОНЬ*

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ *Каріна БЄЛОКОНЬ*

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 61 стор., 2 табл., 15 рис., 10 джерел.

ДОМЕННА ПІЧ, КРАПЛЕВЛОВЛЮВАЧ, ДРОСЕЛЬНА ГРУПА, МОКРИЙ ЕЛЕКТРОФІЛЬТР, ЦЕНТРОБІЖНИЙ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧ, СУХИЙ ЕЛЕКТРОФІЛЬТР.

Об'єкт роботи – ділянка очищення колошникового газу домених печей.

Предмет роботи – система очищення колошникового газу домених печей.

Мета роботи – розробка системи очищення колошникового газу домених печей з використанням мокрого способу очищення.

У кваліфікаційній роботі розглянуті будівля доменного цеху, двуконусна доменна піч, технологію доменного процесу, визначені вимоги до якості виплавляємого чавуну. Запропоновано нове комплексне високоякісне очищення доменного газу в скрубері Вентурі із подальшим використанням енергії газу в газовій безкомпресорній утилізаційній турбіні. Очищенню підлягають колошникові гази з витратою 250 000 $м^3$/год і температурою 200^0С. Перше грубе очищення відбувається в радіальному пиловловлювачі, ефективність якого 65-75%. Напівтонке очищення газу здійснюється в скрубері Вентурі, що складається з двох труб Вентурі і двох краплеуловлювачів. Ефективність очищення 99,9 %. Після очищення газ направляється до ГУБТ-8. Виконано аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту, загальний гідравлічний опір якого склав 170 286 Па. Розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори, які існують у доменному цеху, складено карту праці для горнового, розглянуто технічні рішення щодо виробничої санітарії, техніки безпеки, пожежної безпеки. Розраховані основні техніко-економічні показники очищення колошникового газу.

ЗМІСТ

ВСТУП 6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 7
1.1 Короткий опис доменного виробництва та газоочищення доменного цеху 7
1.2 Опис утворення викидів в доменному виробництві . . 11
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 17
2.1 Характеристика газових викидів 17
2.2 Огляд існуючих способів очищення газу та вибір методу очищення 19
2.3 Розрахунок технологічної схеми очищення 23
2.3.1 Розрахунок апаратів схеми очищення газів . . . 23
2.2.3 Розрахунок аеродинамічного опору газовідвідного тракту . 37
2.3 Утилізація пилу 40
2.4 Техніко-економічне обґрунтування очищення газів доменного цеху 40
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 43
3.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників доменного виробництва 43
3.2 Заходи щодо техніки електробезпеки 46
3.3 Заходи пожежної безпеки 48
3.4 Розрахунок установки вуглекислотного пожежогасіння . . 55
ВИСНОВКИ 59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 61

ВСТУП

Зі зростанням промислового виробництва швидко зростало споживання вугілля, руд, нафти та інших матеріалів, спалювання та переробка яких призводили до значного та все більшого забруднення атмосфери газами та пилом. Перед підприємств чорної і кольорової металургії припадає близько 20-25% загальної кількості шкідливих викидів в атмосферу, а районах розташування великих металургійних заводів і комбінатів понад 50% від кількості забруднень.

Стрімкий прогрес науки і техніки вимагає значного збільшення виробництва та споживання чорних металів, пластмас, будівельних та інших матеріалів. Промислове виробництво зростає не тільки в результаті будівництва нових підприємств, а й удосконалення технологічних процесів та реконструкції існуючих агрегатів. Металургійне виробництво розвивається головним чином в результаті застосування кисню та природного газу, що викликають різке збільшення кількості димових газів з великим вмістом дрібного пилу та шкідливих газових сполук.

Забруднене повітря шкідливо впливає не тільки на людей і тварин, але і на рослинний світ, завдає величезних матеріальних збитків, підвищуючи корозію металів, руйнуючи будівельні та інші матеріали**.**

Очищення газів від пилу та газоподібних речовин має не лише санітарно-гігієнічне, а й велике економічне значення.

Основним продуктом доменної плавки є чавун, а побічними – шлак і колошниковий (доменний) газ. В середньому при згоранні 1 т сухого коксу утворюється 3400 $м^3$ колошникового газу. Пил і газоподібні викиди з доменних печей утворюються в результаті складних фізичних і хімічних процесів. З колошниковим газом з печі виносяться пил, внесений з шихтою (що утворилася при дробленні шихтових матеріалів, в основному коксу), і пил, що з'явився при терті стовпа шихти в самій доменній печі.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Короткий опис доменного виробництва та газоочищення доменного цеху

Доменний процес є складною сукупністю різноманітних фізико-хімічних, механічних та аеродинамічних явищ. Він протікає в умовах руху твердих і мас, що плавляться зверху вниз і зустрічного руху газів знизу вгору. Успішне здійснення цього складного безперервного процесу міцно пов'язані з правильним вибором внутрішньої конфігурації робочого простору печі чи її профілю.

Продукцією доменного виробництва є чавун. Виплавка його проводиться в безперервно діючих шахтних (доменних) печах з руди, агломерату, котунів і флюсів, з використанням як паливо коксу та природного газу. Одержуваний чавун у ковшах прямує на виплавку з нього сталі або розливається в чушки. Шлак, що утворюється при плавці, гранулюється для подальшого використання. Гази, що відходять, очищаються і використовуються як паливо.

Доменна піч являє собою шахтну піч, для якої характерний розвиток робочого простору у висоту. Шахта заповнюється газопроникними матеріалами. Це забезпечує їх тісну взаємодію з газовим потоком, що піднімається догори. Пекти повинна мати раціональний профіль, при якому забезпечуються наступні найважливіші умови доменного процесу [1]:

1) плавне та стійке опускання шихтових матеріалів;

2) вигідний розподіл зустрічного газового потоку;

3) успішний розвиток процесів відновлення та утворення чавуну та шлаку.

План та розріз доменного цеху наведено на рис. 1.1 та 1.2.

Сучасна доменна піч (рис. 1.3) працює з обов'язковим використанням колішникового газу, що відходить, і з підтриманням підвищеного тиску

газової фази на колошнику, виконання цих умов можливе тільки за наявності закритого колошника і завантаження матеріалів у піч при ізоляції її обсягу від зовнішньої атмосфери.

Сучасний форсований режим роботи потужних доменних печей вимагає їх дуванням з відповідним тиском і температурою. Перші з цих параметрів забезпечуються воздуходувными засобами, а останній — роботою повітронагрівачів.

Доменна піч при нормальному режимі роботи споживає щохвилини обсяг повітряного дуття, що дорівнює двом її корисним обсягам або більше. Для забезпечення безперебійної подачі таких кількостей дуття застосовуються потужні турбовоздуходувні машини, що мають розташовані на одному валу двигун (парову турбіну) та відцентрове повітродувку.

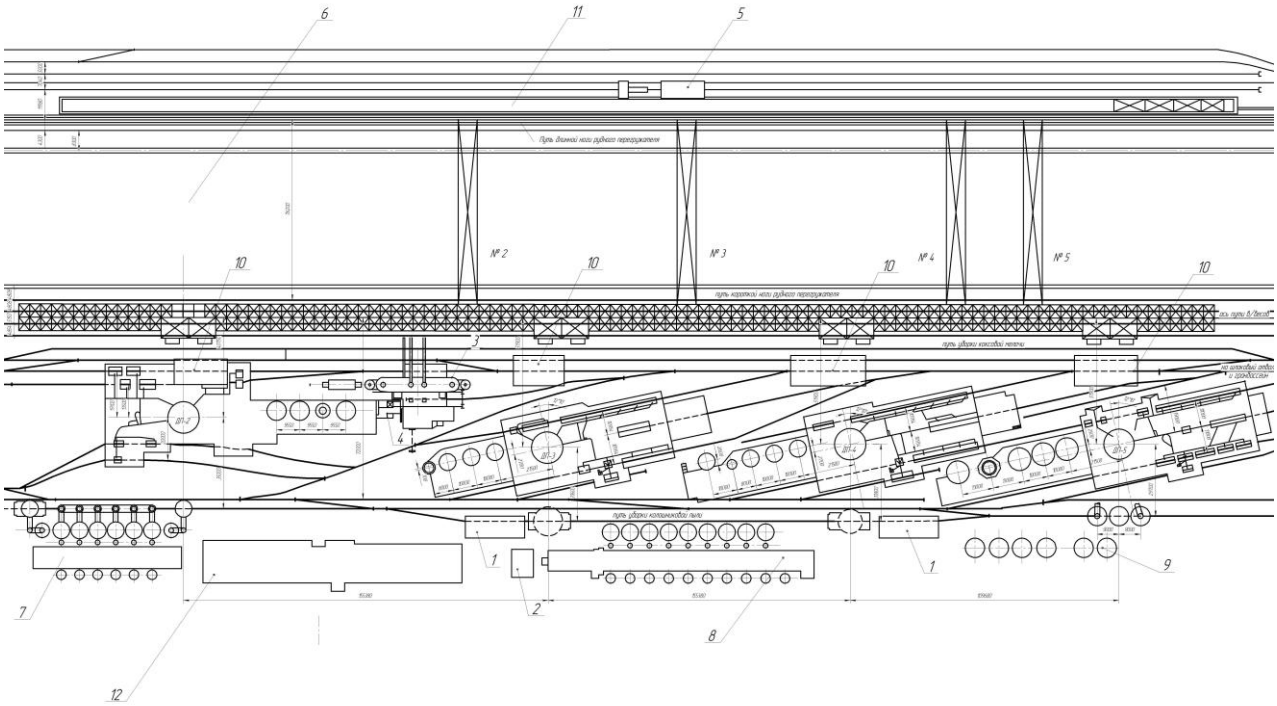


Рисунок 1.1 – План доменного цеху: 1 – приміщення КВП печі; 2 – насосна пиловдування ДП-3; 3 – установка для прямого отримання заліза, 4 – ліфт, 5 – вагоноперекидач, 6 – рудний двір, 7 – газоочищення №1, 8 – газоочищення №2, 9 – газоочищення №3, 10 – машзал скіпового підйомника, 11 – траншея вагоноперекидача, 12 – електропідстанція ГРС

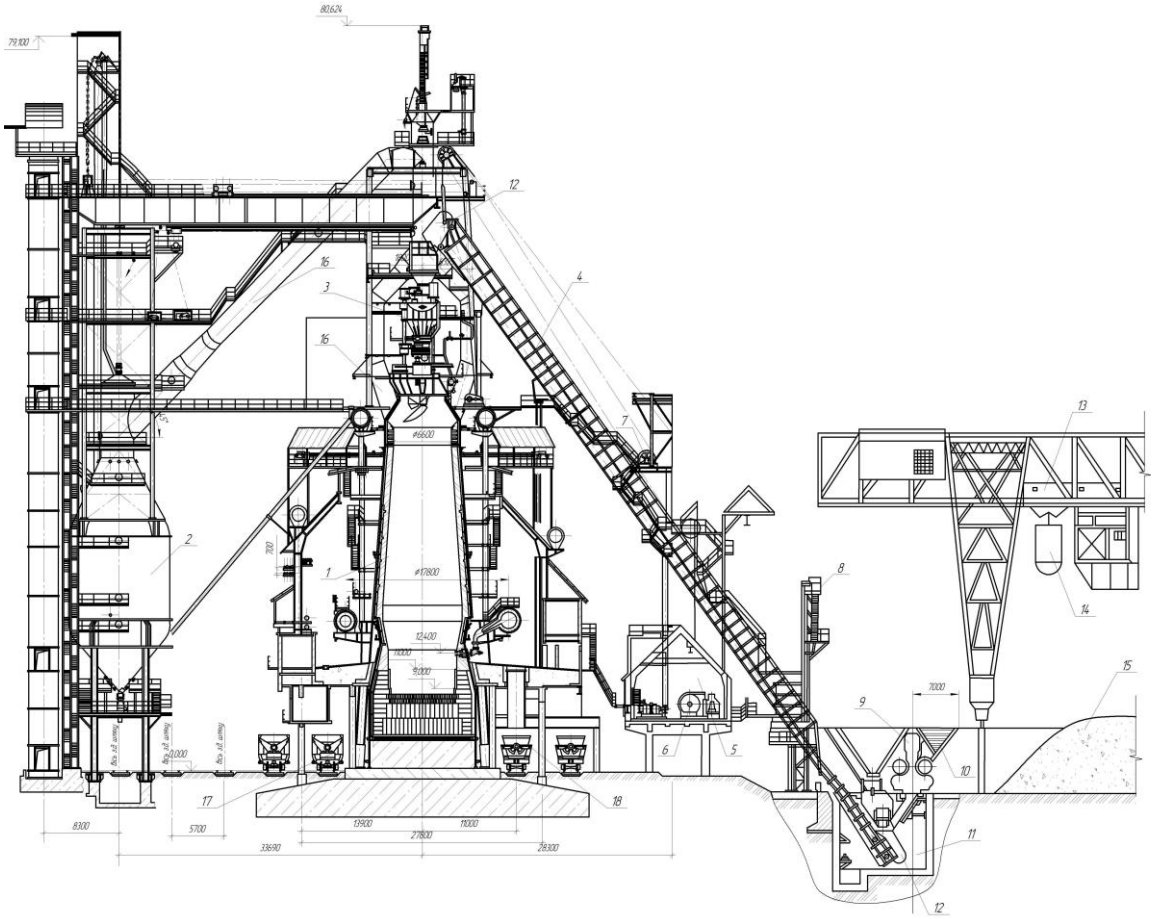


Рисунок 1.2 – Розріз доменного цеху: 1 – домена піч; 2 – пиловловлювач; 3 – колошник; 4 – колошниковий підйомник; 5 – Машиний будинок; 6 – лебідка управління конусами; 7 – скіпова лебідка; 8 – підйомник коксової дрібниці; 9 – вагон-ваги; 10 – бункерна естакада; 11 – скіпова яма; 12 – скіп; 13 – грейферний візок; 14 – грейфер; 15 – штабель руди; 16 – газопровід доменного газу; 17 – шлаковоз; 18 – чавуновоз

Постійна вологість дуття, що подається в доменну піч, досягається введенням вологи всередину повітродувки перед кожним ступенем стиснення і автоматично підтримується на заданому рівні.

Для нагрівання дуття кожна доменна піч має три або чотири повітронагрівачі. Вони працюють за принципом регенерації тепла, тобто поперемінного нагріву їх вогнетривких насадок і віддачі тепла дуттю, що нагрівається [2].

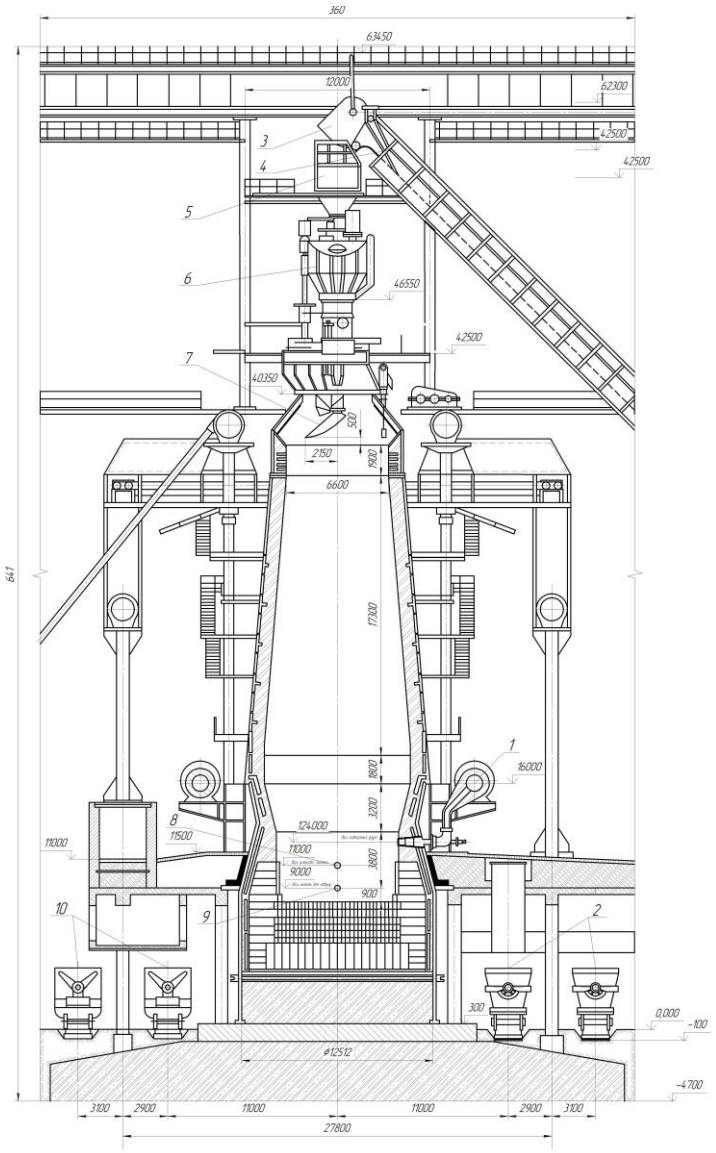


Рисунок 1.3 – розріз доменної печі: 1 – повітряна фурма; 2 – чавуновоз; 3 – скіп; 4 – скіповий підйомник; 5 – приймальна воронка; 6 –розподільча шахта; 7 – розподільчий пристрій; 8 – шлакова льотка; 9 – чавунна льотка 10 – шлаковоз

Безперервний доменний процес поєднується з періодичним випуском рідких продуктів плавки – чавуну та шлаку. Випуск чавуну роблять через кожні 3-4 год за графіком, випуск шлаку – через 1-1,5 год.

Чавун і шлак випускають по жолобах, прокладених ливарним двором, в чавуновозні і шлаковозні ковші, встановлені на залізничних шляхах.

1.2 Опис утворення викидів в доменному виробництві

У процесі доменної плавки виходить велика кількість колошникового газу. Проходячи через стовп шихти з великою швидкістю, газ захоплює дрібні частинки, головним чином, залізовмісних матеріалів, – так званий колошниковий пил. Вміст пилу в колошниковому газі коливається в межах – від 10 до 100 г/м^3.

Зважаючи на вміст у колошниковому газі горючих складових CO і H_2 він широко використовується як металургійне та енергетичне паливо, перш за все для нагрівання дуття в самому доменному цеху, і тому вимагає попереднього очищення. Вловлений колошниковий пил використовується як добавка до шихти агломерації.

Для уловлювання механічних домішок та охолодження доменного газу застосовують послідовно сухий та мокрий методи очищення.

Як апарати для первинного (грубого) очищення доменного газу застосовують радіальні і тангенціальні пиловловлювачі в яких відбувається уловлювання найбільших частинок пилу (приблизно 0,1 мм і більше).

Напівтонке очищення газу до вмісту пилу близько 0,5 г/м^3 проводиться послідовно в скруберах і трубах Вентурі. Скрубери є вертикальні колони діаметром 6-9 м і висотою 25-30 м, зрошувані водою через форсунки, розташовані в їх верхній частині [3]. Газ надходить у нижню частину скрубера і безперервно рухається назустріч воді. Така система подачі забезпечує інтенсивне перемішування газу з водою та ефективний теплообмін та уловлювання з газу частинок колошникового пилу. Витрата води на зрошення скрубера розраховують, виходячи їх вологості, початкової та кінцевої температури газу і температури води, що надходить.

У зв'язку з інтенсифікацією доменного процесу – підвищення тиску газу під колошником та використанням у шихті гарячого агломерату, внаслідок чого підвищилася початкова температура доменного газу, а також зростанням вимог до температури чистого газу питома витрата води на

скрубер газоочищення при цьому становить 6-9 л/м^3. Температура газу в скруберах знижується до 40 - 50ºС [3].

Другим щаблем напівтонкого очищення доменного газу є труби Вентурі. Після труби Вентурі газ надходить у краплеуловлювач і потім на тонке очищення.

Апаратами для тонкого очищення газу до запиленості, що нормується, є електрофільтри і дросельна група. Після дросельної групи очищений та охолоджений доменний газ спрямовується споживачеві.

Основні види продуктів доменної плавки:

1) передільний чавун для киснево-конвертерних і мартенівських цехів складу 0,5-1,3% 31; 0,6-1,2% Mn; 0,15-0,2% Р; 0,03-0,07% 5;

2) ливарний чавун, що містить до 3,26-3,75% 51, до 0,91 - 1,3% Mn і 0,02-0,07% 5 з межами за фосфором 0,1-0,3% для високоміцного лиття і 0,3-1,2% для мистецького;

3) доменні феросплави: феромарганець з 70-75% Mn і 7% С, феросиліцій з 12-18% 51 і 2% С, дзеркальний чавун з 10-25% Mn [2].

Склад та основні характеристики доменного газу залежать від шихти та ходу плавки і можуть значною мірою змінюватись. Доменний газ забруднений колошниковим пилом, який представляє суміш дрібних частинок руди, коксу, агломерату, вапняку та інших матеріалів, що завантажуються в доменну піч.

Пил утворюється в результаті механічного подрібнення матеріалів при їх приготуванні, транспортуванні, завантаженні та стиранні при русі в шахті печі. Винос пилу з печі обумовлений захопленням дрібних частинок потоком газу, що проходить крізь шар шихти, а також сублімацією деяких елементів шихти, тобто. перетворенням їх у пароподібний стан під дією високих температур.

Сучасні доменні печі зазвичай працюють з витратою природного газу 80-120 м^3 на 1 т чавуну і дмухом, збагаченим киснем до 35%. У цьому вологовміст доменного газу становить 70-100 г/м^3 сухого газу (точка роси 42-

49 °С тиску 0,1 МПа).

Підвищення тиску доменного газу, що відходить, дозволяє використовувати потенційну енергію відхідного стиснутого газу в газових утилізаційних безкомпресорних турбінах (ГУБТ). При цьому собівартість одержуваної електроенергії виявляється досить низькою.

Досвід експлуатації ГУБТ на Магнітогорському, Череповецькому та Криворізькому металургійних комбінатах показує, що для надійної роботи турбін, що виключає випадання вологи в їхній хвостовій частині, температура газу на виході з турбіни має перевищувати точку роси. Тому мінімальна вхідна температура на працюючих нині ГУБТ (Р = 0,3 МПа) прийнята рівною 120°С. Так як для очищення доменного газу застосовуються схеми мокрого очищення, перед подачею газу в ГУБТ його необхідно підігрівати.

Головним недоліком підігріву, що змішує, для ГУБТ є баластування пального газу продуктами згоряння. Поверхневі нагрівачі не знайшли застосування через їхню громіздкість і складність експлуатації, пов'язану з можливістю утворення відкладень пилу на поверхні теплообміну. На це вказує і досвід експлуатації ГУБТ, коли при розміщенні підігрівника, що змішує, безпосередньо перед турбіною пил не встигає висохнути, і навіть при малій запиленості газу (5 мг/м^3) в напрямному апараті турбіни спостерігаються відкладення пилу. Так як доменний газ широко використовується на металургійних заводах в основному як паливо, допустима величина вмісту пилу в очищеному газі не повинна перевищувати 4 мг/м^3.

Споживачі доменного газу – коксові печі, повітронагрівачі доменних печей, а останнім часом у зв'язку з широким впровадженням газорозширювальних станцій, які використовують енергію доменного газу для вироблення електроенергії, газові безкомпресорні утилізаційні турбіни. Для обмеження кількості вологи в доменному газі, що подається споживачам, охолодження його здійснюється до температури не нижче 35-40°С при тиску

0,1 МПа (вологовміст 47-63г/м^3). Це пов'язано з тим, що волога, що випадає з газу, сприяє корозії металу газоходів і є причиною затвердіння відкладень пилу на устаткуванні. Підвищений вміст вологи знижує калорійність доменного газу і збільшує втрати тепла з газами, що відходять.

Доменні цехи забруднюють атмосферу в основному пилом та окисом вуглецю.

Рудний двір та бункерна естакада. На рудному дворі пил виділяється під час розвантаження вагонів, перевантаження руди грейферними кранами, подачі руди на бункерну естакаду. Питома викид пилу на 1 т чавуну орієнтовно приймають рівним: на рудному дворі 50 кг, на бункерній естакаді 22 кг при висоті виділень 6-15 м. Концентрація пилу на рудному дворі та бункерній естакаді може досягати 1000 мг/м^3. На нових металургійних заводах очікується зниження питомих викидів до 10 кг/т за рахунок розвантаження та транспортування сипких матеріалів у закритих розвантажувальних вузлах та закритих галереях з об'єднанням аспіраційних систем та очищенням запилених газів у великих електрофільтрах.

Підбункерні приміщення. У доменних цехах існує дві системи подачі сирих матеріалів на колошник: скіпова, що застосовувалася в старих печах, і транспортерна, що застосовується в нових печах, значно знижує пиловиділення.

Найбільше пилу виділяється в підбункерному приміщенні, де відбувається вивантаження сирих матеріалів у вагон-ваги і далі в скіп. Пил викидається в атмосферу через вікна та отвори для скіпів та через вихлопні отвори аспіраційних систем при висоті виділень 10 м.

Концентрація пилу повітря підбункерних приміщень становить близько 500 мг/м^3, у зв'язку з чим у багатьох заводах кабіну машиніста вагон-ваг доводиться герметизувати. При транспортерній подачі сирих матеріалів умови роботи в підбункерному приміщенні набагато кращі.

Валові викиди в підбункерних приміщеннях, кг/т чавуну, для печей різних об'ємів $V_п$, м^3, наведені нижче:

Скіпова подача ($V_п$ < 2000) 0,8-1,2

Транспортерна подача ($V_п$ > 2000) 0,09

Для очищення викидів аспіраційних систем застосовують у більшості випадків мокрі пиловловлювачі.

Колошниковий пристрій. Пило- та газовиділення печі обумовлено тим, що при подачі шихти на великий конус завантажувального пристрою печі тиск з обох боків конуса необхідно вирівняти, для чого брудний газ з міжконусного простору випускають в атмосферу. Крім того, пиловиділення відбувається при кожному висипанні скіпу в приймальну лійку. Для печей ємністю 930-2700 м^3 викиди пилу та CO становлять 0,17-0,60 і 5-19 т/добу, відповідно.

У поодиноких випадках газ відводять на газоочищення з подальшим використанням як паливо.

Радикальним рішенням, що майже повністю виключає викиди пилу з міжконусного простору, є подача в міжконусний простір в момент відкриття великого конуса компремованого газу тиском, що дещо перевищує тиск у печі. У цьому випадку брудний газ із печі взагалі не надходить у міжконусний простір і вихлоп газу при вирівнюванні тиску в засипному пристрої залишається чистим. Однак при цьому з'являються додаткові енерговитрати, пов'язані зі стисненням газу, що подається у міжконусний простір.

Ливарний двір. На ливарному дворі пил та гази виділяються в основному від льоток чавуну та шлаку, жолобів ділянок зливу та ковшів. Питомі виходи шкідливих речовин на 1 т чавуну становлять: 400-700 г пилу, 0,7-1,15 кг, 120-170 $5O_2$. Пил і гази частково видаляються через ліхтарі будівлі, частково за допомогою аспіраційних систем з очищенням від пилу перед викидом в атмосферу, переважно в батарейних циклонах.

При розливанні чавуну в приміщенні розливних машин виділяються пил та окис вуглецю. Аспірація та очищення зазвичай не передбачені. Через аераційні ліхтарі виділяються в середньому 40 г пилу та 60 г CO на 1 т

розлитого чавуну.

Останнім часом усі викиди ливарного двору великих печей прагнуть об'єднувати та спрямовувати їх для очищення в електрофільтри. Загальна кількість газу, що відсмоктується, у великих печей досягає 1 млн. $м^3$/год. Щоб його зменшити, всі системи постачають дросельними клапанами (ДК), що дозволяють при необхідності включати дистанційно необхідне в даний момент укриття (зонт).

Повітронагрівачі. Повітронагрівачі доменних печей забруднюють атмосферу переважно окисом вуглецю, в середньому 11-44 г/т чавуну. Концентрація окису вуглецю, що видаляється через аераційні отвори будівель, становить у середньому 33 $мг/м^3$.

Пилоуловлювачі. При сухому розвантаженні пиловловлювачів в атмосферу виділяється 0,75-1,0 г пилу на 1 т чавуну. Середня концентрація пилу при завантаженні на відкриті залізничні платформи становить 250 $мг/м^3$ на відстані 5 м від пиловловлювача за відсутності вітру. При змочуванні пиловиділення значно скорочується. В даний час розроблено та впроваджується закрита система пневматичного транспортування уловленого пилу.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика газових викидів

Склад та основні характеристики доменного газу залежать від шихти та ходу плавки і можуть значною мірою змінюватись. Доменний газ забруднений колошниковим пилом, який представляє суміш дрібних частинок руди, коксу, агломерату, вапняку та інших матеріалів, що завантажуються в доменну піч.

Для інтенсифікації доменного процесу і скорочення витрати коксу існує багато різних заходів, що впливають і на властивості доменного газу: підвищення тиску, температури і вологості доменного дуття, збагачення дуття киснем, вдування в горн природного газу, мазуту і т. п. В результаті сукупної дії цих факторів, що у деяких випадках протилежне одночасним зменшенням CO, внаслідок чого теплота згоряння його змінюється мало і становить близько 3500-4000 кДж/м^3, а вихід доменного газу знижується з 3800-4000 до 2000-2500 м^3/т чавуну.

У середньому при згорянні 1 т сухого коксу утворюється 3400 м^3 доменного газу із середньою теплотою згоряння 3,96 МДж/м^3. Пил та газоподібні викиди з доменних печей утворюються в результаті складних фізичних та хімічних процесів. Вважають, що з доменним газом з печі виносяться пил, внесений з шихтою (що утворилася при дробленні шихтових матеріалів, в основному коксу), і пил, що з'явився при терті стовпа шихти в доменній печі.

Маса пилу, що виноситься доменними газами, становить 20-100 кг/т чавуну. Середня запиленість доменних газів дорівнює 9-55 г/м^3, а при неполадках або дрібній шихті може досягати 200 г/м^3.

Питомі технологічні викиди з колошниковими газами при виплавці передільного чавуну складають, кг на 1 т чавуну: пилу – 100; CO – 640; O_2 – 0,08-0,45 [3].

Зразковий склад колошникового газу:

Компоненти	CO_2	CO	CH_4	H_2	O_2+N_2
Об'ємна частка; %					
при роботі без підвищення тиску та комбінованого дуття	11,2	31,2	0,2,1	2,99	55,1
під час роботи з підвищенням тиску та комбінованим дуттям	11,3	29,0	0,20	4,30	55,2

Температура доменного газу на виході з печі зазвичай становить 300-350°С. Спостерігаються короткочасні підвищення температури до 500 °С при виплавці спецчавунів (ливарного, феросиліцію, феромарганцю) температура газу вище, ніж при виплавці чавуну, і становить 300-400 °С.

Доменний газ, що утворюється в печі, завжди забруднений колошниковим пилом, який є сумішшю дрібних частинок руди, коксу, агломерату, вапняку та інших матеріалів, що завантажуються в доменну піч. Пил утворюється в результаті механічного подрібнення матеріалів при їх приготуванні, транспортуванні, завантаженні та стиранні при русі в шахті печі.

Винос пилу з печі обумовлений захопленням дрібних частинок потоком газу, що проходить крізь шар шихти, а також сублімацією деяких елементів шихти в області високих температур і підмішуванням їх до газу.

Працюючи печей з нормальним тиском на колошнике винос пилу становив 50-60 г/м^3, підвищуючись окремих випадках до 100 г/м^3. При переведенні печей на роботу з підвищеним тиском на колошнику запиленість доменного газу зменшувалась до 15-20 г/м^3, що значною мірою пояснюється зниженням питомих обсягів та швидкостей газу в печі.

Питомий вихід пилу на 1 т чавуну становить при нормальному тиску на колошнику 50-150, при підвищеному тиску 25-75 кг/т.

При виплавці передільного чавуну та роботі з підвищеним тиском на колошнику пил має наступний хімічний склад, %: 6,02 FeO; 12,9Fe_2O_3;

13,8$Fe_{заг}$; 14,6SiO_2; 4,35$A1_3O_3$; 4,35MgO; 11,85CaO; 3,75MnO. Втрати при прожарюванні становлять 27,68 %.

Гранулометричний склад пилу також залежить від багатьох факторів і може сильно вагатися. Про зразковий розподіл частинок за розмірами можна судити за такими даними:

Розмір частинок, мкм	200	200—100	100—60	60—20	20—10	10—1	<1
Масовий зміст, %	34,5	12,3	19,0	25,0	7,5	1,65	0,05

2.2 Огляд існуючих способів очищення газу та вибір методу очищення

Багато технологічних споживачів доменного газу (коксові печі, пальники доменних повітронагрівачів та ін.) вимагають очищення газу до концентрації пилу не вище 10 мг/м^3. Тому на металургійних заводах застосовують, як правило, багатоступінчасте ОЧИЩЕННЯ доменного газу, яка передбачає знепилення газу не менш ніж у трьох-чотирьох послідовно включених апаратах.

Грубе очищення газу передбачає відділення найбільших частинок, розміром >0,1 мм. Її здійснюють у сухих пиловловлювачах діаметром 5-8 м, де випадання твердих частинок відбувається за рахунок гравітації та інерційних сил, що виникають при повороті газового потоку на 180 °. Пил з пиловловлювача видаляється за допомогою шнека, що змочується водою. У сухому пиловловлювачі вловлюють до 65-75 % всього пилу, що міститься в газовому потоці, що виходить з доменної печі. Вміст пилу в газі після грубої очистки зазвичай не перевищує 3-10 г/м^3 [3].

Напівтонке очищення газу дозволяє осадити частки пилу розміром до 0,02 мм і очистити газ до вмісту пилу в ньому 06-16 г/м^3. Напівтонке очищення здійснюють в апаратах мокрого типу - форсункових порожнистих скруберах і трубах Вентурі. Доменні скрубери працюють із швидкостями

газу 1-2 м/с при питомій витраті води 3-6 дм/м^3 газу. Доменний газ, що проходить через скрубер, охолоджується з 250-300 до 40-50 °С і повністю насичується вологою. Коефіцієнт очищення газу в скрубері не перевищує 60-70%.

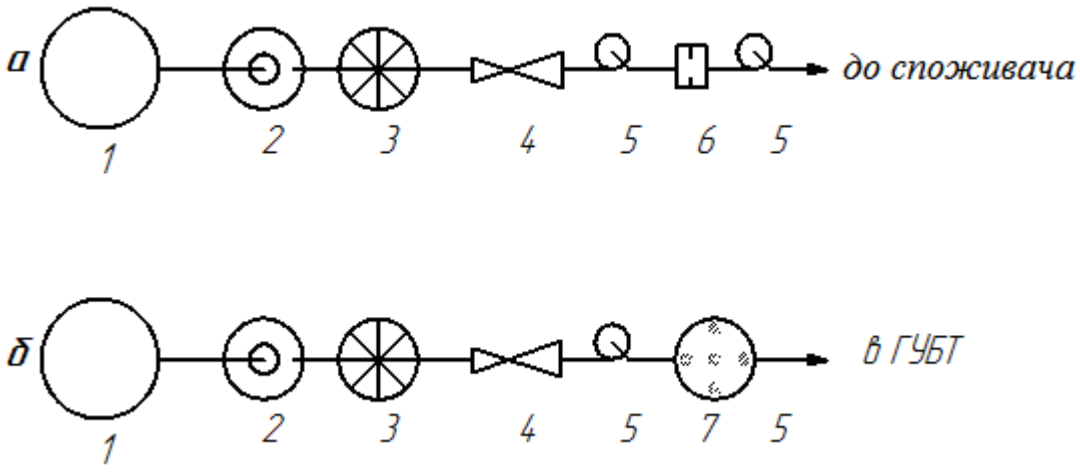


Рисунок 2.1 – Схеми доменних газоочисток: а – схема доменного газоочищення за відсутності ГУБТ; б – те саме, за наявності ГУБТ; 1 – доменна піч; 2 – сухий пиловловлювач; 3 – скрубер; 4 – труба Вентурі; 5 – краплеуловлювач; 6 – дросельна група; 7 – мокрий електрофільтр

Після скруберу в більшості випадків газ надходить у дві-чотири низьконапірні труби Вентурі, що працюють зі швидкістю газів у горловині 50-80 м/с і питомою витратою води т = 0,2 дм^3/м^3, в яких завершується напівтонке очищення газу.

Тонку очищення доменного газу з вмістом пилу в ньому до 10 мг/м^3 здійснюють у дросельній групі або в мокрому електрофільтрі. Дросельна група являє собою систему дросельних клапанів різних діаметрів, що вводиться після напівтонкого очищення газовий тракт в якості додаткового опору, що дозволяє отримувати в доменній печі підвищений тиск. Змінюючи ступінь відкриття клапанів великого діаметра, можна встановлювати в доменній печі необхідну технологічним процесом величину надлишкового

тиску. Клапан меншого діаметра служить для автоматичного регулювання тиску.

Для зниження абразивного зносу клапанів та коагуляції пилу до дросельних клапанів підводять воду, що розбризкується за допомогою форсунок.

Практика роботи дросельних груп показала, що при достатніх перепадах тиску та швидкостях газу в клапанах до 200-250 м/с є високоефективним газоочисним пристроєм. Працюючи за тим же принципом, що і труба Вентурі, дросельна група при перепаді тиску понад 20-30 кПа знижує вміст пилу в газі до 5-10 мг/м^3 при малій чутливості до початкового вмісту пилу.

Використання дросельної групи як газоочисний апарат дозволяє при роботі з підвищеним тиском газу на колошнику різко спростити та здешевити систему газоочищення.

Основним недоліком тонкого очищення газу за допомогою використання дросельної групи є велика втрата тиску, який не відновлюється навіть частково (як це має місце – у Вентурі трубі), що викликає високі енерговитрати. Крім того, зв'язки з можливістю тимчасових переходів доменної печі на роботу з нормальним тиском у ряді випадків необхідний апарат тонкого очищення, що резервує дросельну групу.

У зв'язку з широким впровадженням на заводах чорної металургії газорозширювальних станцій, що використовують потенційну енергію доменного газу для вироблення електроенергії в газових безкомпресорних утилізаційних турбінах (ГУБТ), застосування дросельних груп для тонкого очищення газу стало нерентабельним. Економічно доцільніше використовувати весь перепад тиску в ГУБТ, а для тонкого очищення газу застосовувати апарати, що працюють з малою втратою тиску, наприклад мокрий електрофільтр типу «ДМ» (для тонкого очищення доменного газу). Дросельну групу зберігають лише у разі виходу з ладу ГУБТ.

Різними організаціями та заводами розробляються та пропонуються й інші схеми доменних газоочисток:

а) безскрубберна, з напівтонким очищенням тільки в трубах Вентурі і тонким очищенням в електрофільтрах;

б) із застосуванням двох послідовно включених труб Вентурі для напівтонкого та тонкого очищення;

в) з двома послідовно розташованими сухими пиловловлювачами

За технічними умовами ГУБТ температура доменного газу, що надходить до них, повинна бути в межах 100-200°С. Тим часом, у разі мокрого очищення перед турбіною його доводиться знову підігрівати, спалюючи частину газу [3].

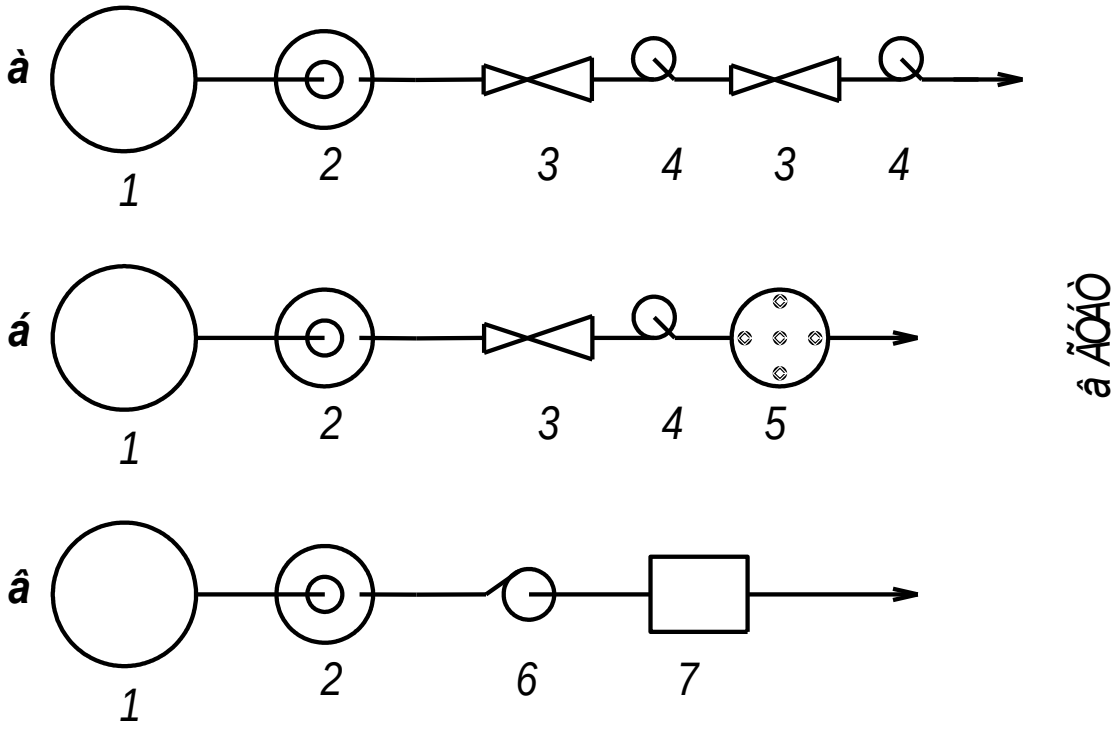


Рисунок 2.2 – Можливі схеми газоочищення: а – двоступінчасте очищення із застосуванням труб Вентурі; б - безскруберне газоочищення; в – сухе очищення доменного газу; 1 – доменна піч; 2 – сухий пиловловлювач; 3 – труба Вентурі; 4 – краплеуловлювач; 5 – мокрий електрофільтр; 6 – відцентровий пиловловлювач; 7 – сухий електрофільтр, або рукавний фільтр

2.3 Розрахунок технологічної схеми очищення

2.3.1 Розрахунок апаратів схеми очищення газів

Схеми системи очищення колошникового газу домених печей наведені на рис. 2.3 та 2.4.

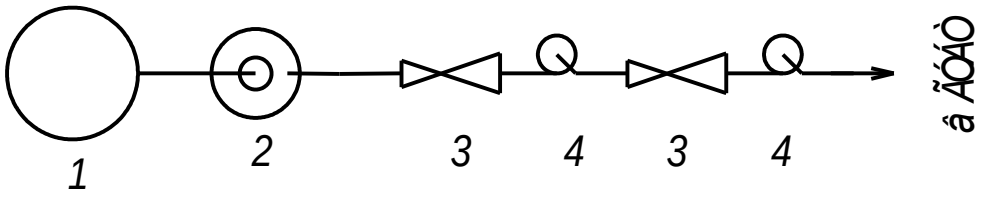


Рисунок 2.3 – Очищення колошникового газу доменних печей:
1 – доменна піч; 2 – радіальний пиловловлювач; 3 – труба Вентурі;
4 – краплевловлювач

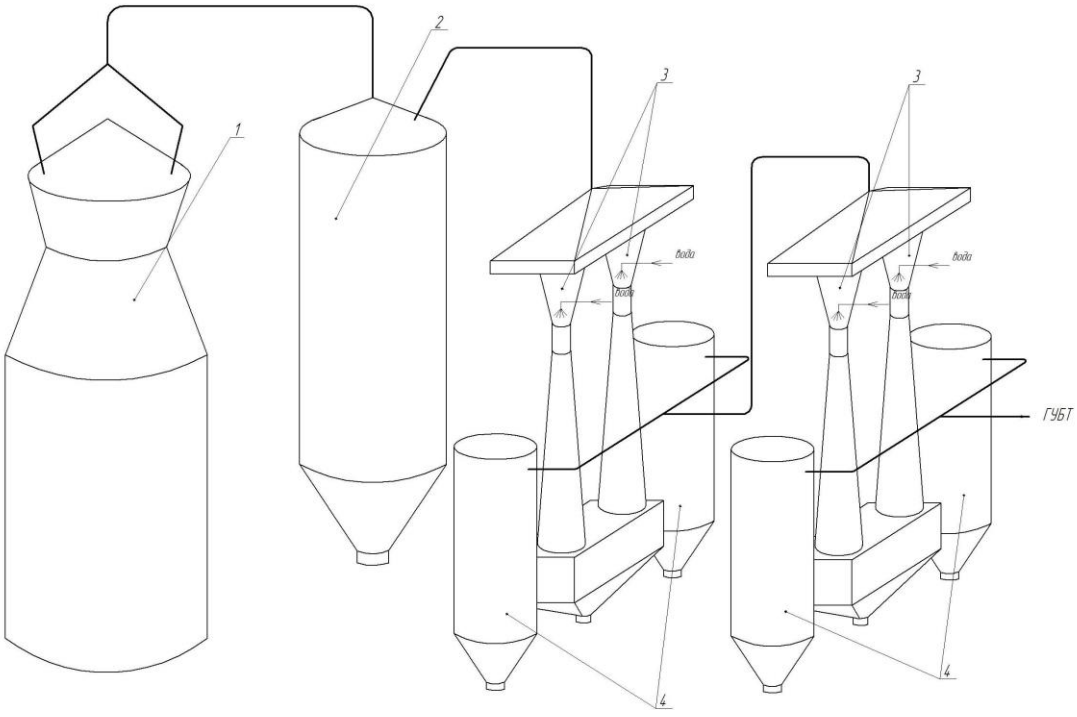


Рисунок 2.4 – Схема системи очищення колошникового газу домених печей:
1 – доменна піч; 2 – радіальний пиловловлювач; 3 – труба Вентурі;
4 - краплеуловлювач

Вихідні дані:

1. Витрата газу – 250 тис. нм^3/год = 69,4 нм^3/с;
2. Запиленість – 50 г/м^3;
3. Температура – 200^{0}С;
4. Газовий склад, %: N_2 – 53,5; O_2 – 1,5; CO – 29; CO_2 – 12; H_2 – 4.
5. Дисперсний склад пилу:

Фракція, мкм	<10	10-20	20-60	60-100	100-200	>200
Вміст, %	1	9	29	17	10	34

6. Очищенню підлягає газ із тиском 180 кПа;
7. Щільність і еквівалентний діаметр найменших частинок пилу, що вловлюються ρ = 3500 кг/м^3, $d_э$ = 0,15 мм.

Схема очищення: радіальний пиловловлювач-скруббер Вентурі-скруббер Вентурі.

Розрахунок радіального пиловловлювача

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

$$\rho_0 = \sum a_i \cdot \rho_i = 0{,}535 \cdot 1{,}251 + 0{,}015 \cdot 1{,}429 + 0{,}29 \cdot 1{,}25 + 0{,}12 \cdot 1{,}976 + \\ + 0{,}4 \cdot 0{,}089 = 1{,}33$$

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

$$\rho = \rho_0 \frac{273 \cdot \left(P_{бар} \pm P_ц\right)}{\left(273 + T_г\right) \cdot 101{,}3 \cdot 10^3} = 1{,}33 \cdot \frac{273 \cdot \left(101{,}3 + 180\right)}{\left(273 + 200\right) \cdot 101{,}3} = 2{,}13$$

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

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

$P_г$ – розрядження газу, Па;

$T_г$ –температура газів.

Витрата газів за робочих умов, м^3/с:

$$V_{д} = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho} = \frac{69{,}4 \cdot 1{,}33}{2{,}13} = 43{,}3$$

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

Оцінимо можливе значення числа Рейнольдса для частинок пилу. У радіальних пиловловлювачах рекомендується швидкість газу 0,6...1,0 м/с. За такої швидкості витання частинок пилу число Рейнольдса визначається за формулою [4]:

$$\mathrm{Re} = \frac{W \cdot d_э}{\upsilon}$$

де W – швидкість газу, м/с;

υ – коефіцієнт кінематичної в'язкості м^2/с.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості визначається за формулою:

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho_г}, \text{ м}^2/\text{с}$$

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості газової суміші, Па·с;

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

Динамічна в'язкість окремих компонентів, що входять до складу газів, за робочих умов:

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273 + C}{T + C} \cdot (\frac{273 + t}{273})^{1,5}$$

$$\mu_{o_2} = 20,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+131}{473+131}\left(\frac{273+200}{273}\right)^{1,5} = 31 \cdot 10^{-6}\ Па \cdot с$$

$$\mu_{co} = 25,3 \cdot 10^{-6}\ Па \cdot с \qquad \mu_{co_2} = 20,9 \cdot 10^{-6}\ Па \cdot с$$

$$\mu_{N_2} = 25,9 \cdot 10^{-6}\ Па \cdot с \qquad \mu_{H_2} = 12,84 \cdot 10^{-6}\ Па \cdot с$$

Молярна маса газової суміші:

$$M = \sum a_i \cdot M_i = (53,5 \cdot 28 + 1,5 \cdot 32 + 29 \cdot 28 + 12 \cdot 44 + 4 \cdot 2) \cdot 0,01 = 28,94 \quad кг / моль$$

Динамічну в'язкість газової суміші визначаємо з виразу:

$$\frac{M}{\mu} = \sum \frac{a_i \cdot M_i}{\mu_i}$$

$$\frac{M}{\mu} = 0.01 \cdot \left(\frac{53,5 \cdot 28}{25,9 \cdot 10^{-6}} + \frac{1,5 \cdot 32}{31 \cdot 10^{-6}} + \frac{12 \cdot 44}{20,9 \cdot 10^{-6}} + \frac{29 \cdot 28}{25,3 \cdot 10^{-6}} + \frac{4 \cdot 2}{12,84 \cdot 10^{-6}} \right) = 1,17 \cdot 10^6$$

$$\mu = M / \frac{M}{\mu} = 24,7 \cdot 10^{-6}\ \ Па \cdot с$$

$$\upsilon = \frac{24,7 \cdot 10^{-6}}{2,13} = 11,6 \cdot 10^{-6}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{0,6 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}}{11,6 \cdot 10^{-6}} = 7,76$$

Отримане значення числа Рейнольдса знаходиться в інтервалі значень 1-10, для якого згідно з таблицею 2.1 слід приймати A=26,5 і n=0,8 [5].

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів A і n

Re	<0,1	0,1-1,0	1,0-10	10-100	100-800	100-1000
A	24	26,9	26,5	16,8	6,1	5,8
n	1,0	0,95	0,8	0,6	0,38	0,37

З урахуванням коефіцієнтів швидкість витання частинок визначається:

$$W = \left(\frac{g \cdot \rho_ч \cdot d_э^{n+1}}{0{,}75K \cdot A \cdot \rho_г \upsilon^n} \right)^{\frac{1}{2-n}}$$

де g – прискорення сили тяжіння, м/с^2;

K – коефіцієнт форми частинок пилу, K=1,2;

$$W = \left(\frac{9{,}81 \cdot 3500 \cdot (0{,}15 \cdot 10^{-3})^{1{,}8}}{0{,}75 \cdot 1{,}2 \cdot 26{,}5 \cdot 2{,}13 \cdot (11{,}6 \cdot 10^{-6})^{0{,}8}} \right)^{\frac{1}{2-0{,}8}} = 0{,}818 \quad м/с$$

Обчислимо значення числа Рейнольдса за швидкості витання частинок пилу W = 0,818 м/с:

$$\mathrm{Re} = \frac{0{,}818 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{-3}}{11{,}6 \cdot 10^{-6}} = 8{,}5.$$

Отримане значення Рейнольдса відповідає прийнятим значенням коефіцієнтів A і n, що дозволяє закінчити обчислення швидкості вітання.

Прийнявши середню швидкість газу в пиловловлювачі U=W, обчислимо необхідну площу перерізу пиловловлювача:

$$F = \frac{V_г}{U}$$

$$F = \frac{43{,}3}{0{,}818} = 53 \quad м^2 .$$

Використовуючи отримані значення U і V можна визначити діаметри пиловловлювача D і d:

$$U = \frac{4V}{\pi\left(D^2 - d^2\right)} \text{ или } F = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - d^2\right).$$

При цьому необхідно, щоб швидкість газу в центральному газоході приблизно в 10 разів перевищувала швидкість у корпусі пиловловлювача. Висота апарату зазвичай перевищує його діаметр у 1,5-2 рази. Прийнявши $D^2/d^2=10$, отримаємо, що площа перерізу пилеотделителя, м^2:

$$F = \frac{\pi}{4}\left(10d^2 - d^2\right) = \frac{9\pi d^2}{4}$$

Отже,

$$d = \sqrt{\left(\frac{4F}{9\pi}\right)} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 53}{9 \cdot 3{,}14}\right)} = 2{,}74 \quad м$$

$$D = \left(10d^2\right)^{0{,}5} = \left(10 \cdot 2{,}74^2\right)^{0{,}5} = 8{,}7 \quad м$$

Висота циліндричної частини пиловловлювача:

$$H = 2D = 2 \cdot 8{,}7 = 17{,}4 \quad м$$

Ефективність роботи радіального пиловловлювача становить 60%. Запиленість після радіального пиловловлювача складе, г/м^3:

$$z_{\tilde{a}} = z_1(1-\eta) = 50(1-0{,}6) = 20.$$

Розрахунок скрубера Вентурі

Вихідні дані:

- витрата газів за нормальних умов V_0 = 69,4 м^3/с;
- температура газів t = 200 °С;
- тиск перед газоочищенням Р = 180-0,15 кПа;
- щільність газу за нормальних умов ρ_0 = 1,33 кг/м^3;
- концентрація пилу в газі на вході в газоочищення Z_1 = 20 г/м^3;
- напір води, що надходить на зрошення води $Р_ж$ = 300 кПа;
- концентрація пилу у газі на виході з апарату Z_2 = 1 г/м^3.

Необхідний ступінь роботи апарату:

$$\eta = 1 - \frac{Z_2}{Z_1} = 1 - \frac{1}{20} = 0{,}95.$$

Число одиниць перенесення:

$$N_ч = \ln\frac{1}{1-\eta} = \ln\frac{1}{1-0{,}95} = 3.$$

Питома енергія, що витрачається на пиловловлення:

$$N_ч = B \cdot K_o^x,$$

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

$No = 3 = 0{,}1925 \cdot K_o^{0{,}3255}$, звідси $К_о$ = 4615 кДж/ 1000 м^3 [5].

Загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі:

$$\Delta P = K_ч - P_в \cdot m_в = 4615 - 300000 \cdot 0{,}001 = 4315 Па .$$

Щільність газів на вході в трубу Вентурі за робочих умов:

$$\rho_г = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (B - P_г)}{(273 + T_1) \cdot 101{,}3} = 1{,}33 \cdot \frac{273 \cdot (101{,}3 + 180 - 0{,}15)}{(273 + 200) \cdot 101{,}3} = 2{,}13 \text{ кг/м}^{3\cdot}$$

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

$$V_1 = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho_1} = \frac{69{,}4 \cdot 1{,}33}{2{,}13} = 43{,}3 м^3 / с.$$

Масова витрата води на зрошення:

$$M_в = m_в \cdot V_1 = 1 \cdot 43{,}3 = 43{,}3 кг / с$$

Температура газів на виході із труби Вентурі:

$$T_2 = (0{,}133 - 0{,}041 \cdot m_в) T_1 + 35 = (0{,}133 - 0{,}041 \cdot 1) \cdot 200 + 35 = 53{,}4 °C.$$

Щільність газів на виході із труби Вентурі:

$$\rho_2 = \rho_0 \frac{273 \cdot (P_{бар} \pm P_г - \Delta P)}{(273 + T_2) \cdot 101{,}3} = 1{,}33 \cdot \frac{273 \cdot (101{,}3 + 180 - 0{,}5 - 4{,}3)}{(273 + 53{,}4) \cdot 101{,}3} = 2{,}73 \text{ кг/м}^3.$$

Об'ємна витрата газів на виході з труби Вентурі:

$$V_2 = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho_2} = \frac{69{,}4 \cdot 1{,}33}{2{,}73} = 33{,}8 м^3 / с.$$

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

Діаметр циклону-каплеуловлювача, м:

$$D = 1{,}13\sqrt{\frac{V_2}{\omega_ц}} = 1{,}13\sqrt{\frac{33{,}8}{5}} = 2{,}9м \quad .$$

Приймаємо циклон зі стандартним розміром $Д_ц$ = 2400 мм.

За результатами розрахунку вибираємо для очищення після труби Вентурі 2 циклону КЦТ-2400 із опором 350 кПа.

Гідравлічний опір труби-розпилювача, Па:

$$\Delta P_T = \Delta P - \Delta P_ц = 4315 - 350 = 3965Па\,.$$

Коефіцієнт опору труби Вентурі:

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=0,15, а емпіричні коефіцієнти А = 0,63 $В_1$ = -0,3.

$$\xi_2 = A \cdot \xi_c \cdot m_в^{B_1} = 0{,}63 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}001^{-0{,}3} = 0{,}75\,.$$

Необхідна швидкість у горловині труби Вентурі:

$$W_г = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_T}{\xi_1 \cdot \rho_2 + \xi_2 \cdot \rho_в \cdot m_в}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3965}{0{,}15 \cdot 2{,}73 + 0{,}75 \cdot 1000 \cdot 0{,}001}} = 82{,}7м/с\,.$$

Діаметр горловини труби Вентурі:

$$d_г = 1{,}13\sqrt{\frac{V_г}{W_г}} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{33{,}8}{82{,}7}} = 0{,}72м\,.$$

Приймається діаметр горловини труби Вентурі рівним 420 мм, що відповідає марці труби ГВПВ-0,140-01. Кількість труб – 2 шт.

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

$$W_г = \frac{1{,}13^2 \cdot V_г}{n \cdot d_г^2} = \frac{1{,}13^2 \cdot 33{,}8}{2 \cdot 0{,}42^2} = 122 м/с .$$

Розрахунок скрубера Вентурі

Вихідні дані:

- витрата газів за нормальних умов V_0 = 69,4 м^3/с;
- температура газів t = 53 °С;
- тиск перед газоочищенням Р = 176 кПа;
- щільність газу за нормальних умов ρ_0 = 1,33 кг/м^3;
- концентрація пилу в газі на вході в газоочищення Z_1 = 1 г/м^3;
- напір води, що надходить на зрошення води $Р_ж$ = 300 кПа;
- концентрація пилу у газі на виході з апарату Z_2 = 0,01 г/м^3.

Необхідний ступінь роботи апарату:

$$\eta = 1 - \frac{Z_2}{Z_1} = 1 - \frac{0{,}1}{1} = 0{,}9 .$$

Число одиниць перенесення:

$$N_ч = \ln \frac{1}{1-\eta} = \ln \frac{1}{1-0{,}9} = 2{,}3.$$

Питома енергія, що витрачається на пиловловлення:

$$N_ч = B \cdot K_ч^x ,$$

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

$N_ч = 2,3 = 0,1925 \cdot K_ч^{0,3255}$, звідси $К_ч$ = 2040 кДж/ 1000 м^3.

Загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі:

$$\Delta P = K_ч - P_в \cdot m_в = 2040 - 300000 \cdot 0,001 = 1740 Па.$$

Щільність газів на вході в трубу Вентурі за робочих умов:

$$\rho_г = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (B - P_г)}{(273 + T_1) \cdot 101,3} = 1,33 \cdot \frac{273 \cdot (101,3 + 176)}{(273 + 53) \cdot 101,3} = 3,05 \text{ кг/м}^3.$$

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

$$V_1 = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho_1} = \frac{69,4 \cdot 1,33}{3,05} = 30,26 м^3 / с.$$

Масова витрата води на зрошення:

$$M_в = m_в \cdot V_1 = 1 \cdot 30,26 = 30,26 кг / с.$$

Температура газів на виході із труби Вентурі:

$$T_2 = (0,133 - 0,041 \cdot m_в) T_1 + 35 = (0,133 - 0,041 \cdot 1) \cdot 53 + 35 = 40°C.$$

Щільність газів на виході із труби Вентурі:

$$\rho_2 = \rho_0 \frac{273 \cdot (P_{бар} \pm P_г - \Delta P)}{(273 + T_2) \cdot 101,3} = 1,33 \cdot \frac{273 \cdot (101,3 + 176)}{(273 + 40) \cdot 101,3} = 3,18 \text{ кг/м}^3.$$

Об'ємна витрата газів на виході з труби Вентурі:

$$V_2 = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{\rho_2} = \frac{69{,}4 \cdot 1{,}33}{3{,}18} = 29 м^3 / с.$$

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

Діаметр циклону-каплеуловлювача, м:

$$D = 1{,}13\sqrt{\frac{V_2}{\omega_ц}} = 1{,}13\sqrt{\frac{29}{5}} = 2{,}72 м \quad .$$

Приймаємо циклон зі стандартним розміром $Д_ц$ = 2400 мм.

За результатами розрахунку вибираємо для очищення після труби Вентурі 2 циклону КЦТ-2400 із опором 350 кПа.

Гідравлічний опір труби-розпилювача, Па:

$$\Delta P_T = \Delta P - \Delta P_ц = 1740 - 350 = 1390 Па .$$

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=0,15, а емпіричні коефіцієнти А = 0,63 $В_1$ = -0,3 [5].

$$\xi_2 = A \cdot \xi_c \cdot m_в^{B_1} = 0{,}63 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}001^{-0{,}3} = 0{,}75 .$$

Необхідна швидкість у горловині труби Вентурі:

$$W_г = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_T}{\xi_1 \cdot \rho_2 + \xi_2 \cdot \rho_в \cdot m_в}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1390}{0{,}15 \cdot 3{,}18 + 0{,}75 \cdot 1000 \cdot 0{,}001}} = 47{,}6 м / с .$$

Діаметр горловини труби Вентурі:

$$d_г = 1{,}13\sqrt{\frac{V_г}{W_г}} = 1{,}13 \cdot \sqrt{\frac{29}{47{,}6}} = 0{,}88 м .$$

Приймається діаметр горловини труби Вентурі рівним 420 мм, що відповідає марці труби ГВПВ-0,140-01. Кількість труб – 2 шт.

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

$$W_г = \frac{1{,}13^2 \cdot V_г}{n \cdot d_г^2} = \frac{1{,}13^2 \cdot 29}{2 \cdot 0{,}42^2} = 87{,}4 м/с .$$

Розріз системи очищення колошникового газу домених печей наведено на рис. 2.5.

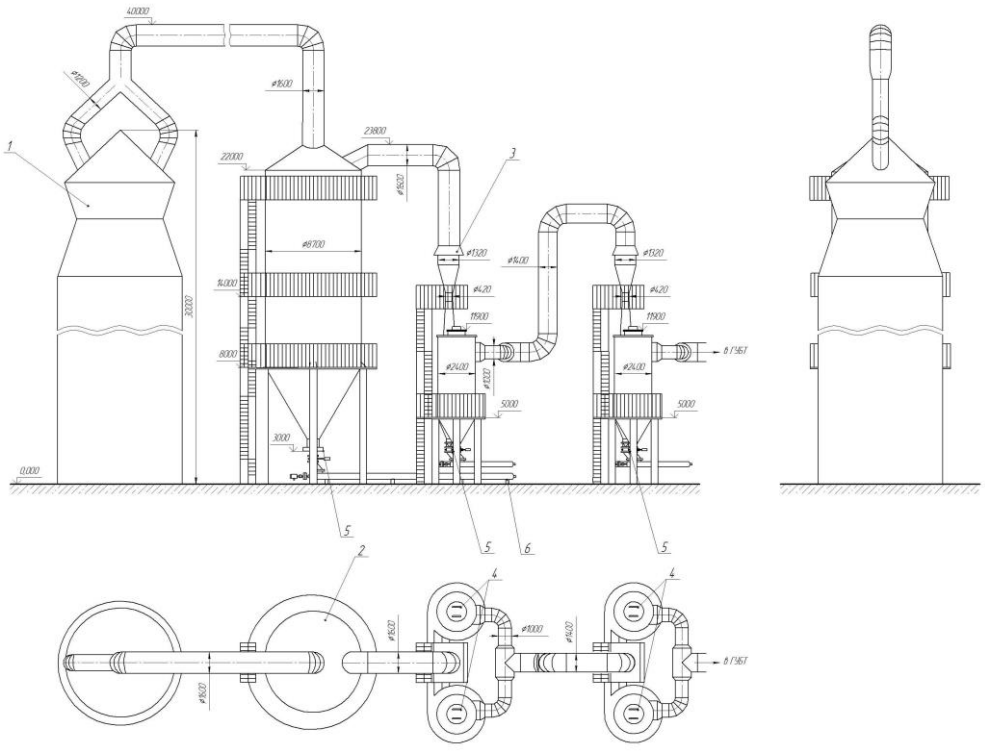


Рисунок 2.5 – Розріз системи очищення колошникового газу домених печей: 1 – доменна піч; 2 – радіальний пиловловлювач; 3 – труба Вентурі (ГВПВ-0.140-01, 4 шт.); 4 – краплеуловлювач (КЦТ-2400, 4 шт.); 5 – механізм видалення пилу; 6 – шнековий конвейер

Трубу Вентурі ГВПВ-0,140-01 наведено на рис. 2.6.

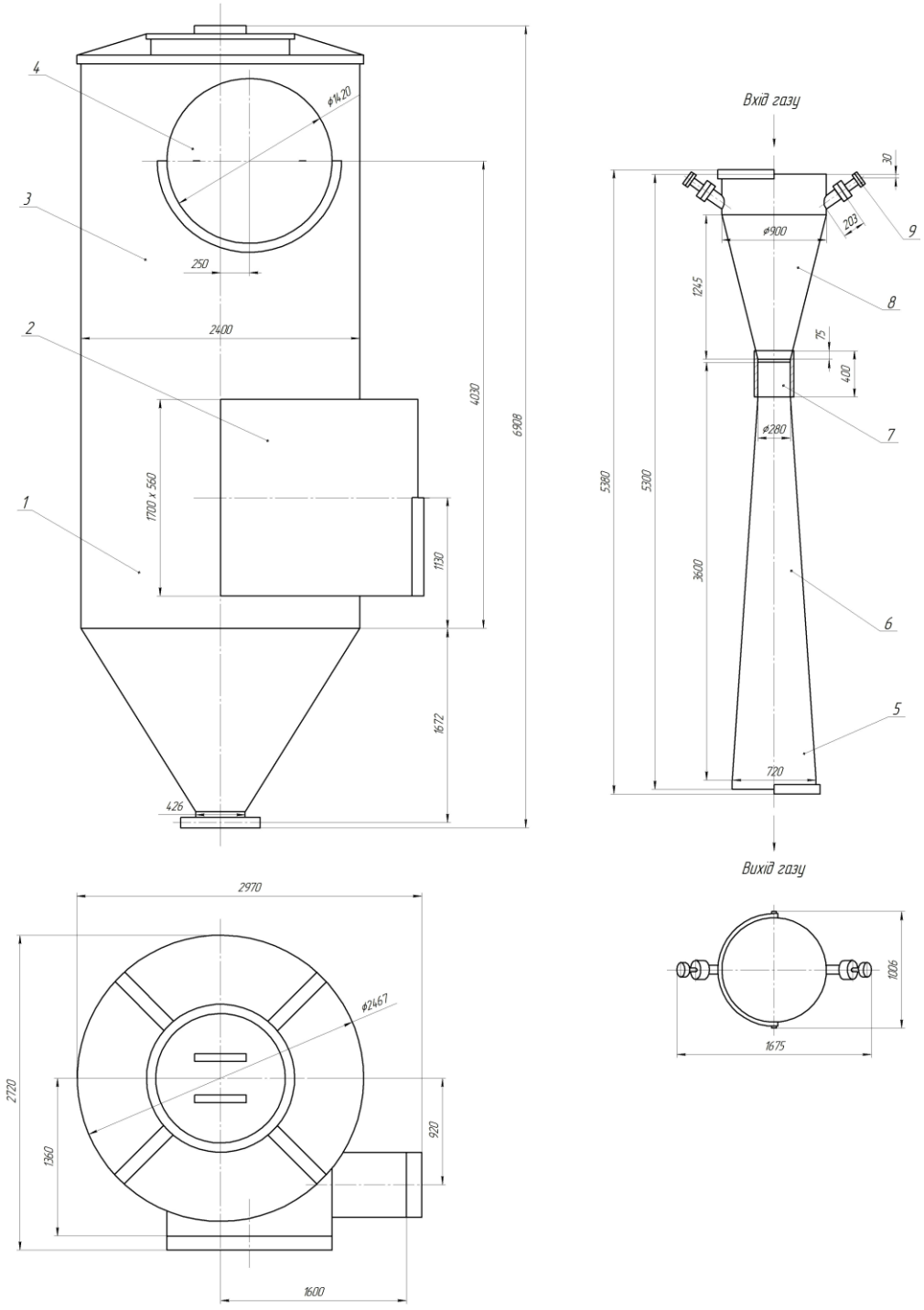


Рисунок 2.6 – Труба Вентурі ГВПВ-0,140-01: 1 – краплевловлювач; 2 – вхідний патрубок газу; 3 – корпус краплевловлювача; 4 – вихідний патрубок газу; 5 – труба Вентурі; 6 – дифузор; 7 – горловина; 8 – конфузор; 9 – штуцер підведення зрошувальної рідини.

2.2.3 Розрахунок аеродинамічного опору газовідвідного тракту

Аеродинамічну схему очищення колошникового газу доменних печей наведено на рис. 2.8.

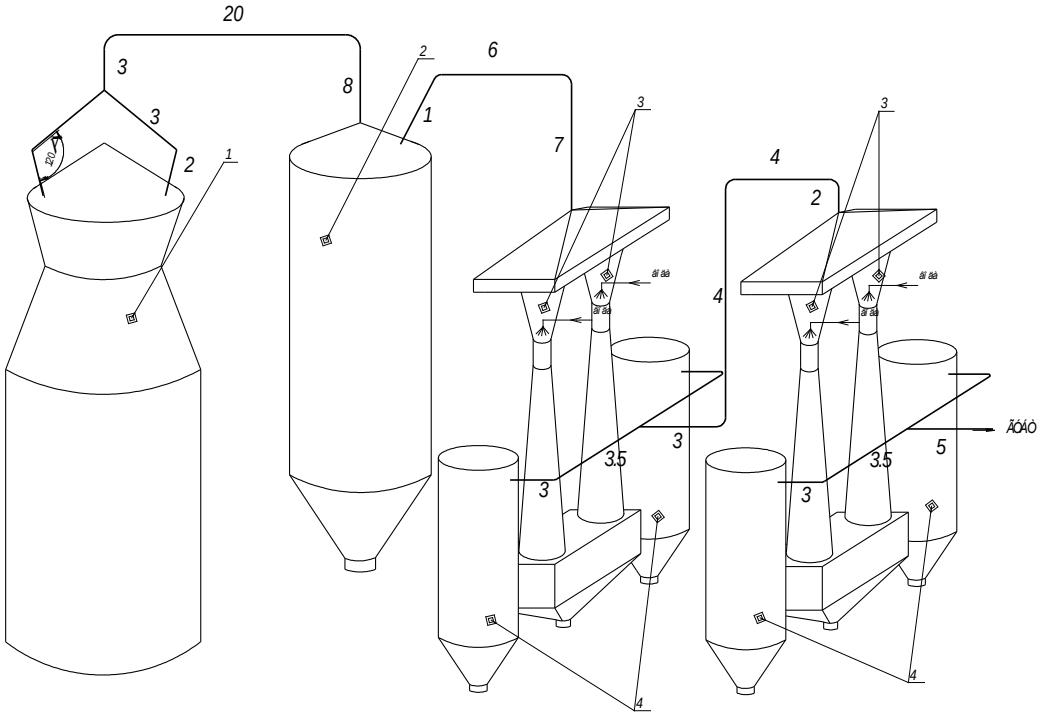


Рисунок 2.7 – План очищення колошникового газу доменних печей:
1 – доменна піч; 2 – радіальний пиловловлювач; 3 – труба Вентурі;
4 – краплеуловлювач

Загальний ступінь очищення складає:

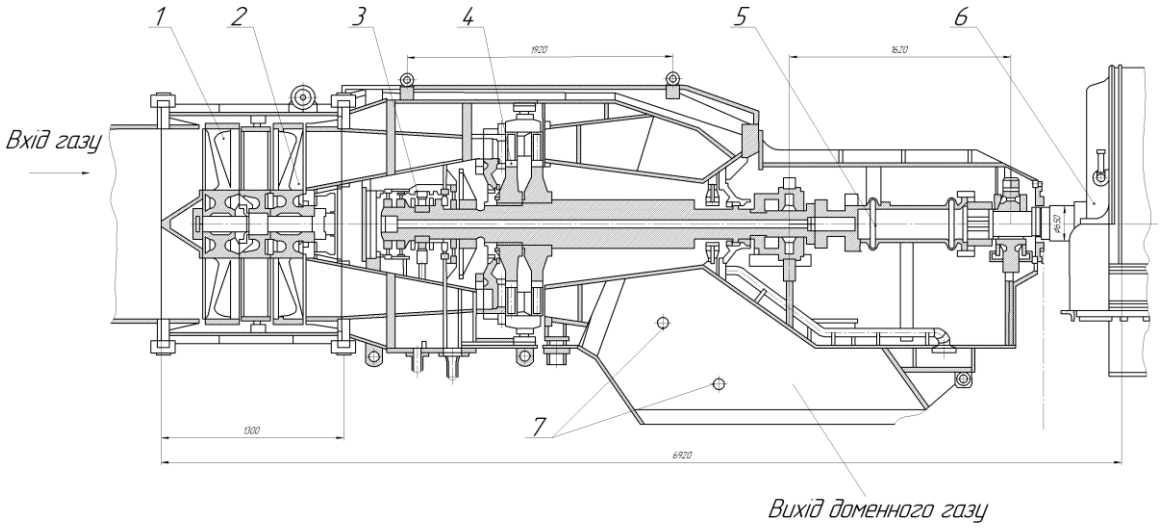
$$\eta = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1} = \frac{50 - 0.1}{50} 100 = 99.8\% .$$

Після радіального пиловловлювача стоїть напівтонке очищення в скрубері Вентурі, який складається з двох труб Вентурі ГВПВ-0,140-01 і двох краплеуловлювачів КЦТ-2400. Наступний тонкий ступінь очищення такий самий, як і попередній.

Після очищення газ направляється до ГУБТ із тиском 170 кПа [5].

Результати аеродинамічного розрахунку газоочищення наведено у таблиці 2.2.

ГУБТ -8 наведено на рис. 2.8. Приміщення ГУБТ наведено на рис. 2.9.



1 – регулюючий апарат; 2 – відсічний пристрій; 3 – підшипник; 4 – направляючий апарат; 5 – муфта; 6 – генератор; 7 – форсунка

Рисунок 2.8 – ГУБТ -8

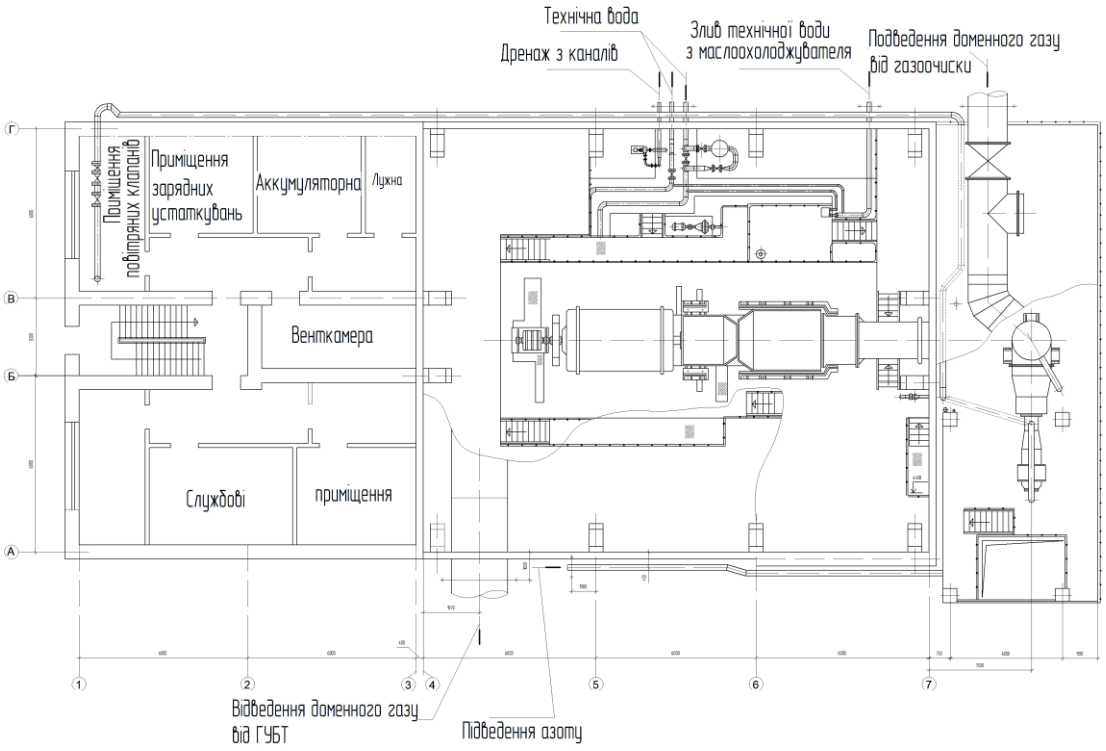


Рисунок 2.9 – Приміщення ГУБТ

Таблиця 2.2 – Результати аеродинамічного розрахунку газоочищення

№ ділянки	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
1	Піч-злиття	21,65	2,13	1,2	19,2	5	1) поворот 2) Злиття	0,15 0,3	50	177	180923
2	злиття-радіальний пиловловлювач	43,3	2,13	1,6	21,5	31	1) 2 повороти 2) дифузор	0,48 0,35	287	409	180696 -150
3	радіальний пиловловлювач -скруббер Вентурі	43,3	2,13	1,6	21,5	14	1)плавний поворот 2) поворот 3) вхід у СВ	0,38 0,24 0,94	130	768	179850 -4315
4	скрубер Вентурі-злиття	16,9	2,73	1	21,5	6,5	1) вихід із СВ 2) поворот 3) злиття	0,5 0,24 0,3	123	657	174637
5	злиття-скруббер Вентурі	30,26	3,05	1,4	19,17	13	1)3 повороти 2) вхід у СВ	0,72 0,94	157	930	173857 -1740
6	скрубер Вентурі-злиття	14,5	3,18	1	18,47	6,5	1) вихід із СВ 2) поворот 3) злиття	0,5 0,24 0,3	106	565	171030
7	злиття-ГУБТ	29	3,18	1,4	18,8	6			73		170359

ΣP = -170286 Па

2.3 Утилізація пилу

Залізовмісні пилу утилізують. Транспортування пилу здійснюють сухим способом. При сухих методах використовують пневмо- і механічний транспорт чи його комбінацію. Пил, що транспортується, надходить або в окомковальную установку, або в автомобільні або залізничні ємності для відправки на переробку або в відвал. З пилу сухих газоочисток готують котуни.

Розроблена система для збору пилу передбачає постійне вивантаження пилу з накопичувальних бункерів кожної секції. Відключення бункера від пиловловлювальної системи здійснюється за допомогою дискових затворів. Виловлений пил транспортується скребковими транспортерами до загального бункера-накопичувача. Пересипання пилу з довгих бункерів в поперечний здійснюється через шлюзові живильники. Пил подається на чашковий окомковувач, який наведено на рис. 2.9, за допомогою живильника, до якого підведена технічна вода. Пил змішується з водою у визначеній пропорції, утворюючи окатиші заданого діаметра.

2.4 Техніко-економічне обґрунтування очищення газів доменного цеху

Економічне обґрунтування доцільності прийнятих рішень зводиться до розрахунку і порівнянні техніко-економічних показників за варіантами. Економія на витратах з очищення виходить за допомогою запропонованих рішень та рекомендується як першорядного чинника для обґрунтування ефективності заходів.

Економічне обґрунтування доцільності прийнятих рішень зводиться до розрахунку і зіставлення техніко-економічних показників по варіантах. Річний економічний ефект [6]:

$$Э_г = \left[\left(C^б_{уд} + E_н \cdot K^б_{уд}\right) - \left(C^п_{уд} + E_н \cdot K^п_{уд}\right)\right] \cdot П^П, \text{ грн,}$$

де $С^б_{уд}$ і $С^п_{уд}$ – витрати на 1000 м^3 газу, що очищається, відповідно по базовому і проєктному варіантам, грн.;

$К^б_{уд}$ і $К^п_{уд}$ – відповідно питомі капітальні вкладення по базовому і проєктному варіантам, грн.;

$Е_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, грн./грн;

$П^П$ – річна виробнича потужність газоочисної установки по проєктному варіанту, м^3.

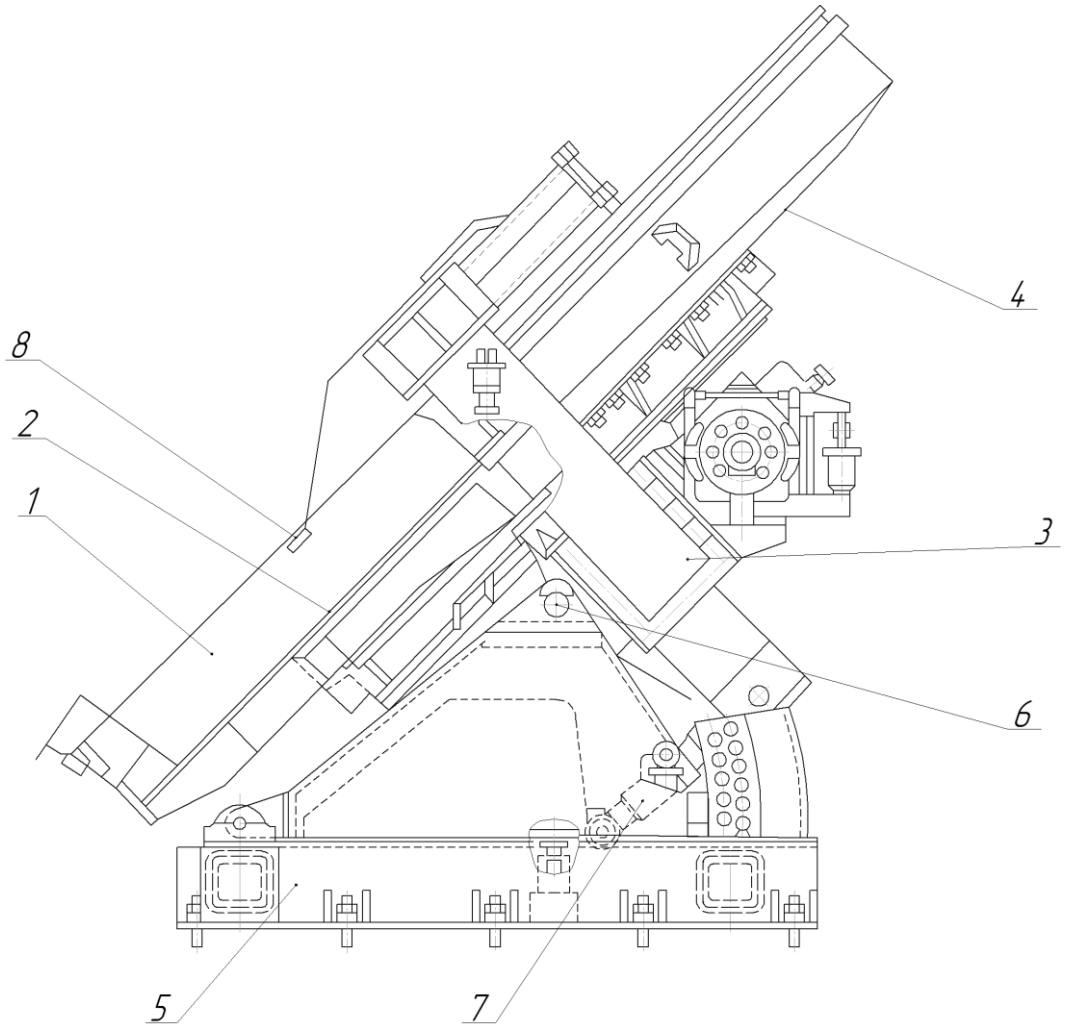


Рисунок 2.9 – Чашковий окомковувач: 1 – чаша; 2 – зубчастий вінець; 3 – вал; 4 – кришка; 5 – станина; 6- шарніра; 7 – гідродомкрат; 8 – форсунки

Розрахунковий термін окупності визначається по формулі:

$$T_{ок.р.} = \frac{K^{П}}{(C^{Б}_{уд} - C^{П}_{уд})П^{П}}, \text{ роки.}$$

Розраховані основні техніко-економічні показники очищення колошникового газу. Так, строк окупності склав 3,20 років, а коефіцієнт ефективності вкладень 0,31 грн/грн. рік.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

3.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників доменного виробництва

При виробництві чавуну постійно виникають відхилення від нормальних параметрів, що знижують рівень безпеки процесів і що призводять до виникнення небезпечних виробничих чинників З санітарно-гігієнічної точки зору умови роботи на робочому майданчику доменної печі в ливарному дворі характеризуються:

- виділенням великим кількостей тепла, пилу і газів при операціях оброблення отворів чавунної і шлакової льоток (особливо пропалювання їх киснем), випуск шлаку і чавуну з доменної печі;

- забрудненням повітряного середовища окислом вуглецю, сірчистим газом, різними вуглеводами і ціаністими з'єднаннями; джерелами виділень газів можуть з'явитися також тріщини в кладці і кожусі доменної печі, нещільності з'єднань окремих елементів конструкцій, при згоранні коксу, що закидається в жолоби і ковші з чавуном; у районі чавунного жолоба і в цілому на чавунній стороні ливарного двору при випуску чавуну збільшуються концентрації окислу вуглецю;

- запиленням повітряного середовища при прибиранні ливарного двору, підготовці чавунних і шлакових жолобів, а також в результаті конденсації розплавлених продуктів плавки частинок металу і графіту, що випаровуються з поверхні; найбільша кількість пилу виділяється в підбункерному приміщенні, де відбувається вивантаження сирих матеріалів у вагон-ваги; розповсюдження пилу в процесі випуску чавуну обмежується чавунною стороною ливарного двору і майже не впливає на шлакову сторону; у свою чергу випуск шлаку призводить до збільшення концентрації пилу на шлаковій стороні двору [7].

Основні небезпечні та шкідливі фактори наведені на рис. 3.1.

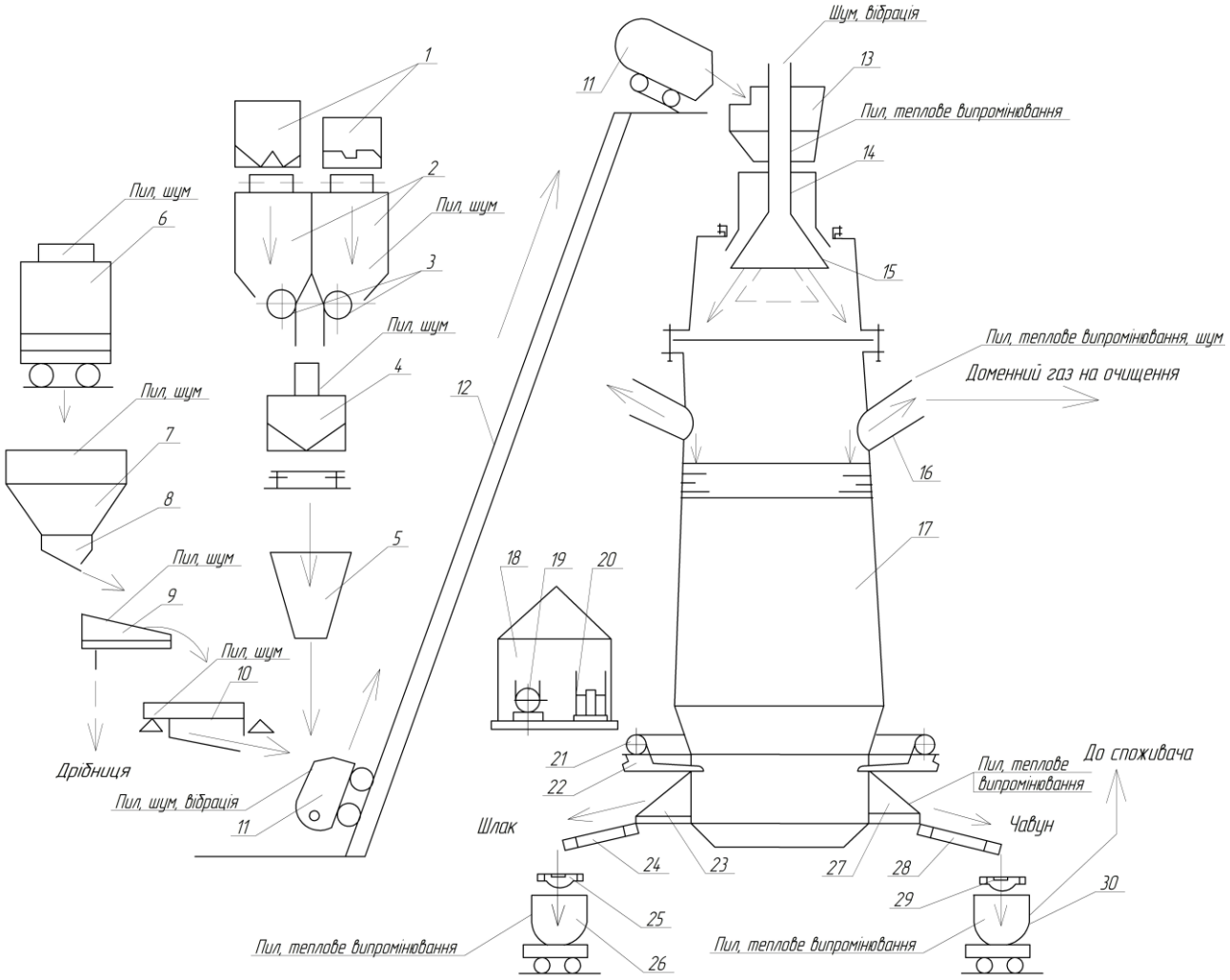


Рисунок 3.1 – Шкідливі та небезпечні фактори доменного виробництва:
1 – перевантажувальні вагони; 2 – рудні бункери; 3 – барабанні затвори;
4 – вагон-ваги; 5 – воронка; 6 – коксовий перевантажувальний вагон;
7 – коксовий бункер; 8 – горловина коксового бункера; 9 – грохот;
10 – воронка-ваги; 11 – скіп; 12 – скіповий підйомник; 13 – приймальна воронка; 14 – обертальна воронка; 15 – розподільчий пристрій;
16 – газопровід; 17 – доменна піч; 18 – машинне приміщення; 19 – скипова лебідка; 20 – лебідка; 21 – кільцевий повітряпровід; 22 – фурменний прилад;
23 – шлакова льотка; 24 – жолоб; 25 – одноносковий розлив шлаку; 26 – чаша шлакова; 27 – чавунна льотка; 28 – жолоб чавуну; 29 – одноносковий розлив чавуну; 30 – ківш чавуновозу.

На ливарному дворі (для професії горновий) мають місце наступні небезпечні і шкідливі чинники:

1) шкідливі хімічні речовини I і II класів небезпеки. Доменний газ містить монооксид вуглецю, у зв'язку з цим конструкції всього газового тракту володіють високою герметичністю і міцністю. Одному з основних заходів по попередженню можливого отруєння газами, такими як MnO_2, CO, SO_2, NO_2 і ін., є своєчасне виявлення місць їх виділення або скупчення. Ці місця є газонебезпечними й перелік таких місць і ділянок складається заздалегідь і затверджується головним інженером заводу.

2) Пил. З моменту початку випуску, джерелом пилоутворення є льотки доменної печі, біля льотки споруджено відсмоктування за допомогою якого видаляються запилені гази. У напрямі руху чавуну від льотки походить взаємодія повітря з рідким металом, внаслідок чого утворюються запилені гази. Для запобігання виділенню запилених газів в простір ливарного двору головний жолоб від льотки до скіммеру на період випуску чавуну накривається знімними укриттями. В кінці головного жолоба на скіммері відбувається розділення чавуну і шлаку. Гази, що утворилися при цьому, відбираються відсмоктуванням в районі скіммеру. Чавун і шлак по транспортних жолобах прямує на гойдаючі жолоби для чавуну і шлаку. Отвори цих жолобів укриті рухомими кришками. Відсмоктування від жолобів, що коливаються, проводиться двома огорожними отворами, виконаними в стінках отвору. З гойдаючих жолобів продукти плавки потрапляють в чавуновозні і шлаковозні ковші [8].

3) Підвищена температура повітря, інфрачервоне випромінювання. Джерелом випромінювання є розплавлені маси чавуну і шлаку, гарячий агломерат, нагріті елементи конструкцій і тому подібне. Підвищена теплова дія на організм людини приводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може викликати порушення теплового балансу організму. Крім того, різке коливання температури приводить до різних простудних захворювання [9].

Несприятливий вплив високих температур повітря посилюється дією випромінюваного тепла. Інфрачервоні випромінювання впливають на функціональний стан людини, його центральну нервову систему, серцево-судинну систему. При тривалому перебуванні людини в зоні інфрачервоного випромінювання, як і при систематичній дії високої температури, відбувається порушення водно-сольового балансу, який викликає так звану судорожну хворобу. Порушення теплового балансу викликає захворювання, зване тепловою гіпотермією або перегрівом [9].

4) Шум на ливарному дворі є наслідком проходження великих повітряних і газових потоків по шахті доменної печі, фурмам, газо- і повітропроводам. Надмірний шум заважає правильній організації і проведенню виробничих процесів і негативно позначається на продуктивності праці. Шум негативно діє на серцево-судинну і центральну нервову систему. Окрім шумових навантажень на організм людини шкідливо впливає вібрація, яка в доменному цеху створюється при русі поїздів по бункерній естакаді [8].

3.2 Заходи щодо техніки електробезпеки

Доменний цех є крупним споживачем електроенергії, він має розвинене електрогосподарство і складне електроустаткування. До першої категорії згідно Правилам пристрою електроустаткування (ПУЕ) відносять приміщення з підвищеною небезпекою – ливарний двір і піддоменник. До другої категорії відносять особливо небезпечні приміщення - тунелі, підвали, колодязі. До третьої категорії відносять приміщення без підвищеної небезпеки, що характеризуються відсутністю умов, що створюють підвищену і особливу небезпеку. До них відносяться конторські, конструкторські і інші приміщення.

На деяких ділянках доменного цеху при виконанні робіт виникає необхідність вживання переносних освітлювальних приладів, ручного

електрифікованого інструменту. При користуванні такими приладами людина може виявитися під напругою, якщо вона доторкнеться безпосередньо до струмопровідних частин або частин, що виявилися під напругою в слідстві пробою ізоляції. Тому для забезпечення безпеки при користуванні переносними світильниками місцевого і ремонтного освітлення, приладами, переносним електроінструментом у приміщеннях ливарного двору рекомендується номінальна напруга 12 В.

Передача електроенергії в доменному цеху здійснюється кабелями, причому зовнішні траси (між приміщеннями) прокладають в кабельних блоках, тунелях і галереях, а внутрішні – в кабельних каналах і трубах. Застосовують силові кабелі марок ААГ, АСГТ, АНРГ. Для, механізмів, розташованих в місцях з підвищеною температурою (електрогармата, машина для оброблення чавунної льотки, розливання чавуну і шлаку), застосовують спеціальні дроти типа РКГМ. До електропроводів механізмів, схильних до сильної вібрації, електроенергію підводять шланговими кабелями типа КРПТ і ГРШСН. Кабельні троси, прокладені на внутрішніх стінах робочого майданчика доменної печі, захищаються від прямої дії розплавленого металів і газів.

У машинних залах доменних печей місця установки лебідок і електроустаткування відділяються заскленою перегородкою.

При напрузі вище 1000В застосовують: трьохдротяну з ізольованою нейтраллю схему трифазних мереж при напрузі до 35 кВ включно. При напрузі до 1000 В в доменному цеху застосовують чотиридротяну із заземленою нейтраллю схему мереж трифазного струму (напругою 380/220 В). При цьому в чотиридротяній мережі заземлення нейтрали джерела струму (генератора, трансформатора) здійснюють з'єднанням її із заземлювачем безпосередньо або через малий опір (наприклад, через трансформатор струму), і тому таку мережу прийнято називати мережею з глухозаземленною нейтраллю. Оскільки електричні мережі, вживані в доменному цеху, мають достатньо велику довжину, і як наслідок цього,

важко забезпечити їх надійну експлуатацію (зокрема ізоляцію), то використання інших схем мереж (окрім розглянутої вище) виключається [7].

Безпека експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок забезпечується наступними захисними заходами: застосуванням ізоляції, недоступністю струмопровідних частин, блокуваннями безпеки, методами орієнтації, застосуванням малої напруги, ізоляцією електричних мереж від землі, компенсацією ємкісною складовою струму замикання на землю, вирівнюванням потенціалів і застосуванням ізолюючих майданчиків. Небезпека поразки струмом при випадковій появі робочої напруги на корпусі електроустаткування може бути ліквідований шляхом швидкого відключення пошкодженої установки від мережі. Для цієї мети використовують занулення. Разом із зануленням в трифазних чотиридротяних мережах з глухозаземленною нейтраллю, як міра захисту людини від поразки електричним струмом, використовують пристрої захисного відключення (УЗО).

3.3 Заходи пожежної безпеки

До категорії Б у доменному цеху належать виробництва, пов'язані із застосуванням горючих газів: приміщення датчиків контролю доменного газу; приміщення для зберігання балонів з аміаком; склади концентрованої аміачної води; склади кисню у балонах; газоочисні установки технологічного доменного газу; газопідвищувальні, компресорні та змішувальні станції доменного газу; газотурбінні розширювальні станції доменного газу; машинні та апаратні відділення холодильних установок; естакади та тунелі з трубопроводами доменного газу; газгольдери доменного газу; лабораторії ацетиленових станцій та ін.

До категорії Б належать також виробництва, пов'язані з обігом горючих пилів: відділення подрібнення вугілля, підземні вуглеприймальні ями, вуглеперекидачів; закриті галереї транспортування вугілля, дозувальні та

вуглерозвантажувальні установки; закриті вежі та бункери для зберігання вугілля, відділення термопідготовки вугільної шихти, галереї для її транспортування; установки для сухого уловлювання вугільного пилу; установки подачі пиловугільного палива доменні печі; відділення приготування шихти для спечених виробів (порошкова металургія); склади сажі; надбункерні галереї теплових електростанцій, та вузли пересипання вугілля та торфу, закриті розвантажувальні пристрої для вугілля та торфу, дробильні установки для вугілля та торфу та ін.

До категорії В у доменному виробництві належать машинні будівлі скіпових витягів, бункерні естакади з підбункерними приміщеннями, від поділу приготування літкової маси, відділення приготування лаку для змащування виливниць.

До категорії Г належать доменні печі, ливарні двори та піддоменники, пиловловлювачі, повітронагрівачі, будівлі розливних машин чавуну, установки придоменої грануляції шлаку, депо чищення та гарячого ремонту чавуновозних ковшів, колошникові підйомники, головний пост управління піччю, електроприміщення та машинний зал чавуну у вагони.

Клас зони доменного цеху В-Іа, оскільки утворюються вибухонебезпечні змічі горючих газів із повітрям внаслідок аварії, пошкодження чи несправності.

Усі електродвигуни, світильники, електрообладнання, що встановлюються або використовуються у вибухонебезпечних або пожежонебезпечних зонах мартенівського цеху, повинні бути належним чином промарковані для позначення ступеня їхньої захищеності.

Електроустаткування в доменному цеху вибрано з урахуванням класу вибухонебезпечної зони. Так як клас зони В-Іа, то рівень вибухозахисту електричних машин – підвищеної надійності проти вибуху, електроприладів та апаратів – підвищеної надійності.

Умови розвитку пожежі в будівлях та спорудах багато в чому

визначається ступенем їх вогнестійкості. Ступенем вогнестійкості називається здатність будівлі (споруди) в цілому чинити опір руйнуванню при пожежі. Будівлі та споруди за ступенем вогнестійкості поділяються на вісім ступенів (I, II, III, IIIа, IIIб, IV, IVа, V). Будівля доменного цеху відноситься до III ступеня - будівлі, у яких основні несучі конструкції негорючі, а ненесучі - важкозгоральні (межа вогнестійкості 0,25… 2год).

Межі вогнестійкості окремих елементів будинку доменного цеху:

– несучі стіни, стіни сходових клітин, колони – 2год;

– зовнішні стіни з навісних панелей – 0,25 год;

– плити, настили та інші несучі конструкції міжповерхових перекриттів – 0,75 год;

– внутрішні несучі стіни (перегородки) – 0,25 год;

– протипожежні стіни – 2,5 год.

У роботі із запобігання пожежам головним напрямом є пожежна профілактика – система державних та громадських заходів, що проводяться з метою попередження пожеж, створення умов для евакуації людей з палаючих будівель та швидкого гасіння пожеж.

Пожежі, що відбуваються на території доменного цеху, можуть охопити великі площі, швидко поширюватися під дією вітру, проникати у середину будівель. Тому дотримання необхідних вимог щодо утримання території доменного цеху є важливою складовою загальної системи протипожежного захисту всього підприємства та окремого цеху.

Причини виникнення пожежі в доменному цеху різноманітні: недоліки в будівельних конструкціях, спорудах, плануванні приміщень, влаштуванні комунікацій; порушення режимів технологічних процесів; неправильне проведення робіт; необережність та недбалість персоналу.

При влаштуванні доменного цеху необхідно здійснювати великий комплекс заходів щодо протипожежної безпеки.

Пожежна небезпека доменного виробництва характеризується наявністю горючих газів (коксовий, доменний, природний), горючих рідин, а

також застосуванням палива для вдування в доменну піч. Певну пожежну небезпеку становить наявність рідкого чавуну та шлаку.

Щоб уникнути утворення вибухонебезпечних сумішей у міжконусному просторі завантажувального пристрою, у нього повинна подаватися пара або інертний газ у кількостях, що виключають можливість вибуху. Подача пари або інертного газу до міжконусного простору повинна бути зблокована із завантажувальним пристроєм так, щоб без подачі пари (газу) до міжконусного простору механізми завантаження не працювали. Для доменних печей, що знову проектуються, при застосуванні завантажувальних пристроїв з гідроприводами використання в приводах горючих рідин забороняється.

Приміщення, в якому розташована розподільна установка для вдування пиловугільного палива у доменну піч, повинно мати природну та примусову вентиляцію. Розподільча установка та пилопроводи повинні бути обладнані підведенням інертного газу або пари. Витратні ємності для пиловугільного палива закритого типу повинні бути обладнані запобіжними клапанами.

Ливарні двори та піддоменники печей повинні знаходитись у критих будинках, виконаних з вогнестійких матеріалів. Повітронагрівачі доменних печей, що знову будуються і реконструюються, повинні бути обладнані приладами контролю температури кожуха в купольній і підкупольній частинах. При нагріванні кожуха повітронагрівача до температури вище 150°С негайно повинні бути вжиті заходи щодо усунення причин, що призвели до його перегріву. У разі появи тріщин і продувів повітронагрівач повинен бути відключений від повітряної та газової мереж і повинні бути вжиті заходи щодо усунення виявлених дефектів.

На газопроводах повітронагрівачів ближче до пальників повинні встановлюватися автоматичні швидкодіючі клапани безпеки, які спрацьовують при падінні газу або повітря нижче за встановлені межі. Клапани повинні бути зблоковані з сигналізаторами падіння тиску газу і

повітря. Сигналізатори мають бути звукові та світлові. Автоматичні клапани повинні мати також ручне керування. Газопроводи повинні бути обладнані приладами контролю температури кожуха в купольній та підкупольній частинах.

При нагріванні повітропроводів гарячого дуття до температури вище 200°С негайно повинні бути вжиті заходи щодо усунення причин, що призвели до їх перегріву.

Протягом усього режиму горіння повинен здійснюватись контроль за наявністю полум'я в камері горіння. У разі відриву або згасання полум'я подача газу має бути негайно припинена. Повторне запалювання газу повинно проводитися тільки після провітрювання повітронагрівача, виявлення та ліквідації несправностей. Конвеєри для подачі шихтових матеріалів бункера повинні розміщуватися в галереях, виконаних з вогнетривких матеріалів. галереї, що знову будуються і реконструюються, повинні бути обладнані пристроями для механізованого видалення пилу.

Температура пиловугільного палива у верхній частині бункера повинна контролюватись контрольно-вимірювальними приладами з подачею звукового та світлового сигналів при самозайманні у бункері. Конструкція пилопроводів і швидкість руху пилокутної аеросуміші повинні унеможливлювати відкладення в них пилу. Система пилопроводів установки має бути герметизована. Вдування пилоподібного палива та мазуту та доменну піч при несправній відсікаючій та запірній арматурі та несправних контрольно-вимірювальних приладах забороняється. Не допускаються розташування колекторів пилокутної аерозуміші та мазуту на робочому майданчику печі, а також встановлення запірної та регулюючої арматури навпроти фурм та льоток та над льотками [8].

Зупинення локомотивів під пиловловлювачами та поблизу пиловловлювачів під час випуску пилу забороняється. Колошниковий майданчик повинен мати не менше двох виходів.

Доменні печі мають бути обладнані приладами контролю температури

кожуха по всій висоті печі, показання яких мають бути виведені на пульт керування піччю.

Складування матеріалів та відходів виробництва біля основи доменної печі забороняється. Фундаменти повинні регулярно очищатися від сміття. Для контролю за прогаром повітряних фурм вони повинні бути обладнані пристроями, що сигналізують. Робота на фурменних приладах, що прогоріли, забороняється.

Засоби пожежогасіння призначені для ліквідації великих вогнищ пожеж, а також для гасіння пожеж у початковій стадії розвитку силами персоналу до прибуття штатних підрозділів пожежної охорони.

У доменному цеху переважно застосовуються автоматичні спринклерні установки водяного пожежогасіння. Спринклерні установки включаються автоматично при підвищенні температури у приміщенні. Датчиками в цих системах є спринклер, легкоплавкий замок яких відкривається при підвищенні температури. Спринклер, розташовані над осередком пожежі, відкриваються і подають воду в першу чергу, так як найбільша температура створюється в зоні виникнення пожежі; у разі подальшого поширення пожежі відбувається спрацювання наступних спринклерів. Вододжерелом для цих установок є господарсько-пожежний, виробничо-пожежний та інші водопроводи. Спринклерні установки мають два водоживлювачі: основний і допоміжний, що включається автоматично.

Автоматичний водоживильник (гідропневматична установка) подає воду до включення основного водоживильника. Після спрацьовування авто автоматичного водоживильника включається основний водоживильник. При недостатньому тиску в мережі повинні встановлюватися насоси-підвищувачі.

Водяна спринклерна система складається з постійно заповнених водою магістральних, поживних та розподільчих трубопроводів. На розподільчих трубопроводах встановлюються спринклери, які відкриваються під час пожежі.

Вода зі спринклерів надходить на вогнище пожежі у вигляді розпорошених водяних струменів. При розтині сплінклерів контрольно-сигнальний клапан подає сигнали на сигнальний пристрій, який у свою чергу повідомляє про спрацювання системи.

Це обладнання використовується в доменному цеху для гасіння пожеж у складських та побутових приміщеннях, а також для створення по периметру будівлі водяних завіс, що перешкоджають розповсюдженню пожеж.

Установки пінного пожежогасіння застосовуються в доменному цеху для гасіння маслопідвалів, закритих складів ЛЗР та ГР, насосних ЛЗР та ГР та ін. Основні елементи автоматичної установки пінного пожежогасіння показані на рис. 3.2. При виникненні пожежі контрольно-пусковий пристрій включає установку в роботу і передає імпульс пристрою для сигналізації про виникнення пожежі. Водний розчин піноутворювача подається під натиском до пінних генераторів, в яких розчин піноутворювача перетворюється на повітряно-механічну піну, що надходить у вогнище пожежі.

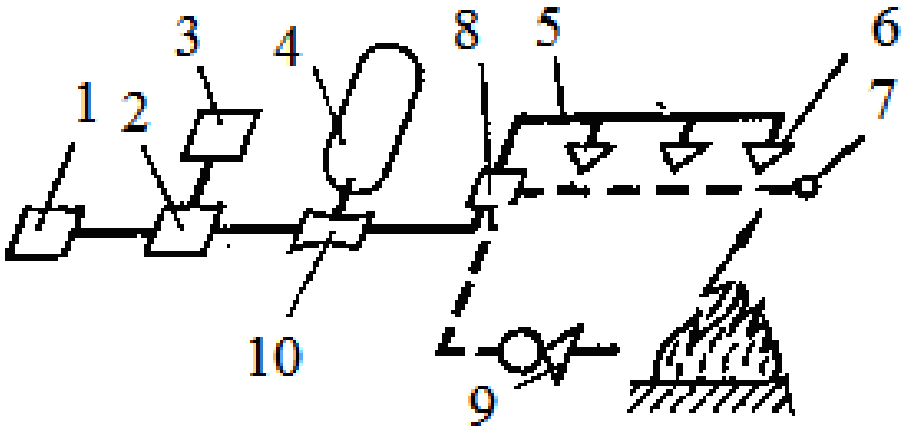


Рисунок 3.2 – Основні елементи автоматичної установки пінного пожежогасіння: 1 – вододжерело; 2 і 3 – водоживильники; 4 – піноживильник; 5 – мережа трубопроводів; 6 – пінний генератор; 7 – датчик; 8 – контрольно-пускові пристрої; 9 – сигнальний пристрій; 10 – пристрій дозування

У доменному цеху застосовуються такі види первинних засобів пожежогасіння [9]:

– вогнегасники (пінні, вуглекислотні, брометилові та порошкові)

– протипожежний інвентар: ящики з піском, покривала з негорючого теплоізоляційного матеріалу; пожежні відра; лопати для засипання піску;

– пожежні інструменти: лом, багри, сокири та ін.

При автоматичному та дистанційному управлінні доменним процесом, а також в інших випадках відсутності персоналу для можливо більш раннього виявлення пожежі, що почалася, і оповіщення необхідні автоматичні пристрої.

Установка електричної пожежної сигналізації складається з датчиків, приймальної станції з джерелами живлення та лінійної мережі. Від сповіщувачів повідомлення у вигляді електричних імпульсів передається проводами на приймальну станцію і фіксується там оптичними, акустичними чи записуючими приладами. Лінійні дроти постійно перебувають під контрольним струмом; несправність проводів виявляється автоматично. Сповіщувачі підключаються до приймальної станції за променевою або шлейфною системою.

При променевій системі кожен сповіщувач з'єднаний приймальною станцією самостійно парою проводів, при шлейфній усі сповіщувачі послідовно включені в однопровідну лінію, початок і кінець якої входять до приймального апарату. Завдяки наявності заводного механізму з кодовим колесом здійснюється посилка коду приймальний апарат.

Сповіщувачі бувають ручної дії та автоматичні; останні застосовують лише за променевої системи.

3.4 Розрахунок установки вуглекислотного пожежогасіння

Для вуглекислотного пожежогасіння потрібно визначити масу основного запасу діоксиду вуглецю для гасіння складу паливно-мастильних

матеріалів об'ємом V= 350 м^3. Категорія приміщення – А. Визначити також секундну витрату вуглекислоти і діаметр отвору насадки [10].

Маса основного запасу вуглекислоти розраховується за формулою, кг:

$$m = k_1 k_2 [k_3(A_1 + 30A_2) + 0,7V],$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує витоки через нещільність в запірній арматурі, k_1 = 1,1 [10];

k_2 – коефіцієнт, що враховує вид матеріалу, що згорає, k_2 = 1;

k_3 – коефіцієнт, що враховує витік через нещільність в огороджувальних конструкціях, приймається рівним 0,2 кг/м^2;

A_1 – сумарна площа огороджувальних конструкцій, через які можливі витоки, площа віконних і дверних отворів приміщення, що захищається, A_1=18 м^2;

A_2 – площа постійно відкритих отворів, для даного об'єму приміщення A_2 = 6 м^2.

$$m = 1,1 \cdot 1 \cdot [0,2 \cdot (18 + 30 \cdot 6) + 0,7 \cdot 350] = 313 \text{ кг}.$$

Розрахункове число балонів визначається з місткості в 40-літровий балон 25 кг вуглекислоти:

$$n = m /25 = 313/25 = 12,5 \text{ шт}.$$

З врахуванням 10% запасу приймаємо до установки 14 балонів. Повна маса вуглекислоти [10]:

$$m_5 = 25 \cdot 14 = 350 \text{ кг}.$$

Середній за час подачі тиск вуглекислоти, МПа:

$$P_м = 0,5(P_1 + P_2),$$

де P_1 – тиск в балонах при зберіганні вуглекислоти, P_1 = 2,1 МПа;

P_2 – тиск в кінці випуску розрахункової кількості діоксиду вуглецю, МПа, який визначається залежно від відносної маси вуглекислоти m_4:

$$m_4 = (m_5 - m)/m_5 = (350 – 313)/350 = 0{,}106 \text{ кг}.$$

За графіком знаходимо P_2= 1,5 МПа.

$$P_м = 0{,}5\cdot(2{,}1 + 1{,}5) = 1{,}8 \text{ МПа}.$$

Співвідношення площ постійно відкритих отворів і конструкцій, що захищають, через які можливі витоки:

$$A_2/A_1 = 6/18 = 0{,}333.$$

При співвідношенні A_2/A_1 ≥0,03 приймаємо час подачі діоксиду вуглецю в приміщення, що захищається, τ = 40 с.

Середня витрата вуглекислоти через насадку, кг/с:

$$Q = m/\tau = 313/40 = 7{,}825 \text{ кг/с}.$$

С іншої сторони, витрату через насадку можна визначити за формулою:

$$Q = 4100\cdot\mu\cdot k_5\cdot A_3\cdot\exp(0{,}88P'),$$

де μ – коефіцієнт витрати через насадку, приймаємо рівним 0,95;

k_5 – коефіцієнт, що залежить від тиску;

A_3 – площа горловини насадки, м^2;

P' – середній тиск в магістральному трубопроводі, розташованому в

приміщенні, що захищається, МПа.

$$P' = P_м - \Delta P,$$

де ΔP – втрати тиску в магістралі підведення вуглекислоти. Приймаємо ΔP=0,35 МПа [10].

$$P' = 1,8 - 0,35 = 1,45 \text{ МПа};$$

$$k_5 = 0,93 + 0,03/(1,025 - 0,5P') = 0,93 + 0,03/(1,025 - 0,5\cdot1,45) = 1,03;$$

$$A_З = Q/4100\mu k_5 \exp(0,88P') = 7,825/4100\cdot0,95\cdot1,03\exp(0,88\cdot1,45) =$$
$$= 0,55\cdot10^{-3}м^2 = 5,5см^2.$$

Діаметр горловини насадки, см:

$$d_o = \sqrt{\frac{4A_З}{\pi}} = \sqrt{\frac{4\cdot5,5}{3,14}} = 2,65 \text{ см}.$$

ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі розглянута будівля доменного цеху, описана двуконусна доменна піч. Розглянуто технологію доменного процесу, визначені вимоги до якості виплавляємого чавуну.

2. У кваліфікаційній роботі запропоновано нове комплексне високоякісне очищення доменного газу в скрубері Вентурі із подальшим використанням енергії газу в газовій безкомпресорній утилізаційній турбіні (ГУБТ). Очищенню підлягають колошникові гази з витратою 250 000 $м^3$/год і температурою 200^0С. Перше грубе очищення відбувається в радіальному пиловловлювачі, ефективність якого 65-75%. Газ під дією сил інерції очищається від часток пилу більше 100 мкм. Таке очищення забезпечує зниження запиленості газу з 50 г/$м^3$ до 20 г/$м^3$. Напівтонке очищення газу здійснюється в скрубері Вентурі,що складається з двох труб Вентурі ГВПВ-0,140-01 і двох краплеуловлювачів КЦТ-2400, що забезпечує зниження запиленості газу з 20 г/$м^3$ до 1 г/$м^3$. Тонке очищення газу, таке саме, як і попереднє, забезпечує зниження запиленості газу з 1 г/$м^3$ до 0,01 г/$м^3$. Ефективність очищення 99,9 %. Таке очищення забезпечує зниження запиленості газу до 0,01 мг/$м^3$, що відповідає вимогам по очищенню газу для використання його в ГУБТ. Після очищення газ направляється до ГУБТ із тиском 170 кПа. За результатами розрахунку вибрана ГУБТ-8.

3. Зроблено аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту, загальний гідравлічний опір якого склав 170 286 Па.

4. Запропоновано доменний газ після ГУБТ використовувати як паливо для заводських потреб, в т.ч. як паливо для доменної печі. А пил повертати назад у доменне виробництво, оскільки він містить близько 60 % цінного компоненту (оксид заліза), що дозволяє економити сировинні матеріали. Розроблена система для збору пилу передбачає постійне вивантаження пилу з накопичувальних бункерів кожної секції. Відключення бункера від пиловловлювальної системи здійснюється за допомогою дискових затворів.

Виловлений пил транспортується скребковими транспортерами до загального бункера-накопичувача. Пересипання пилу з довгих бункерів в поперечний здійснюється через шлюзові живильники. Пил подається на чашевий окомковувач за допомогою живильника, до якого підведена технічна вода. Пил змішується з водою у визначеній пропорції, утворюючи окатиші заданого діаметра. Готові окатиші збираються в окомковувачі і через нижній край пересипаються по ринві на елеватор. За допомогою елеватора окатиші завантажуються в бункер-накопичувач, звідки через телескопічну тічку за допомогою скребкового конвеєра вивантажуються у залізничний вагон. Річна кількість утилізованого пилу складає 36 775,9 т.

4. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори, які існують у доменному цеху, складено карту праці для горнового, розглянуто технічні рішення щодо виробничої санітарії, техніки безпеки, пожежної безпеки.

5. Розраховані основні техніко-економічні показники очищення колошникового газу. Так, строк окупності склав 3,20 років, а коефіцієнт ефективності вкладень 0,31 грн/грн. рік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гаврилко С.О. Теорія і технологія сталеплавильного виробництва. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 120 с.

2. Гаврилко С.О. Основи проектування металургійних цехів. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 92 с.

3. Самойленко Н. М., Аверченко В. І., Байрачний В. Б. Системи технологій та промислова екологія : навчальний посібник. Харків : Лідер, 2020. 212 с.

4. Павлюк Ю.С., Малишева І.В. Методичні вказівки до розрахунково графічної роботи з дисципліни «Повітродувні та насосні станції» для студентів спеціальності 7.090401 спеціалізації «Екологія та охорона навколишнього середовища». Запоріжжя, ЗДІА, 2006. 28 с.

5. Павлюк Ю.С. Методичні вказівки до розрахунку газового тракту газоочисної системи в курсових проєктах спецдисцеплін і дипломному проєктуванні для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності 7.090409. Запоріжжя, 2002. 21с.

6. Іващенко О.В. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА. Запоріжжя, 2004. 32 с.

7. Тарасов В.К. Безпека технологічних процесів і устаткування. Запоріжжя, ЗДІА, 2008. 164с.

8. Геврик Є.О. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

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

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