

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

( назва факультету )

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

( повна назва кафедри )

**Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної бакалаврської роботи

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

на тему Розробка системи сухого очищення доменного газу з використанням екологічно чистих технологій

*В. Шиндур*  
*12.01.2023*

Виконала: студентка 3 курсу, групи 6.1830-с

Щуренко Є.К.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

Керівник Белоконь К.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший бакалаврський рівень  
перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища  
(шифр і назва)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Белоконь

« 16 » 06 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Щуренко Єлизавета Костянтинівна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекта) Розробка системи сухого очищення доменного газу з використанням екологічно чистих технологій

керівник роботи (проекту) Белоконь Каріна Володимирівна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «29» 12 2022 року № 1893-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 16.06.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) об'єм газів, що поступають на очищення,  $Q_{н.у} = 220\ 000\ \text{м}^3/\text{г}$ , температура газу,  $t_r = 26,88^\circ\text{C}$ , барометричний тиск,  $V = 98\ \text{кПа}$ , початкова запиленість газів,  $z_1 = 12\ \text{г}/\text{м}^3$ , надлишковий тиск,  $P_r = 178,91\ \text{кПа}$ , густина пилу,  $\rho_{л} = 3500\ \text{кг}/\text{м}^3$ , діаметр найменших вловлюваних часток,  $d_c = 0,13\ \text{мм}$ , склад доменного газу:  $\text{CO}_2 - 11,3\%$ ,  $\text{CO} - 29\%$ ,  $\text{CH}_4 - 0,2\%$ ,  $\text{H}_2 - 4,3\%$ ,  $\text{O}_2 + \text{N} - 55,2\%$ .

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Технологічна частина. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентаційний матеріал 11 слайдів (на 11 сторінках): титульний аркуш, розріз доменного цеху, розріз доменної печі, апаратурно-технологічна схема доменного процесу, розріз системи сухого очищення доменного газу, фільтр мішечний, схема газового тракту для аеродинамічного розрахунку, результати аеродинамічного розрахунку (2 слайди), звукоізоляція посту керування скіповим підйомником, висновки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Загальна частина	Белоконь К.В., доцент	21.05.23
Технологічна частина	Белоконь К.В., доцент	28.05.23
Охорона праці та техногенна безпека	Белоконь К.В., доцент	11.06.23
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	12.06.23

7. Дата видачі завдання 29.12.2022

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	12-15.05.2023	
2	Реферат	12-15.05.2023	
3	Загальна частина	16-21.05.2023	
4	Технологічна частина	22.05-28.05.2023	
5	Охорона праці та техногенна безпека	29.05-11.06.2023	
6	Висновки	12-15.06.2023	

Студент

(підпис)

Є.К. Шуренко  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

К.В. Белоконь  
(прізвище та ініціали)

## Реферат

Кваліфікаційна робота на тему «Розробка системи сухого очищення доменного газу з використанням екологічно чистих технологій»: 78 стор., 12 табл., 7 рис., 16 джерел.

ДОМЕННИЙ ЦЕХ, ДОМЕННА ПІЧ, ЧАВУН ПЕРЕРОБНИЙ, МІШОЧНИЙ ФІЛЬТР, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПР, ГАЗОВА БЕЗКОМПРЕСОРНА УТИЛІЗАЦІЙНА ТУРБІНА.

Мета роботи – розробка системи сухого очищення доменного газу з використанням екологічно чистих технологій.

У загальній частині розглядаються особливості будови доменного цеху та доменної печі, сортамент переробного чавуну, описана технологія доменного процесу, сировинні матеріали, вимоги до якості чавуну.

У другому розділі розглянуто екологічні аспекти доменного виробництва – склад викидів, очищення газів, описана газоочисна установка. Зроблено розрахунок апаратів очищення доменного газу. Запропоновано нове комплексне високоякісне сухе очищення доменного газу в мішечному фільтрі з подальшим використанням енергії газу в газовій безкомпресорній утилізаційній турбіні. Перше грубе очищення відбувається в радіальному пиловловлювачі, ефективність якого 65-75%. Таке очищення забезпечує зниження запиленості газу з  $12 \text{ г/м}^3$  до  $4 \text{ г/м}^3$ . Тонке очищення газу здійснюється в мішечному фільтрі марки ФО-1 2250 з регенерацією зворотним продуванням очищеним газом. Ефективність тканинного фільтру 99,8 %. Таке очищення забезпечує зниження запиленості газу з  $4 \text{ г/м}^3$  до  $8 \text{ мг/м}^3$ .

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розроблені заходи щодо техніки безпеки, виробничої санітарії, електро- та пожежної безпеки. Розглянуті потенційно небезпечні і шкідливі чинники виробничого середовища. Зроблено розрахунок звукоізоляції конструкції поста керування скіповим підйомником.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Особливості будови доменного цеху.....	8
1.2 Вибір сортаменту переробного чавуну.....	9
1.3 Опис печі.....	10
1.4 Опис головної будівлі цеху.....	14
1.5 Технологія доменного процесу.....	18
1.5.1 Особливості переробного чавуну і вимоги до його якості.....	18
1.5.2 Основні сировинні матеріали .....	19
1.5.3 Технологія виробництва .....	24
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	30
2.1 Особливості доменного процесу і склад викидів.....	30
2.2 Аналіз схем очищення газів в доменному виробництві .....	33
2.3 Вибір і обґрунтування принципової схеми газоочисної установки	36
2.4 Розрахунок апаратів очищення доменного газу .....	43
2.5 Аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту .....	52
2.6 Утилізація відходів доменного виробництва .....	60
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....	64
3.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища .....	64
3.2 Технічні рішення по виробничій санітарії .....	67
3.3 Заходи щодо техніки безпеки .....	69
3.4 Пожежна безпека доменного цеху .....	70
3.5 Розрахунок звукоізоляції конструкції поста керування скіповим підйомником .....	73
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	77

## ВСТУП

Чорна металургія України є найбільш крупною галуззю, доля якої в галузевій структурі промислового виробництва складає 14,6%, а в національному продукті – близько 2%. Вона є базовою галуззю промисловості і від її стану значною мірою залежить розвиток народного господарства [1].

Найбільш ефективним засобом боротьби з викидами пилу і з шкідливими газоподібними компонентами є установка газоочисних апаратів, які дозволяють зменшити шкідливі викиди при одночасному зростанні об'ємів і інтенсифікації промислового виробництва.

У кваліфікаційній роботі пропонується замінити газоочисну систему, яка застосовується в доменних цехах за схемою: доменна піч  $\Rightarrow$  сухий інерційний пиловловлювач  $\Rightarrow$  форсуночний скруббер  $\Rightarrow$  скруббер Вентурі  $\Rightarrow$  дросельна група. Дана схема очищення, як і інші схеми мокрих газоочисток, має наступні переваги: простота конструкції, невеликі габаритні розміри, можливість використання при високій температурі і вологості газів. Проте, даній схемі, як і іншим мокрим газоочисткам, властиві і недоліки: велика витрата води на очищення газу, охолодження доменного газу в процесі очищення і отже втрати величезної кількості фізичного тепла, здобуття уловленого пилу у вигляді шламу, що утрудняє повернення у виробництво уловленого продукту, присутність вологи в газі призводить до корозії газовідводів і корпусів апаратів.

Пропонується замінити мокру газоочисну систему на сухе очищення газу в мішечному фільтрі, з подальшим використанням енергії доменного газу в газовій безкомпресорній турбіні утилізації (ГУБТ).

Така схема очищення доменного газу дозволяє повністю зберегти фізичне тепло газу і відмовитися від підігрівання газу перед ГУБТ, також це більш високе очищення газів від зважених часток, можливістю управління частками при будь-якому тиску газів, хороше очищення при малих

концентраціях зважених часток в газах, що очищаються, можливістю повної автоматизації процесу очищення газів, простота конструкції.

Технічний прогрес в чорній металургії не мислимо без вирішення проблеми захисту довкілля від забруднень. Нові технологічні процеси виробництва металу, агрегати, устаткування можуть вважатися ефективними лише в тому випадку, якщо разом із збільшенням випуску продукції, підвищенням його якості і інших техніко-економічних показників, досягається скорочення викидів у зовнішнє середовище.

Успішне рішення поставленої задачі в значній мірі залежить від якості нових проєктів заводів та цехів і закладених в них прогресивних технічних рішень. При цьому велике значення набуває економічності проєктних рішень на основі використання сучасних досягнень науки і техніки, що кінець кінцем дозволяє найраціональніше використовувати капітальні вкладення на будівництво нових, реконструкцію і технічне переозброєння доменних цехів, що діють, але морально застарілих. Це дозволяє істотно збільшити об'єм чавуну, що випускається, різко підвищити його якість при значній економії капітальних вкладень.

Мета даної кваліфікаційної роботи є: 1) використати потенційну енергію доменного газу, яка даний час не використовується з отриманням електричної енергії в ГУБТ; 2) вловити пил у сухому вигляді і оскільки пил містить близько 60% цінного компонента (оксид заліза), повернути його назад у технологічний процес. Це дозволяє підвищити ефективність доменного процесу.

## РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Особливості будови доменного цеху

Доменний цех включає:

- кілька доменних печей зі стосовним до кожної з них і розташованим поблизу їх комплексом об'єктів (ливарний двір, повітрянагрівачі з гозоповітряпроводами, система подачі шихти до колошникового завантажувального пристрою, система газоочистки і деякі інші);

- бункерну естакаду (іноді окремі естакади для кожної печі);

- систему транспортних шляхів, газопроводів і ряд загальних для цеху або декількох печей відділень – відділення розливання чавуну, склад холодного чавуну, повітродувна станція доменного дуття, відділення готування вогнетривких мас (глином'ялка) і ремонту чавуновозів і шлаковозів;

- допоміжні відділення – ремонтні майстерні, електропідстанція та ін.

Для доменних цехів характерні великий обсяг і складна система вантажопотоків. Основними лініями вантажопотоків є:

- вантажопотоки шихтових матеріалів до бункерної естакади з агломераційних фабрик, фабрик окомкування, коксохімічного цеху й ряду інших джерел постачання за межами заводу;

- вантажопотоки матеріалів від бункерної естакади до колошникового завантажувального пристрою;

- вантажопотоки збирання продуктів плавки – чавуну, шлаків, колошникового пилу;

- збирання коксового дріб'язку;

- вантажопотоки матеріалів, використовуваних при ремонтах об'єктів цеху;

- трубопровідна подача до печей кисню й природного газу й відвід колошникового газу.



Пристрій доменного цеху, характер розміщення в ньому основних об'єктів багато в чому визначаються обраною системою вантажопотоків і транспорту, і зміна цих систем істотно позначається на плануванні цеху [1].

## **1.2 Вибір сортаменту переробного чавуну що виплавляється**

Переробний чавун призначений для подальшого переділу в сталь або для переплавки в чавуноливарних цехах для виробництва відливань.

Переробний чавун залежно від призначення виготовляють: для сталеплавильного виробництва - марки П1 і П2, для ливарного виробництва – марки ПЛ1 і ПЛ2, фосфористий - марки ПФ1, ПФ2 і ПФ3, високоякісний – марки ПВК1, ПВК2 і ПВК3.

Відповідно до ГОСТ 805-80, встановлюються деякі додаткові технічні умови. Так, чавун марок ПЛ1 і ПЛ2 виготовляють з масовою долею вуглецю 4,0-4,5 %, у чавуні всіх марок масова доля міді не повинна перевищувати 0,3 %, за погодженням виробника із споживачем допускається виготовлення переробного і переробного високоякісного чавуну з масовою долею марганцю більше 1,5 %, а переробного фосфористого – більше 2,0%.

За погодженням виробника із споживачем допускається виготовлення переробного чавуну з масовою долею сірки до 0,06 %, і виготовляється чавун марок ПВК1, ПВК2 і ПВК3 з масовою долею сірки не більше 0,010 % і фосфору – не більше 0,015 %.

Вимоги до якості чавуну з боку споживачів безперервно підвищуються. Тому стандарти на чавун, що визначають його якість, періодично змінюються, в них передбачається зниження в чавуні вмісту шкідливих домішок, особливо сірки, і допустимих коливань вмісту основних компонентів.

Поліпшення умов і вдосконалення технології плавки дозволяють забезпечувати виплавку чавуну, відповідного все зростаючим вимогам до його якості [2].

### 1.3 Опис печі

Річна продуктивність доменного цеху 4 млн т переробного чавуну. Корисний об'єм доменної печі 1513 м<sup>3</sup>.

Доменна піч є піччю шахтного типу, в якій розрізняють колошник, шахту, розпар, заплечики і горн. При конструкції діаметр і висоту цих елементів вибирають головним чином на підставі аналізу даних роботи фактичних печей.

Загальний вигляд доменної печі, обладнаної двоконусним засипним апаратом, зображено на рис. 1.1. Піч спирається на фундамент 1, велика частина якого заглиблена в землю. Зовні піч поміщена в суцільний сталевий кожух 9. У середині кожуха знаходиться футерування 8, охолоджувана холодильниками, які кріпляться до внутрішньої поверхні кожуха. У нижній частині печі (горні) розташовані льотки 3 для випуску чавуну і льотки 21 для випуску шлаку. Довкола печі прокладений кільцевий футерований повітропровід 6, в який з повітронагрівачів подається гаряче дуття (повітря).

Кільцевий повітропровід служить для підведення дуття до багаточисельних розташованих по колу печі фурменним пристроєм 5, через яке дуття поступає у верхню частину горна. Вище за колошник 10 печей розташовано колошниковий пристрій. Воно включає газопроводи 15, 19, для відведення з печі доменного газу; засипний (завантажувальний) апарат і ряд інших механізмів, пов'язаних із завантаженням шихти і відведенням газу. Показані елементи засипного апарату: великий конус 11, що закриває воронку (чашу) 20; малий конус 12, що закриває воронку 17, і механізм 13, що забезпечує їх обертання; приймальна воронка 14, в яку шихтові матеріали висипають із скіпа 16 шляхом його перекидання, причому скіп доставляють на колошник по рейках похилого моста 18.

Тягар кожуха і футерування верхньої частини печі передається на фундамент через мораторне кільце 7 кожуха і колони 2. Що випускається з печі через льотки 3 рідкий чавун поступає в тих, що розташовуються на робочому

майданчику 22 чавунні жолоби 4 і по ним в чавуновозні ковші; що випускається через льотки 21 шлак по розташованих на майданчику 22 шлаковим жолобам стікає в шлаковозні ковші.

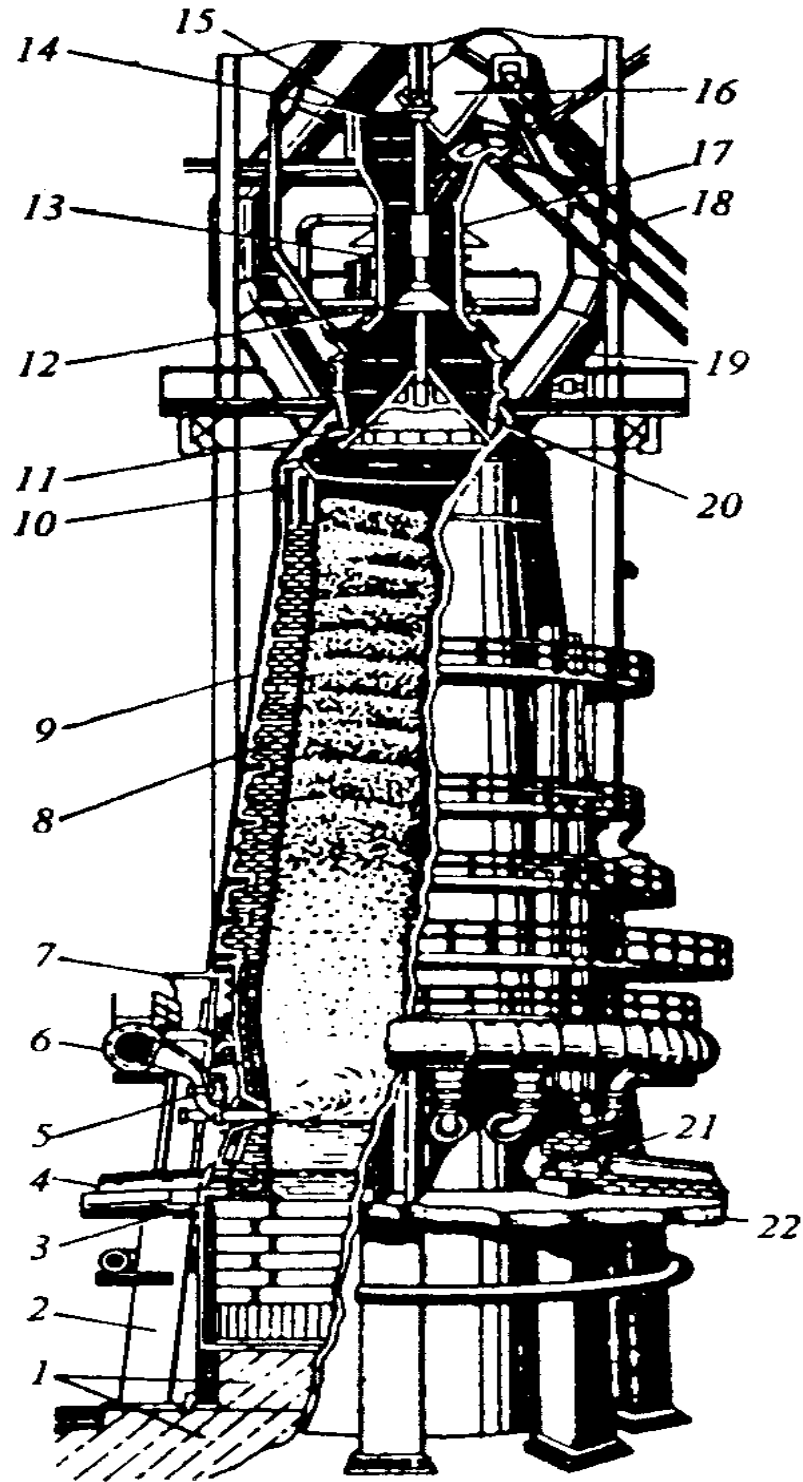


Рисунок 1.1 – Доменна піч з двоконусним засипним апаратом

Кожух доменної печі є зварною конструкцією, що складається з циліндрових і конічних поясів, виготовлених із сталевих листів. Печ має кожух з мараторним кільцем, тобто горизонтально розташованим кільцем із сталевих листів, звареним з кожухом нижньої частини шахти і верху заплечиків.

Фундамент доменної печі є її підставою і служить для передачі навантаження, створеною масою печі на ґрунт. Фундамент складається з двох частин: нижньою, підземною (підшва) і верхньою (пень). На підшву фундаменту у більшості печей спираються сталеві колони, які передають навантаження верхньої будови печі.

Основні елементи профілю доменної печі – це горн, заплечики, розпар, шахта і колошник, які складають корисний об'єм печі. Колошник має форму циліндра і служить для прийому завантаженої зверху шихти. Нижче за колошник розташована шахта, що розширюється донизу; це розширення необхідне, аби забезпечити вільне опускання шихтових матеріалів, об'єм яких збільшується в результаті нагріву. Розпар, що є коротким циліндром, служить для створення плавного переходу від шахти, що розширюється, до заплечиків, що звужуються. Заплечики виконані у вигляді усіченого конуса; така їх форма необхідна, оскільки тут відбувається плавлення рудної частини шихти, внаслідок чого об'єм шихти зменшується і заплечики, що звужуються, не дозволяють шихті дуже швидко опускатися в горн. Горн має циліндрову форму, в нижній його частині скупчуються рідкий чавун і шлак, а у верхню подають дуття і тут згорає паливо (кокс) .

У кожусі печі роблять вирізи для фурм, чавунних і шлакових льоток, а також отвори для болтів кріплення вертикальних холодильників і для трубок, що підводять до них воду. Холодильники служать для охолодження футерування і кожуха печі за допомогою холодної технічної води, що пропускається через них, а при випарному охолодженні - за допомогою киплячої хімічно очищеної води. Холодильник - це плита з чавуну із залитою в ній сталеву трубку у вигляді змієвика для циркулюючої води.

Вогнетривке футерування (кладка) доменної печі призначене для зменшення теплових втрат і оберігання кожуха від дії високих температур і від контакту з рідким металом і шлаком. Для футерування доменної печі застосовують якісну (доменний) шамотну цеглину, високоглиноземисту цеглину, вуглецеві блоки, інколи карбідокремнієва цеглина.

Горн умовно підрозділяють на дві частини – верхня фурмена зона, де згорає кокс, і нижню – металоприймач, для накопичення рідкого чавуну і шлаку, і де розташовані чавунні і шлакові льотки. Чавунні льотки розташовують на 600-1800 мм вище за лещаді, що знаходиться нижче за льотки. Частина металоприймача заповнена не злитим або «мертвим» шаром рідкого чавуну; цей шар необхідний для запобігання розмиванню лещаді потоками чавуну в горні і оберігання її від дії високих температур. Шлакові льотки розташовані вище за вісь чавунних льоток на 1,4-2,0 м. На печах є по дві шлакові льотки, які служать для випуску так званого «верхнього» шлаку; крім того, частина шлаку витікає разом з чавуном, що випускається, через чавунні льотки («нижній» шлак). Льотка є крізним каналом в кладці горна і рами; цей канал заповнений вогнетривкою льоточною масою. У верхній частині горна по його колу з рівномірними проміжками встановлює повітря фурми, через які в піч поступає нагріте до 1100-1300 °С дуття, природний газ і інші паливні добавки (мазут, пиловугільне паливо). Комплекс пристроїв, які слугують для підведення дуття в горн з кільцевого повітропроводу, називають фурменим приладом. Основна частина приладу – мідна порожниста повітряна фурма охолоджувана водою.

Колошниковий пристрій є багатоповерховою металеву конструкцією, яка слугує для підтримки комплексу механізмів, призначених для завантаження шихти в доменну печі (засипний апарат і ін.), відведення газів (газовідводи) і для монтажу устаткування. Для відведення доменного газу в куполі печі є отвори і що йдуть від них вгору газовідводи. Число газовідводів рівно чотирьом, їх сполучають спочатку симетрично попарно, а потім в один газохід, що йде вниз до пиловловлювачів, розташованих на нульовій відмітці

(на печах об'ємом 5000-5500 м<sup>3</sup> є вісім газовідводів і по два низхідні газоходи). Від верхніх точок газовідводів відходять вертикальні свічки (труби), що закінчуються атмосферним клапаном, який відкривається, випускаючи газ в атмосферу при перевищенні тиску в печі понад допустимий. Число свічок з клапанами вагається від двох до чотирьох, вони служать також для випуску газу при зупинках печі. Засипний апарат призначений для завантаження шихти, необхідного її розподілу по перетину колошника, тобто печі і для забезпечення герметичності печі в процесі завантаження, тобто для запобігання попадання в піч повітря, що веде до можливості вибуху, і запобігання виділенню пічного газу в атмосферу. Піч обладнана двоконусними засипними апаратами. Шихтові матеріали доставляють на колошник двома скипами (візками), рухомими по рейках похилого моста; у крайньому верхньому положенні скіп перевертається, при цьому порція шихти висипається через приймальну воронку на поверхню малого конуса, після чого він опускається і матеріал просипається вниз на поверхню великого конуса, а малий конус відразу ж підіймається. Так само на поверхню великого конуса завантажують 2-6 скіпів (набирають подачу). Потім при піднятому малому конусі опускається великий конус, і матеріал подачі просипається в піч, після чого великий конус піднімається. Далі на великий конус набирають нову подачу але перед кожним опусканням малого конуса він з воронкою обертається на певний кут.

Високі показники плавки можуть бути отримані при доброму розподілі газів по перетину печі. Лише в цьому випадку газу в максимальній мірі віддають фізичне тепло матеріалам і якнайповніше буде використана їх відновна здатність [1].

#### **1.4 Опис головної будівлі цеху**

До першого класу підприємств віднесені всі металургійні підприємства з повним металургійним циклом, в яких санітарно-захисна зона складає

1000 м. Проектований доменний повинен розташуватися з підвітряного боку по відношенню до житлового району з врахуванням троянди вітрів. Розташування будівель і споруд повинне забезпечувати найбільш сприятливі умови аерації і природного освітлення приміщень.

Згідно СНіПу для підприємств чорної металургії подовжня вісь ливарного двору має бути розташована під кутом 45-90° до напрямку пануючих вітрів. Повітронагрівачі повинні розташовуватися в одну лінію паралельно осі доменних печей.

Центральний пост управління доменною піччю розміщується в окремому звуко- і теплоізолюваному приміщенні з подачею в нього кондиціонованого повітря. Конструкції будівель комплексу доменної печі, слід проектувати сталевими з врахуванням можливості їх монтажу укрупненими блоками, що сполучають будівельні конструкції, технологічне устаткування, трубопроводи. Сітку колон робочих майданчиків в будівлях ливарного двору слід приймати, як правило, 6×9 м.

Кривлі будівель центрального вузла доменної печі слід проектувати з гладкого сталевих листа з ухилом не менше 40°. Для зовнішніх стін будівель ливарного двору і повітронагрівачів слід застосовувати сталеві оцинковані профільовані листи. У зовнішніх стінах будівлі ливарного двору і піддоменника слід передбачати на рівні 0,3 м від підлоги робочих майданчиків пристрою аераційних отворів, обладнаних поворотними щитами, що закриваються в холодний і перехідний періоди року. Ухили половини робочого майданчика слід приймати не більш 6° для забезпечення проїзду навантажувачів і електрокарів.

Для обмеження забруднення газами повітряного середовища піддоменника і ливарного двору необхідно забезпечити герметичність газових комунікацій, арматури, кожухів печі. Проходи між окремими агрегатами, стінами і устаткуванням повинні мати теплоізоляційні екрани. Перехідні містки над чавунними і шлаковими канавами і іншими гарячими поверхнями мають бути теплоізолюваними і захищені з боків суцільними

щитами на висоту не менше 1 м.

Для обслуговування чавунних і шлакових жолобів по краях ливарного двору слід владнувати майданчики консольного типу з теплозахисними екранами, а біля стін будівель ливарного двору вище за рівень жолобів - майданчики для проходу людей. Поблизу жолобів і ковшів проходи повинні захищатися теплоізолюючими екранами.

При розливанні чавуну з боку зливного отвору має бути влаштований майданчик з тепловим захисним екраном для обслуговування рухливого жолоба висотою не менше 1,2 м з бортовкою по низу на висоту не менше 140мм.

Об'єм виробничого приміщення на одного робітника повинен дати не менше 15м<sup>3</sup>, а площа не менше 4,5м<sup>2</sup>. Для забезпечення норм природного освітлення не менше 20% світлових отворів виконують у вигляді створок, що відкриваються.

Аби розміщення агрегатів і транспортних магістралей було раціональним і економічно вигідним, воно повинне задовольняти наступним основним вимогам:

1. Компонівка залізничних колій повинна забезпечувати раціональний вантажопотік в цеху і можливість використання при необхідності однієї і тієї ж дороги для перевезення різних вантажів.

2. Габаритні розміри споруджень цеху і протяжність різних комунікацій (залізничні колії, естакади, конвеєри, трубопроводи, електромережа і ін.) мають бути мінімальними.

3. Агрегати слід розміщувати так, щоб під час будівництва або ремонтів сусідні агрегати і комунікації працювали безперебійно.

4. Габарити наближення повинні задовольняти умовам безпеки.

5. Всю апаратуру засобів автоматизації і побутові приміщення необхідно розміщувати в стороні від газонебезпечних і запилених ділянок.

6. Слід передбачити можливість для розвитку цеху (збільшення кількості і об'єму доменних печей).



Розташування доменних печей і всіх допоміжних агрегатів залежить перш за все від, розташування залізничних колій для прибирання чавуну і шлаку. Розрізняють приймальні, постановочні дороги, призначені для прийому і постановки рухливого складу під вантаження, і ходові дороги, по яких пересувний склад переміщається до місця призначення.

По одну сторону від печей розташовуються дороги для прибирання шлаку і дрібної фракції, а по іншу – дороги для прибирання чавуну і колошникового пилю. Причому дороги, призначені для прибирання чавуну і колошникового пилю, розташовуються з боку газоочистки, а дороги для прибирання шлаку і дрібної фракції коксу – з боку рудного двору. Різні варіанти розміщення агрегатів і комунікацій доменного цеху визначаються характером розміщення постановочних і ходових залізничних колій.

Доменний цех, по характеру розташування печей належить до острівного типу. Печі розташовуються ізольовано один від одного і представляють разом з ливарними дворами і повітронагрівачами як би острів. Острівний цех має спеціалізацію залізничних колій: по одну сторону печі розташовуються дороги для прибирання чавуну і колошникового пилю, по іншу - дороги для прибирання шлаку і дрібної фракції коксу. Постановочні дороги індивідуальні для кожної печі. Між двома сусідніми печами передбачений переїзд з одного боку на іншу. Завдяки можливості повідомлення між чавуновозними і шлаковозними дорогами таке розташування печей забезпечує набагато довше маневрування транспорту, проте при острівному розташуванні печей збільшується відстань між ними, що позначається на розмірі капітальних вкладень. На доменних печах залізничні колії для прибирання чавуну розташовані по обоє сторони печі.

До складу доменного цеху входять наступні основні агрегати і споруди: доменні печі з ливарними дворами (прямокутної форми), повітронагрівачі, агрегати для очищення газу, рудний двір, бункерна естакада. Взаємозв'язок і розташування цих агрегатів визначаються технологічною схемою виробництва і розміщенням залізничних колій.

Повітрянагрівачі розташовані під деяким кутом до лінії печей з боку, протилежного до ливарного двору, або за одним з ливарних дворів.

Розташування агрегатів для очищення газу обумовлене вживаною системою очищення. Зазвичай всі агрегати (пиловловлювач, скруббер і фільтри) розміщують на території доменного цеху з боку, протилежно до рудного двору.

Рудний двір розташований в стороні від доменних печей. Це обумовлено способом транспортування матеріалів.

При завантаженні доменної печі скіповим підйомником бункерну естакаду розташовують уздовж ливарного двору печі і повітрянагрівачів.

Грануляційні пристрої розташовують за межами доменного цеху. Майданчик для грануляційного басейну влаштовується на такій ділянці, аби не викликати ускладнень в доставці рідкого шлаку, прибиранні ковшів і готового грануляту. Шлаковий відвал розташовують за межами заводу [2].

## **1.5 Технологія доменного процесу**

### **1.5.1 Особливості переробного чавуну і вимоги до його якості**

Найбільша кількість виплавленого доменних печах чавуну (85 %) припадає на долю переробного чавуну. Переробний чавун виплавляють з шихти, яка складає 90 – 100 % офлюсованого агломерату з відносно низьким вмістом фосфору. Основна вимога до чавуну для конверторного і мартенівського переділу, зводиться до обмеження вмісту в чавуні кремнію, сірки та фосфору. Помірний вміст кремнію в чавуні дає можливість виплавляти чавун при низьких витратах палива (450-600 кг/т чавуна). Для отримання чавуну з низьким вмістом сірки основність шлаку ( $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) підтримують на рівні 1,15-1,25. Зі зниженням відносного виходу шлаку основність його повинна підвищуватися. Низький вміст оксиду марганцю (II) не забезпечує отримання шлаків з хорошими фізичними властивостями. Тому

для успішного протікання процесу десульфурації в шлаку повинно бути 5-8 % оксиду марганцю (II), особлива при низькому вмісті глинозему чи при підвищеній основності.

Виплавка переробного чавуну проводиться на комбінованому дутті. Витрата природного газу складає 80-140 м<sup>3</sup>/т чавуну, вміст кисню в дутті – 23-30 %. Дуття зволожується для усунення коливань природної вологості і регулювання теплового режиму плавки. Вологість дуття не перевищує 20 – 25 г/м<sup>3</sup>. Температура дуття підтримується на максимально можливому рівні (1000-1300° С). Плавку переробного чавуну проводять при підвищеному тиску газу в робочому просторі печі. Надлишковий тиск газу підтримується на рівні 0,1-0,2 МПа. Інтенсивність плавки визначається гранулометричним складом шихти. Частіше за все кількість дуття, що подається в піч на рівні 1,8-2,2 м<sup>3</sup>/хв на 1 м<sup>3</sup> обсягу печі. При цьому перепад статичного тиску газу по висоті печі складає 0,13-0,15 МПа [2].

### **1.5.2 Основні сировинні матеріали**

*Залізняк.* До сировинних матеріалів доменного виробництва перш за все відносять руди, паливо і флюси. Руди доводиться спеціально готувати - дробити, збагачувати, окусковувати і усереднювати. Використовуються руди Криворізького родовища (м. Кривий Ріг). Добутий на місці концентрат і вироблені окатиші прямують на завод. Середній вміст заліза в руді складає близько 55 %, а в магнетитових кварцитах, що добуваються – 35-37 %. Порожня порода складається практично лише з кремнезему. Руда не містить шкідливих домішок.

Залізо, як відомо, володіє порівняно великою спорідненістю до кисню і через це в земній корі не виявляється в самородному вигляді, а знаходиться головним чином в з'єднаннях з киснем і двооксидом вуглецю.

З великого числа залізовмісних мінералів, що зустрічаються в земній корі, промислове значення мають мінерали, в яких залізо переважно

представлене магнітним оксидом  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , безводним оксидом  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , водними оксидами  $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  з різною кількістю води, карбонатом заліза  $\text{FeCO}_3$ .

Магнітний оксид заліза в рудах представлений мінералом магнетитом. Руди, що містять в основному магнетит, називають магнітним железняком або магнетитовою рудою. Магнітний залізняк зазвичай представлений міцними, щільними шматками руди і містить зазвичай 55-60% Fe (інколи лише 16-30% Fe).

Безводний оксид заліза представлений в рудах мінералом гематитом. Руди, що містять в основному гематит, відносять зазвичай до червоних залізняків або гематитовим руд. Червоний залізняк, вживаний в металургії, містить зазвичай 55-60% Fe, а деякі різновиди – до 69,5% Fe. У ряді випадків в руді міститься мало сірки і фосфору. Руди бувають шматкові, а інколи пілоподібні. Порожня порода таких руд зазвичай складається з  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Водні оксиди заліза представлені в рудах головним чином мінералом лимонітом  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  і гетитом  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Руди, що містять в основному ці мінерали, називають бурими залізняками. Зазвичай бурий залізняк змішаний з глиною або кварцитом. У рудах, що добуваються, міститься 37-55%, а частіше 37-40% Fe. Вони характеризуються підвищеним вмістом фосфору (0,5-1,5%), інколи в них присутній в деякій кількості ванадій (0,03-0,06%). Бурий железняк зазвичай бідний і вологий, а також важко піддається збагаченню, тому його використовують в порівняно невеликій кількості.

Карбонат заліза представлений в руді мінералом сидеритом. Руди, що містять в основному сидерит, називають шпатовими залізняками. Вони зазвичай зустрічаються у вигляді щільних і міцних гірських порід або глинистих залізняків. У шпатових залізняках міститься 30 – 40% заліза.

Промислово використовуваним є також мінерал ільменіт  $\text{FeTiO}_3$ , що зустрічається у поєднанні з магнетитом.

Окрім вказаних з'єднань заліза, в рудах присутні різні домішки. До шкідливих домішок відносять сірку, цинк і миш'як. Сірка викликає

червоноламкість сталі, а процес її видалення в доменному і сталеплавильному виробництвах зв'язаний з погіршенням техніко-економічних показників. Правда, сірку можна легко видалити з руд окислювальним випаленням і агломерацією.

Цинк, хоча і не переходить в чавун, але переганяється і, проникає в шви кладки, наводить до її зростання і розриву металевого кожуха доменної печі.

Невелику кількість миш'яку можна видалити з руди при агломерації або краще при спеціальному випаленні руди, а при доменній і сталеплавильній плавках він переходить в метал. Миш'як додає сталі холодноламкість, і погіршує її зварюваність.

Такі домішки, як фосфор, нікель, хром і мідь, є корисними при виплавці чавуну деяких марок, в останніх же випадках їх, особливо фосфор і мідь, відносять до шкідливих домішок. Фосфор викликає холодноламкість сталі, його необхідно видаляти при переробці чавуну в сталеплавильних печах.

Ванадій і титан - корисні домішки.

Порожня порода в основному складається з  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  і  $\text{MgO}$ , які зазвичай знаходяться у вигляді різних з'єднань. Для доменної плавки бажано, аби відношення  $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) = 1$ . В цьому випадку не потрібний флюс. Таку руду називають самоплавкой, проте зустрічається вона дуже рідко. Найчастіше вказане співвідношення значно менше 1, тобто порожня порода руд є кислою [1].

*Флюси і відходи виробництва.* Флюси вводять в доменну піч для перекладу порожньої породи залізовмісної шихти і золи коксу в шлак необхідного хімічного складу, що володіє певними фізичними властивостями.

Температура плавлення оксидів, що входять до складу порожньої породи агломерату, окатишів або руд, а також в золу коксу ( $\text{SiO}_2$  - 1710,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 2050,  $\text{CaO}$  - 2570,  $\text{MgO}$  - 2800 °C), значно вища за температуру шлаку в доменній печі (1450-1600°C). В той же час при певному співвідношенні вказаних оксидів утворюються легкоплавкі склади, які мають температуру

плавлення нижче 1300 °С і характеризуються гарною текучістю при 1450-1600°С.

Необхідно також, аби шлаки, що отримуються в доменній печі, містили певну кількість основних оксидів (СаО і MgO) для забезпечення необхідної десульфуруючої здатності.

Руди, що добуваються, як правило, містять кислу порожню породу і характеризуються прийнятним співвідношенням SiO<sub>2</sub> і Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, тому зазвичай застосовують основний флюс – вапняк, що складається з карбїду кальцію CaCO<sub>3</sub>, або доломітизований вапняк, що містить, окрім CaCO<sub>3</sub> ще MgCO<sub>3</sub>.

Вапняк вводять при кускуванні залізняку або залізорудних концентратів. Це наводить до поліпшення показників доменної плавки і перш за все скорочення витрати коксу. Вапняк вводять в подрібненому стані (розмір зерен 3-0 мм). Необхідно аби у вапняку було небагато SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, сірки і фосфору.

При доменній плавці використовують також деякі відходи виробництва, Fe, що містять, Mn, СаО і MgO і що є заміниками залізняку і флюсу. До них відносять колошниковий пил, зварювальний шлак і окалину нагрівальних печей, піритові огарки і шлаки мартенівського виробництва. Найширше застосовують колошниковий пил, що отримується в доменних цехах. Він складається із залізовмісних матеріалів і коксу, уловлених при очищенні газу доменних печей. У пилу міститься 40-56% Fe і 3-15% С. З метою утилізації її додають в шихту до руд або концентратів при їх кускуванні [1].

*Паливо.* Основним паливом доменної плавки є кокс - кусковий пористий матеріал з вуглецевої (83-88% С) маси, що спеклася, виходить при прожарені кам'яного вугілля без доступу повітря. Якість коксу визначається, перш за все якістю коксованого вугілля. Для нашого виробництва було використане Донецьке вугілля, яке характеризується зниженим вмістом золи, вміст сірки досягає 1% і це вугілля доволі міцне.

Природні тверді види палива не придатні для доменної плавки унаслідок низької термостійкості і із-за схильності до спікання, тому кокс не може бути замінений іншим паливом; можлива лише часткова заміна коксу газоподібним, рідким і пиловугільним паливом.

Як паливо кокс, згораючи у фурм, забезпечує доменну піч теплом, необхідним для нагріву і розплавлення шихти і протікання процесів відновлення заліза з оксидів. Крім того, вуглець коксу є відновником і служить для вуглецювання заліза, а продукт згорання коксу - газ CO також є відновником [2].

*Водопостачання і паропостачання.* У доменному цеху витрата води на виплавку 1 т чавуну складає близько 30 м<sup>3</sup>, з яких 60-65% йде на охолодження доменних печей і 20-30% - на очищення доменного газу, останнє – на грануляцію шлаку, розливання чавуну і зволоження колошникового пилу.

Для постачання доменного цеху водою споруджують насосні станції, що подають воду з водоймищ за допомогою відцентрових насосів з електричним приводом. Електропостачання цих станцій передбачають від двох незалежних джерел живлення, окрім цього, на станціях встановлюють запасні насоси з паротурбінним приводом, які при відключенні електронасосів включаються автоматично.

Вода до доменного цеху подається декількома водоводами, з яких один знаходиться в резерві. Від головних водоводов відходять трубопроводи на окремі ділянки цеху. На доменні печі воду подають під різним тиском - середнім (400-600 кПа, або 4-6 ат) і великим (700-1000 кПа, або 7-10 ат). На деяких печах фурмену зону охолоджують водою від окремого джерела водопостачання під тиском, що перевищує тиск дуття на 10-20 кПа (0,1-0,2 ат).

Зазвичай застосовують замкнутий оборотний цикл водопостачання, для чого відпрацьовану чисту воду охолоджують в басейні або в градирнях, а забруднену воду очищають в радіальних механізованих відстійниках.

Пару в доменному цеху витрачають на зволоження дуття, ущільнення штанг конусів і зондів рівня засипки, заповнення вибухонебезпечних об'ємів і на опалювання приміщень. Його витрата складає 60-170 кг на 1 т чавуну. Пара поступає по теплоізолюваних паропроводах. Надлишковий тиск пари має бути не нижче 800 кПа (8 ат) [1].

### **1.5.3 Технологія виробництва**

Комплекс процесів, що протікають в працюючій доменній печі, називають доменним процесом. Він складається з механічних, газо- і гідродинамічних, хімічних, теплофізичних, фізико-хімічних і фізичних процесів, які протікають послідовно або спільно у відповідних зонах печі при певних температурах і складі газової фази. Протікання цих процесів змінюється в часі, оскільки в доменній печі здійснюється безперервний вертикальний протиточний рух матеріалів і газів. При цьому шихтові матеріали проходять дорогу від колошника до горна за 5-8 год., а гази, що рухаються назустріч ним, за 2-10 с.

Поступаючи на металургійний завод, руда, концентрат (продукт збагачення руди) і флюс направляють на фабрику по окускуванню, де з них виробляють агломерат або окатиші. Відсіяний від дрібниці агломерат направляють в доменний цех. Одночасно туди потрапляють кокс і додатковий флюс. Агломерат, флюс і відсіяний від дрібниці кокс завантажують в доменну піч. Дуття, що подається повітродувкою, підігрівають у воздухонагрівателе до температури 1100-1350° С і нагнітають в піч. Одночасно з дуттям можна також подавати технологічний кисень, який виділяють з повітря на спеціальних установках. З метою зниження витрати коксу в піч можуть вводитися інші види палива і відновники: природний газ, мазут, пилоподібне паливо. Оксиди заліза, що є корисною частиною руди, завжди супроводяться баластними з'єднаннями, що не містять залізо, які називаються



порожньою породою. Порожня порода полягає, головним чином, з кремнезему  $\text{SiO}_2$ , невеликої кількості глинозему  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , вапна  $\text{CaO}$ , оксиду магнію  $\text{MgO}$ .

Флюсом доменної плавки найчастіше є вапняк  $\text{CaCO}_3$ , який після розкладання в печі перетворюється на  $\text{CaO}$ . Необхідність введення в піч флюсу пояснюється тим, що залоза, що залишається після відновлення оксидів, порожня порода унаслідок тугоплавкості розплавиться в печі не може. Додавання флюсу різко знижує температуру плавлення породи, вона разом з флюсом розплавляється, утворюючи рідкий шлак.

В даний час як паливо для доменних печей застосовують кокс, який унаслідок високої міцності і пористості є найбільш відповідним виглядом палива. Продуктами доменної плавки є рідкий чавун, рідкий шлак і колошниковий газ.

Чавун є багатокомпонентним сплавом на основі заліза, що містить вуглець, кремній, марганець, сірку і фосфор. Розрізняють три види продукції: передільний чавун, що переробляється в сталь; ливарний чавун, з якого відливають готові вироби; феросплави, призначені для використання в сталеплавильних цехах.

Оскільки основна кількість чавуну призначена для переробки в сталь, то доля передільного чавуну загалом його кількості складає 85-95%.

Шлак є баластним, тобто що не містить заліза оксид, що вносяться до доменної печі з рудою, агломератом, золюю коксу і флюсом –  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Він використовується для виробництва будівельних і в'язких матеріалів.

Колошниковий газ виходить з печі, є газоподібним паливом і містить 20% оксиду вуглецю (II), до 5-6% водню і близько 0,5% метану. Частина колошникового газу спалюється у повітрянагрівачах при підігріванні дугтя, а останній використовується як енергетичне тепло в нагрівальних печах, в котельнях і так далі.

Колошниковий пил, що видувається з печі, і відсіяна від коксу перед завантаженням в піч дрібна фракція коксу прямує на аглофабрик.

Доменний процес є процесом відновним, оскільки єство його полягає у відновленні оксидів заліза з руди. На відміну від нього всі сталеплавильні процеси окислювальні, оскільки єство їх полягає в окисленні домішок, раніше всього вуглецю, які приєднуються до металу в доменній печі [2].

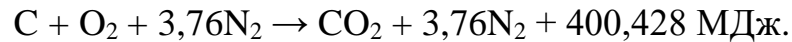
Агломерат, руда, вапняк і кокс завантажуються на колошник доменної печі спеціальним засипним апаратом. Призначення апарату полягає в правильному розподілі завантажувальних матеріалів по горизонтальному перетину печі. При неправильному розподілі потоки газу, проходячи через тонкий шар руди, виходитимуть з печі з високою температурою і високим вмістом відновлених газів, тобто їх енергія буде використана недостатньо. Унаслідок горіння коксу в горні і зменшення об'єму шихти із-за плавлення чавуну і шлаку завантажені на колошник матеріали безперервно опускаються в нижню частину печі. На зустріч матеріалам, що опускаються, рухається потік відновних газів. Доменний процес є відновним протиточним процесом, оскільки він полягає у взаємодії матеріалів, що опускаються зверху вниз, і потоку нагрітих відновних газів, що утворюються в горні при горінні коксу, що піднімається від низу до верху. Інтенсивність теплообмінних і відновних процесів визначає техніко-економічні показники плавки.

Всі фізико-хімічні процеси, що відбуваються в доменній печі, можна розділити на три групи: процеси окислення (горіння) палива, процеси відновлення оксидів заліза і інших елементів і процеси плавлення.

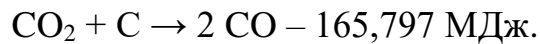
Процеси окислення, або горіння, палива протікає в горні доменної печі в невеликих об'ємах біля повітряних фурм. Фурми розташовані по колу верхньої частини горна і є енергійно охолоджуваними водою пристроями, через які в піч подається атмосферне дуття, заздалегідь нагріте у повітрянагрівачах до 1100-1350° С. Як добавки до дуття можуть використовуватися водяна пара, природний газ і кисень.

Оскільки повітря за об'ємом складається з 21% кисню і 79% азоту, то

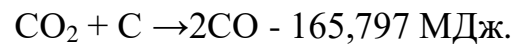
на кожен молекулу кисню доводиться  $79/21=3,76$  молекул азоту. У тому, що виходить з фурм з високою швидкістю дуття згорає розжарений кокс, що знаходиться в горні. Початком цього процесу є реакція:



Оксид вуглецю (IV), що утворюється по цій реакції, при високих температурах, що мають місце в горні, взаємодіють з вуглецем по рівнянню реакції:



Оксид вуглецю (IV) при високих температурах, що мають місце в горні, взаємодіє з вуглецем по рівнянню реакції:



Таким чином, кінцевим продуктом горіння вуглецю в горні є оксид вуглецю (II). Процеси окислення вуглецю коксу киснем і оксидом вуглецю (IV) протікають біля фурм в невеликих зонах, званих окислювальними, або зонами горіння. На відміну від цих зон, у всьому останньому об'ємі печі атмосфера відновна. Газ, що утворюється в горні, піднімається вгору, відновлюючи шихтові матеріали, що опускаються.

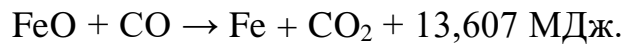
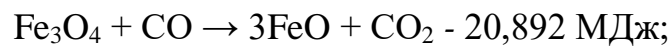
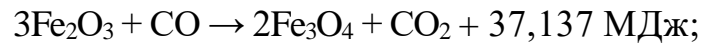
Процеси відновлення протікають у всьому об'ємі печі за винятком окислювальних зон в горні. У доменній печі відновлюються оксиди заліза, марганцю, кремнію, фосфору, сірки і деяких інших елементів. Але головним з цих процесів є відновлення основного компонента - оксиду заліза.

Відновниками в доменній печі є оксид вуглецю (II) CO, водень H<sub>2</sub> і твердий вуглець C. Оксид вуглецю (II) утворюється в горні при горінні коксу. Твердий вуглець вноситься до печі коксом і є в будь-якій зоні печі.

Водень при звичайному атмосферному дутті утворюється в результаті розкладання невеликої кількості водяної пари, що міститься в повітрі.

Але при вдуванні в піч природного газу, що є майже чистим метаном  $\text{CH}_4$ , він розкладається і вносить значну кількість водню.

Реакції відновлення оксиду заліза (III) оксидом вуглецю (II) описуються наступними рівняннями:



Реакція відновлення оксиду заліза (III), що описується першим рівнянням, протікає при порівняно низьких температурах на колошнику і у верхній частині шахти. У міру опускання агломерату температура і вміст  $\text{CO}$  в газі підвищуються, що наводить до розвитку другої реакції – відновлення магнетиту до оксиду заліза (II). Подальше опускання матеріалів і підвищення температури наводять до відновлення оксиду заліза (II) оксидом вуглецю (II) до металевого заліза по третій реакції.

Проте умови відновлення в доменній печі такі, що лише 50-80% всіх оксидів заліза відновлюється оксидом вуглецю (II) і воднем. Остання ж частина їх відновлюється твердим вуглецем по рівнянню реакції:



Відновлення оксидів газами називається непрямим відновленням, а відновлення твердим вуглецем – прямим відновленням.

Процеси плавлення можна розділити на процеси утворення чавуну і шлаку. На певному горизонті (у нижній частині шахти) в шматку рудного

матеріалу з'являється металеве залізо. Проте розплавитися воно не може, оскільки температура плавлення чистого заліза досить висока – 1535 °С. Така температура створюється набагато нижчим, в області горна. Але в свіжовідновленому металевому залізі енергійно розчиняється вуглець, що міститься і в газі, і в коксі. Це різко знижує температуру плавлення сплаву, що утворився, - при вмісті в залізі 4,3 % вуглецю вона складає всього 1130-1135 °С. Отже, металеве залізо, розчиняючи в собі вуглець, перетворюється на чавун, який плавиться. Розплавившись, чавун у вигляді крапель і цівок стікає вниз і скупчується в горні. Нижче за горизонт утворення чавуну, в твердому стані знаходяться порожня порода руди, вапняк і кокс. Опускаючись все нижче, ці матеріали нагріваються до вищих температур, і на певному рівні порода і флюс розплавляються, утворюючи рідкий шлак. Він струменями стікає в горн і розташовується над шаром чавуну. Горизонт утворення шлаку знаходиться зазвичай на рівні розпарення. Нижче за горизонт утворення шлаків в твердому стані знаходиться лише кокс, який, опускаючись ще нижче, нагрівається газами до 1500-1600 °С і, потрапляючи в горн, згорає в струмені дуття.

При спільному стіканні вниз шлаку і чавуну і взаємодії їх в горні відбувається очищення чавуну від сірки. Після накопичення достатньої кількості шлаку і чавуну їх випускають з печі через шлакову і чавунну льотки.

Головними техніко-економічними показниками роботи доменної печі є продуктивність і питома витрата коксу. Продуктивністю доменної печі називається маса чавуну, виплавлена за певний час. Питома витрата коксу в доменній печі (тобто витрата на виплавку 1 т чавуну) визначається вмістом заліза в рудній частині шихти, розподілом залізородних матеріалів по перетину печі, нагрівом дуття і використанням заміників коксу [2].

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Особливості доменного процесу і склад викидів

Основним продуктом доменної плавки є чавун, а побічними – шлак і доменний (колошниковий) газ. В середньому при згоранні 1 т сухого коксу утворюється 3400 м<sup>3</sup> доменного газу з середньою теплотою згорання 3,96 МДж/м<sup>3</sup>. Пил і газоподібні викиди з доменних печей утворюються в результаті складних фізичних і хімічних процесів. 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 самій доменній печі.

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

Кількість доменного газу, що утворюється – 3880 м<sup>3</sup>/т вологого коксу, або 4000 м<sup>3</sup>/т сухого коксу, або 2000-2500 м<sup>3</sup> на 1 т чавуну.

Питомі технологічні викиди з колошниковими газами при виплавці переробного чавуну складають, кг на 1 т чавуну: пил – 100; CO – 640; O<sub>2</sub> – 0,08-0,45. Склад колошникового газу представлений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Склад колошникового газу

Компоненти	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>
Об'ємна доля, %					
При роботі без підвищення тиску і комбінованого дуття	11,2	31,2	0,21	2,99	55,1
При роботі з підвищеним тиском і комбінованим дуттям	11,3	29,0	0,20	4,30	55,2

Температура доменного газу на виході з печі складає ~ 250-300° С.

Пилегазовидалення з печі обумовлені тим, що при подачі шихти на великий конус завантажувального пристрою печі тиск по обидві сторони

конуса необхідно вирівняти, для чого неочищений газ з міжконусного простору виводять в атмосферу.

Запиленість газу під час вихлопу складає 250 - 700 г/м<sup>3</sup>. Питомий викид пилу досягає 4 кг на 1 т чавуну при основному режимі роботи печі. Крім того, пиловиделення відбувається при кожному зсипанні скіпа в приймальну воронку. Викиди пилу і оксиду вуглецю (II) складають відповідно 0,17-0,60 і 5- 19 т/доб.

Хімічний склад пилу змінюється в широких межах. Наприклад, при виплавці переробного чавуну і роботі з підвищеним тиском на колошнику печі пил містить %: SiO<sub>2</sub>- 14,6; MgO - 4,35; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 4,35; CaO - 11,85; S - 0,74; MnO - 3,75, останнє – оксиди заліза.

Дисперсний склад пилу також залежить від багатьох чинників і може вагатися в широких межах, що показано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Дисперсний склад пилу

Розмір часток, мкм	200	200-100	100-60	60-20	20-10	10-1
Масова частка, %	34,5	12,3	19,0	25	7,5	1,7

Радикальним рішенням, що майже повністю виключає викиди пилу з міжконусного простору, є подача в міжконусний простір у момент відкриття великого конуса газу під тиском, який перевищує тиск в печі. За цих умов запилений газ з печі взагалі не поступає в міжконусний простір, і вихлоп газу при вирівнюванні тиску в засипному пристрої залишається чистим. Недоліком цього способу запобігання викидам пилу і з міжконусного простору печі є додаткові енерговитрати, пов'язані із спалюванням газу, що подається в засипний пристрій печі. Зниження викидів пилу можна досягти також очищенням газу в пиловловлюючих установках.

Окрім колошникового пристрою доменної печі, джерелом забруднення атмосфери доменного цеху є рудний і ливарний двори, установки грануляції шлаку, розливні машини, пристрої для вивантаження пилу з сухих пиловловлювачів [3].

На рудному дворі пил виділяється при розвантаженні вагонів, перевантаженні руди, подачі руди на бункерну естакаду і т. п. Питоме виділення пилу на рудному дворі орієнтовано приймають рівним 50 кг на 1 т чавуну, а на бункерній естакаді – 20 кг на 1 т чавуну. Концентрація пилу на рудному дворі і бункерній естакаді від 17 до 1000 мг/м<sup>3</sup>.

Найбільша кількість пилу виділяється в підбункерному приміщенні, де відбувається вивантаження сирих матеріалів у вагон-ваги. Концентрація пилу в повітрі підбункерних приміщень досягає 500 мг/м<sup>3</sup>, у зв'язку з чим на багатьох заводах кабіну машиніста вагон-ваг доводиться герметизувати. У підбункерних приміщеннях, обладнаних конвеєрами, аспіраційною системою відсмоктується близько 2,5 кг пилу на кожен тону чавуну. Після очищення в атмосферу викидається в середньому близько 90 г пилу на 1 т чавуну.

На ливарному дворі пил і гази виділяються в основному від льоток чавуну і шлаку, жолобів ділянок зливу і ковшів. Питомі виходи шкідливих речовин на 1 т чавуну складають: 400-700 г пилу, 0,7-1,15 кг СО, 120-170 г SO<sub>2</sub>. Максимальна кількість пилу і газів викидається під час випуску чавуну і шлаку. Пил і гази видаляються частково через ліхтарі ливарного двору (близько 160 г пилу на 1 т чавуну), частково за допомогою аспіраційних систем з очищенням пилу перед викидом в атмосферу переважно в групових циклонах.

Середня концентрація пилу в період випуску складає 150-1500 мг/м<sup>3</sup>; максимальна концентрація спостерігається над головним жолобом і ковшом для чавуну.

Середня концентрація СО складає, мг/м<sup>3</sup>: в чавунній льотці – 22...1250; в шлаковій льотці – 11...680; на рівні фурм – 15...884; в кільцевому повітропроводу – 11...5000.

Вміст СО на робочих місцях в період випуску чавуну складає 125-250 мг/м<sup>3</sup>. Найбільша концентрація спостерігається у момент випуску чавуну і шлаку в льотки і повороті жолобів.



При випуску гарячого шлаку з домни сірка реагує з киснем повітря з утворенням  $\text{SO}_2$ . Цей газ виділяється від шлакових льоток, жолобів і шлаководів; середня концентрація  $\text{SO}_2$  на цих ділянках в період випуску шлаку досягає  $30 \text{ мг/м}^3$ .

Валові викиди пилу, оксиду вуглецю (II) і оксиду сірки (IV) на ливарних дворах типових доменних печей різного об'єму приведені в таблиці 2.3 [3].

Таблиця 2.3 – Валові викиди шкідливих речовин на ливарному дворі печей різного об'єму

Об'єм печі, $\text{м}^3$	Продуктивність печі, т/доб	Кількість домішок, кг/т чавуну		
		пил	CO	$\text{SO}_2$
1033	1720	0,7	1,1	0,165
1513	3929	0,6	0,95	0,15
2000	4350	0,5	0,85	0,13
2700	5500	0,4	0,70	0,115
5000	11500	0,4	0,70	0,11

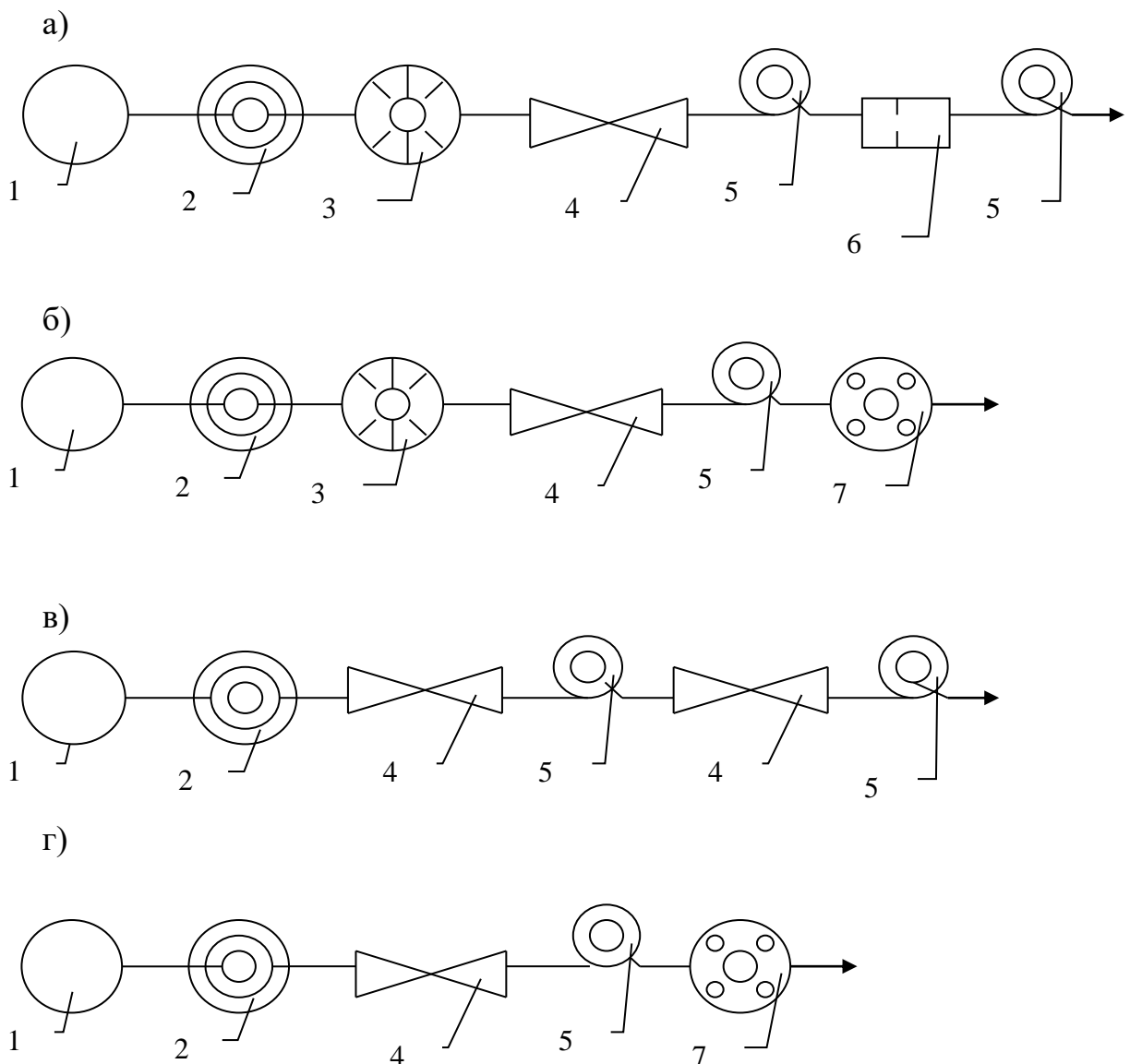
## 2.2 Аналіз схем очищення газів в доменному виробництві

У доменній печі утворюється 2000-2500  $\text{м}^3$  колошникового газу на 1 т чавуну, що виплавляється. Цей газ використовують як паливо у повітрянагрівачах доменних печей, мартенівських і коксових печах, в запальних горнах агломераційних ліній, в печах для нагріву металу і в топках казанів паросилових установок. Аби запобігти засміченню і зносу установок, що використовують доменний газ, вміст пилу в газі не повинен перевищувати  $10 \text{ мг/м}^3$ . Для очищення доменного газу застосовують сухі і мокрі способи очищення, на основі яких розроблені газоочисні пристрої різних типів. Вибір методу очищення газу, його технологічної схеми і типа газоочисних апаратів для досягнення максимальної ефективності пиловловлювання при мінімальних, капітальних і експлуатаційних витратах залежать від умов роботи доменної печі, властивостей пилу і величини

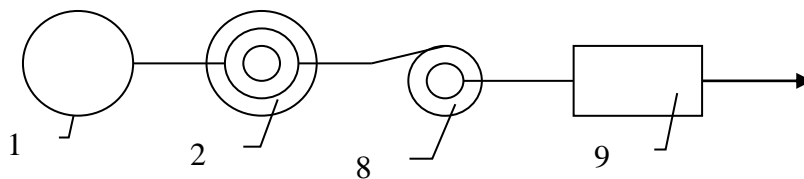
винесення, вимоги споживачів до якості очищення газу. Як правило, для очищення доменного газу до необхідної глибини застосовують багатоступінчасте очищення, яке передбачає його знепилення не менше, чим в трьох-чотирьох послідовно включених апаратах.

Доменний газ послідовно піддається трьом стадіям очищення: грубою, напівтонкою і тонкою. Грубе очищення газу передбачає відділення найбільш крупних часток, розміром більше 0,1 мм. Її, як правило, завжди здійснюють в сухих радіальних пиловловлювачах. Напівтонке очищення газу дозволяє осадити частки пилу розміром до 0,02мм і очистити газ до вмісту пилу в нім 0,6-1,6 г/м<sup>3</sup>. Тонке очищення доменного газу дозволяє очистити газ до вмісту пилу в нім 10 мг/м<sup>3</sup> [4].

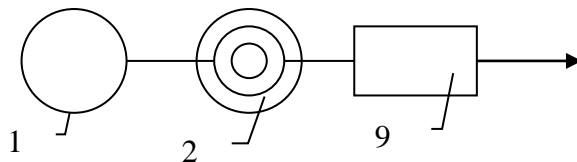
Вживані схеми очищення доменного газу представлені на рис. 2.1.



д)



е)



1 – доменна піч; 2 – сухий пиловловлювач; 3 – скруббер; 4 – труба Вентурі;  
 5 – краплевловлювач; 6 – дросельна група; 7 – мокрий електрофільтр;  
 8 – центробіжний пиловловлювач; 9 – сухий електрофільтр або мішечний фільтр.

Рисунок 2.1 – Схеми очищення доменного газу

На комбінаті «Запорозсталь» в даний час експлуатується газоочисна установка за схемою: доменна піч  $\Rightarrow$  сухий інерційний пиловловлювач  $\Rightarrow$  форсуночний скруббер  $\Rightarrow$  скруббер Вентурі  $\Rightarrow$  дросельна група (рис. 2.1 а).

Дана схема очищення, як і інші схеми мокрих газоочисток, має наступні переваги:

1. Простота конструкції;
2. Менші габаритні розміри, в порівнянні з тканинним фільтром і електрофільтром;

3. Можливість використання при високій температурі і вологості газів.

Проте, даній схемі, як і іншим мокрим газоочисткам, властиві і недоліки:

1. Велика витрата води на очищення газу, що обусловлює необхідність вживання дорогого і складного оборотного циклу водопостачання шламового

господарства;

2. Охолодження доменного газу в процесі очищення і отже втрати величезної кількості фізичного тепла.

3. Здобуття уловленого пилу у вигляді шламу, що утрудняє повернення у виробництво уловленого продукту.

4. Присутність вологи в газі обумовлює корозію газовідводів і корпусів апаратів.

5. Великі втрати тиску в дросельній групі, які не відновлюються навіть частково.

### **2.3 Вибір і обґрунтування принципової схеми газоочисної установки**

У кваліфікаційній роботі пропонується сухе очищення газу в мішечному фільтрі, з подальшим використанням енергії доменного газу в газовій утилізаційній безкомпресорній турбіні (ГУБТ).

Така схема очищення доменного газу дозволяє повністю зберегти фізичне тепло газу і відмовитися від підігрівання газу перед ГУБТ.

Обов'язкове підігрівання доменного газу перед його вступом в газову турбіну при мокрому очищенні, окрім зайвих витрат на нагрів, також істотно ускладнює відносно просту установку турбіни, оскільки підігрівачі доменного газу громіздкі і перевищують вимоги до експлуатації. Вартість підігрівачів складає близько 60% вартості всієї установки ГУБТ. Після ГУБТ потрібно спеціально охолоджувати газ, оскільки подавати газ в мережу газопроводів заводу з температурою вище 60° С недопустимо. Отже, тепло спеціально витрачене на нагрів газу перед ГУБТ, надалі не утилізується і практично втрачається, економічно це не виправдано.

При використанні сухих установок тонкого очищення доменного газу вологовміст газу зберігається до утилізації його енергії в турбіні, що забезпечує деякий приріст потужності генератора, оскільки густина

доменного газу зростає. При вживанні мокрої газоочистки знижується температура газу, відповідно зменшується і вологовміст газу.

Вживання мішечного фільтру перед турбіною виправдане тим, що він чинить порівняно невеликий опір, що зберігає потенційну енергію газу для корисного використання в ГУБТ, оскільки навіть незначна втрата тиску газу перед ГУБТ призводить до істотного зниження корисної потужності. [10]

В період експлуатації мокрої газоочистки можливі різні аварійні ситуації. Порушення режиму водопостачання веде до серйозних ускладнень в роботі системи газоочистки, що може спричинити зупинку доменної печі і можливе виділення доменного газу і отруєння значної території. При вживанні мішечного фільтру такі ситуації виключені.

Використання електрофільтрів має ряд недоліків, в порівнянні з мішечними фільтрами. Найбільш істотним недоліком цих апаратів є те, що в електрофільтрі можуть осідати лише речовини, що знаходяться в зваженому стані, тобто у вигляді пилу або туману. У ньому не можна відокремити один газ від іншого або від пари без попередньої конденсації цієї пари в озон або туман, або без здійснення хімічних реакцій по перекладу уловлюваного компонента з газу в твердий стан. Слід підкреслити, що ефективність роботи електрофільтру залежить від постійності параметрів газів, що очищаються, зокрема від температури і запиленості. А при виробництві чавуну маємо справу з періодичним процесом. Температура і запиленість змінюються по ходу плавки, а це знижує ефективність роботи апарату. Також, електрофільтри не рекомендується застосовувати для очищення газів в доменному виробництві, оскільки доменний газ є вибухонебезпечною сумішшю і при роботі електрофільтру неминуче виникнення іскрових розрядів.

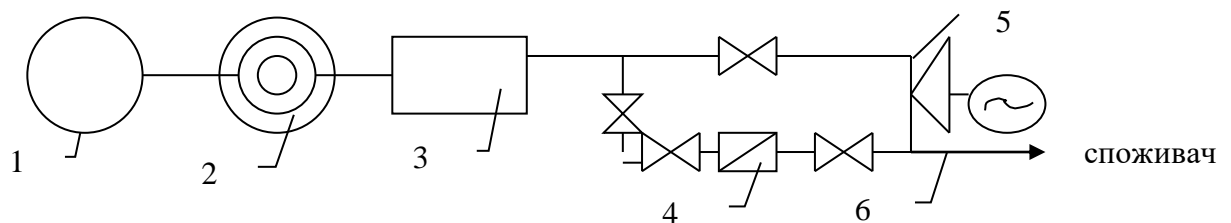
Враховуючи недоліки при очищенні газів в мокрих апаратах і електрофільтрах, тканинні фільтри виявляються найбільш перспективними для очищення газів доменних печей.

Тканинні фільтри володіють наступними перевагами в порівнянні з

іншими газоочисними апаратами:

- 1 більш високою мірою очищення газів від зважених часток, чим в газоочисних апаратах інших типів; фільтри здатні забезпечити практично повне уловлювання часток всіх розмірів, включаючи субмікронні;
- 2 універсальністю (здатністю уловлювати тверді частки в сухому вигляді і мокрі частки);
- 3 можливістю управління частками при будь-якому тиску газів (атмосферному, а також вище і нижче атмосферного);
- 4 хорошою мірою очищення при малих концентраціях зважених часток в газах, що очищаються (долі міліграм на 1 м<sup>3</sup> газів, що очищаються);
- 5 можливістю повної автоматизації процесу очищення газів;
- 6 стабільністю процесу очищення і меншої залежності від зміни фізико-хімічних властивостей уловлюваних часток і витрати газів, чим при електроочищенні;
- 7 простій експлуатації.

Схема очищення газів доменної печі з використанням мішечного фільтру представлена на рис. 2.2.



1 – доменна піч; 2 – сухий пиловловлювач; 3 – мішечний фільтр; 4 – дросельна група; 5 – ГУБТ; 6 – генератор.

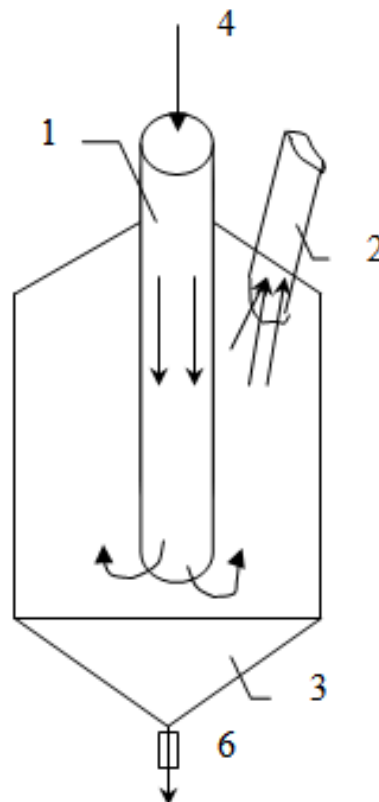
Рисунок 2.2 – Схема очищення газів доменної печі з використанням мішечного фільтру

Перший рівень очищення доменного газу (грубе очищення) здійснюють в сухому пиловловлювачі, який є вертикально розташованим циліндровим корпусом. Газ, що очищається, поступає в пиловловлювач

зверху, по центральному заходу. Виходячи з нього газ обертається на  $180^{\circ}$  і піднімається по кільцевому простору до патрубку, що відводить. Уловлений пил збирається в бункері, звідки періодично видаляється за допомогою шнека змочуваного водою. Швидкість газу у вхідному патрубку приймають рівній швидкості газу в газопроводі, тобто порядку 20 м/с, а швидкість в підіймальній частині пиловловлювача не повинна перевищувати 0,6...1 м/с.

Підвищення цієї швидкості наводить до погіршення пилоосадження, а зниження - до невиправданого збільшення габаритів пиловловлювача.

Відділення пилу в пиловловлювачі відбувається під дією сил тяжіння і інерції. Під дією сил інерції найбільш крупні частки випадають в пиловий бункер. Якщо швидкість витання менше швидкості підйому газу в пиловловлювачі, то частки виносяться за межі пиловловлювача. Схема радіального пиловловлювача представлена на рис. 2.3.

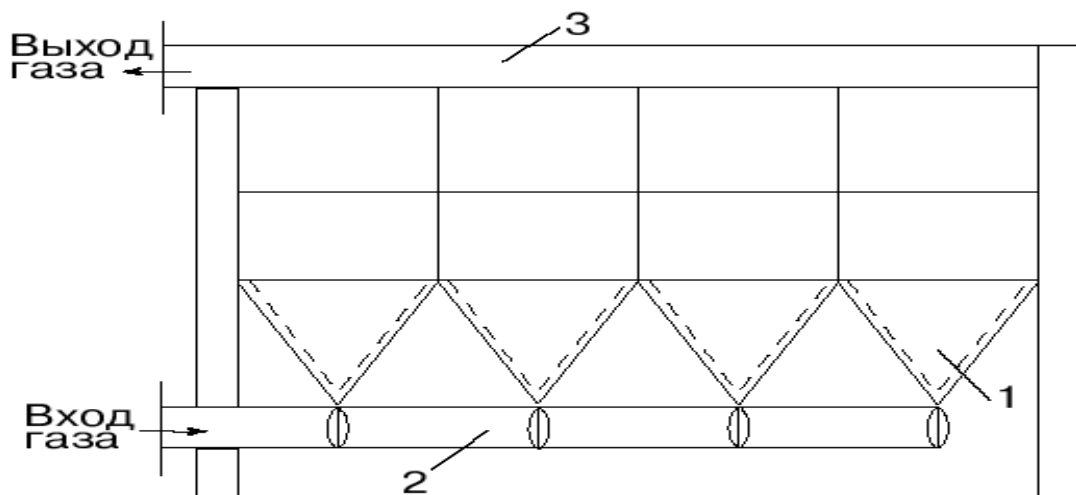


1 – центральний газохід; 2 – патрубок, що відводить; 3 – бункер; 4 – брудний хід; 5 – очищений газ; 6 – пил на утилізацію.

Рисунок 2.3 – Схема радіального пиловловлювача

У пиловловлювачі уловлюють до 65-75% всього пилю, що міститься в газовому потоці, що виходить з доменної печі. Втрата тиску в радіальному пиловловлювачі зазвичай не перевищує 200-300 Па.

Тонке очищення газу здійснюється в мішечному фільтрі ФРО-1 2250 (рис. 2.4) – мішечний фільтр з регенерацією зворотним продуванням очищеним газом. Продувальний очищений газ від спеціального вентилятора прямує всередину камери через відкритий продувальний клапан (випускний клапан закритий). Фільтруючись через мішок у зворотному напрямі, очищений газ руйнує шар пилю, який падає в бункер, звідки видаляється за допомогою шнека, що утворився на внутрішній стороні рукава. Відпрацьований продувальний очищений газ через газовий патрубок, що підводить, поступає в газопровід не очищеного газу.



1 – мішок; 2 – центральний газохід; 3 – патрубок, що відводить.

Рисунок 2.4 – Мішечний фільтр

Як фільтрувальний матеріал використовується тефлонове волокно PTFE 521, яке має високу термостійкість (260-280° С), поверхнева щільність 521 г/м<sup>2</sup>.

Недоліками даної системи очищення доменного газу є громіздкість апаратів і відносна складність в експлуатації апаратів.



Перевагами цього методу очищення є те, що доменний газ проходить до установки ГУБТ чистим. Температура його приблизно дорівнюватиме тій, з якою він виходить з печі (170-220° С). Це дозволяє виконувати установки ГУБТ вельми простими і використовувати щонайкраще фізичне тепло доменного газу [5].

Після тонкого очищення у мішечному фільтрі, газ потрапляє у газову утилізаційну безкомпресорну турбіну (ГУБТ) для вироблення електроенергії при зниженні тиску колошникового газу. Це підвищує ефективність використання підвищеного тиску колошникового газу в результаті сухій його очистці. Для цього ми вибираємо ГУБТ – 8 Невського заводу, який як найкраще підходить для нашого виробництва за своїми параметрами, які представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Проектні параметри ГУБТ – 8

Показник	Одиниці виміру	Значення
Абсолютний тиск газу:		
- перед турбіною	МПа	0,177
- після турбіни	МПа	0,115
Температура доменного газу:		
- перед турбіною	°С	200
- після турбіни	°С	96
Витрата газу на турбіну	тис. м <sup>3</sup> /Г	220 000
Потужність на клеммах генератора	МВт	6
Внутрішній КПД турбіни	%	85
Маса турбіни	т	46

Кількість електроенергії, виробленою ГУБТ при сухій гарячій газоочистці, буде великою. Це відбувається за рахунок більш високої температури газу перед ГУБТ, а також декілька більшого тиску. Таким

чином, при сухих гарячих газоочистках установки ГУБТ виходять особливо ефективними як за економічними, так і по енергетичними показниками.

Перевагою сухих гарячих газоочисток в порівнянні з мокрими є відсутність дорогого і складного в експлуатації і утилізації водного і шламового господарства. Газорозширювальна турбіна ГУБТ, здійснює необхідний підпір тиску газу на колошнику доменної печі за рахунок власного опору, пропускаючи газ через лопатки робочого колеса (ротора турбіни) утилізує його тиск: генератор, що має загальний вал, виробляє електричну енергію. Для забезпечення стійкої роботи турбіни і генератора витрата газу має бути стабільною. Для забезпечення цієї вимоги в тракці газоочистки встановлюється дросельна група, що шунтує турбіну і пропускає деяку кількість газу, що йде понад номінальної потужності турбіни.

Використовувати в схемі газоочистки ГУБТ економічно вигідно, тому що електроенергія, що виробляється її генератором, трохи дешевше, отримуваною на ТЕС і ГЕС.

Параметри газу, що подається на ГУБТ, визначають її ефективність (вироблення електроенергії). Цими параметрами є тиск, температура і вологовміст газу.

Тиск газу перед ГУБТ залежить від режиму роботи доменної печі і опору газового тракту газоочистки. Чим вище тиск газу перед ГУБТ, тим більше його кількість в одиницю часу буде пропущена через турбіну і тим більше електроенергії буде вироблено генератором. Тому, перехід печі на більш високий тиск газу, на колошнику забезпечує ефективнішу роботу ГУБТ. При глибокому падінні тиску витрата газу через турбіну знижується настільки, що генератор переходить в моторний режим, тобто, припиняючи вироблення електроенергії, стає її споживачем, оскільки підключений в загальну систему електропостачання заводу. Такий режим роботи ГУБТ небажаний, оскільки, хоча і не викликає яких-небудь порушень в роботі устаткування, є економічно збитковим і може бути причиною ряду ускладнень в роботі газового тракту.

Температура газу перед ГУБТ залежить від режиму роботи доменної печі і методу очищення доменного газу. Чим вище температура газу, тим більш надійно працює ГУБТ. У турбіні в період дроселювання газ розширюється (об'єм газу збільшується із зменшенням тиску), що супроводжується зниженням його температури. Це, у свою чергу, викликає конденсацію вологи. Тому для попередження конденсації вологи температура газу перед турбіною має бути такою, аби температура газу, що виходить з турбіни, була не нижча за точку роси. В цьому випадку здатність газу утримувати вологу в ГУБТ відбуватися не буде.

Вологовміст газу перед ГУБТ залежить від режиму роботи доменної печі, методу очищення газу і відстані від ГУБТ до газоочистки. При значному віддаленні ГУБТ від газоочистки доменний газ в період його транспортування по газопроводу охолоджується, що супроводжується утворенням краплинної вологи в потоці газу, яка випадає в турбіні при дроселюванні. Виникає необхідність пристрою в додатковому краплеутримувачі або проміжному газопідігрівачі.

Таким чином, включення в газовий тракт ГУБТ не викликає яких-небудь труднощів в роботі доменної печі, але вимагає чіткого взаємозв'язку персоналу, що здійснює експлуатацію доменної печі, газоочистки і ГУБТ.

## 2.4 Розрахунок апаратів очищення доменного газу

Розрахунок радіального пиловловлювача [6]. Вихідні дані:

- Об'єм газів, що поступають на очищення, $Q_{н.у}$	220 000 м <sup>3</sup> /г
- Температура газу, $t_r$	226,88 <sup>0</sup> С
- Барометричний тиск, В	98 кПа
- Початкова запилена газів, $z_1$	12 г/м <sup>3</sup>
- Надлишковий тиск, $P_r$	178,91 кПа
- Густина пилу, $\rho_d$	3500 кг/м <sup>3</sup>
- Діаметр найменших вловлюваних часток, $d_e$	0,13 мм

Склад доменного газу:  $\text{CO}_2$  – 11,3% ,  $\text{CO}$  – 29%,  $\text{CH}_4$  – 0,2%,  $\text{H}_2$  – 4,3%,  
 $\text{O}_2+\text{N}$  – 55,2%.

Дисперсний склад пилу перед радіальним пиловловлювачем  
 представлено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Дисперсний склад пилу

Розмір часток	>200	200-100	100-60	60-20	20-10	10-1	<1
Процентний вміст, %	34,5	12,3	19,0	25,0	7,5	1,65	0,05

Загальний опір радіального пиловловлювача:

$$\Delta P_{p.p.} = 180 - \Delta P_{1-2} = 180 - 1,087 = 178,91 \text{ кПа}$$

Густина суміші газів за нормальних умов:

$$\rho_{ог} = 0,01 \sum \rho_i r_i,$$

де  $\rho_i$  – густина компонента газової суміші,  $\text{кг/м}^3$

$r_i$  – об'ємний вміст кожного компонента газової суміші, %

По додатку 1 [6]  $\rho_{o\text{CO}_2} = 1,96 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{o\text{CO}} = 1,25 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{o\text{CH}_4} =$   
 $0,714 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{o\text{H}_2} = 0,089 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{o\text{N}_2} = 1,25 \text{ кг/м}^3$ .

$$\rho_{ог} = 0,01(11,3 \cdot 1,96 + 29 \cdot 1,25 + 0,2 \cdot 0,714 + 4,3 \cdot 0,089 + 55,2 \cdot 1,25) = 1,279 \text{ кг/м}^3.$$

Густина газової суміші за робочих умов,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho_t = \rho_o \cdot (273 / 273 + t_r) \cdot (B + P_r / B_{н.у}),$$

де  $t_r$  – температура газу,  $t_r$  226,88° С;

$B$  – барометричний тиск, 98 кПа;

$B_{н.у.}$  – барометричний тиск за нормальних умов, 101,3 кПа;

$P_r$  – надлишковий тиск доменного газу, 178,91 кПа;

$\rho_o$  – густина суміші газів, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_t = 1,279 \cdot \frac{273}{273 + 226,88} \cdot \frac{98 + 178,91}{101,3} = 1,93 \text{ кг/м}^3.$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості газу для кожного компонента газової суміші визначається, Па·с:

$$\mu = \mu_o \cdot (273 + C' / T + C') \cdot (T / 273)^{1,5},$$

де  $\mu_o$  – динамічний коефіцієнт в'язкості газу за нормальних умов газу, Па·с, приймаємо по додатку 1 [6]:  $\mu_{oCO_2} = 13,7 \cdot 10^{-6}$  Па·с,  $\mu_{oCO} = 16,6 \cdot 10^{-6}$  Па·с,  $\mu_{oCH_4} = 10,3 \cdot 10^{-6}$  Па·с,  $\mu_{oH_2} = 8,42 \cdot 10^{-6}$  Па·с,  $\mu_{oN_2} = 17 \cdot 10^{-6}$  Па·с;

$C'$  - постійна Сезерленда,  $C'_{CO_2} = 254$ ,  $C'_{CO} = 100$ ,  $C'_{CH_4} = 162$ ,  $C'_{H_2} = 73$ ,  $C'_{N_2} = 114$ ;

$$\mu_{CO_2} = 13,7 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 254/226,88 + 254) \cdot (226,88/273)^{1,5} = 23,9 \cdot 10^{-6} \text{ Па·с},$$

$$\mu_{CO} = 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 100 / 226,88 + 100) \cdot (226,88 / 273)^{1,5} = 25,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па·с},$$

$$\mu_{CH_4} = 10,3 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 162 / 226,88 + 162) \cdot (226,88 / 273)^{1,5} = 16,9 \cdot 10^{-6} \text{ Па·с},$$

$$\mu_{H_2} = 8,42 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 73 / 226,88 + 73) \cdot (226,88 / 273)^{1,5} = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ Па·с},$$

$$\mu_{N_2} = 17 \cdot 10^{-6} \cdot (273 + 114 / 226,88 + 114) \cdot (226,88 / 273)^{1,5} = 26,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па·с}.$$

4. Динамічна в'язкість газової суміші:

$$\mu_r = 0,01 \cdot \sum \mu_i r_i, \text{ Па·с},$$

де  $\mu_i$  – динамічна в'язкість кожного компонента газової суміші за робочих умов, Па·с:

$$\begin{aligned}\mu_r &= 0,01 \cdot (23,9 \cdot 11,3 + 25,7 \cdot 29 + 16,9 \cdot 0,2 + 12,6 \cdot 4,3 + 26,7 \cdot 55,2) \cdot 10^{-6} = \\ &= 25,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}.\end{aligned}$$

Кінематична в'язкість газової суміші:

$$\nu_r = \mu_r / \rho_t = 25,5 \cdot 10^{-6} / 1,93 = 13,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Оцінимо можливе значення числа Рейнольдса для часток пилу, при швидкості газу в радіальному пиловловлювачі  $W = 1 \text{ м/с}$ .

При такій швидкості витання часток пилу число Рейнольдса:

$$Re = 1 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} / 13,2 \cdot 10^{-6} = 9,8.$$

Отримане значення Рейнольдса знаходиться в інтервалі значень 1-10, для якого слід приймати  $A = 26,5$ , а  $n = 0,8$  [6]. В цьому випадку швидкість витання часток пилу:

$$W = (9,8 \cdot 3500 (1,3 \cdot 10^{-4})^{1,8}) / (0,75 \cdot 1,2 \cdot 26,5 \cdot 1,83 \cdot (13,2 \cdot 10^{-6})^{0,8})^{1/2-0,8} = 0,67 \text{ м/с}.$$

Обчислимо значення числа Рейнольдса при швидкості витання часток пилу:

де  $W$  – швидкість витання часток пилу –  $0,67 \text{ м/с}$

$$Re = 0,67 \cdot 1,3 \cdot 10^{-4} / 13,2 \cdot 10^{-6} = 6,3.$$

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

Прийнявши середню швидкість газу в пиловловлювачі  $W = 0,67$ , обчислимо необхідну площу перетину пиловловлювача:

$$F = Q_{\text{н.у.}} / W = 48,48 / 0,67 = 72,35 \text{ м}^2,$$

де  $Q_{\text{н.у.}}$  - об'єм газу за нормальних умов:

$$Q_{\text{н.у.}} = 220000 \cdot ((101,3 \cdot (273 + 230) / 273 \cdot (98 + 180))) = 48,48 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Прийняв  $D^2/d^2 = 10$ , отримаємо, що площа перетину пиловловлювача,  $\text{м}^2$ :

$$F = \pi/4(D^2 - d^2) = \pi/4(10 d^2 - d^2) = 9\pi/4d^2,$$

отже:

$$d = (4F/9\pi)^{0,5} = (4 \cdot 72,35 / 9 \cdot 3,14)^{0,5} = 3,2 \text{ м},$$

$$D = (10d^2)^{0,5} = 10^{0,5} \cdot 3,2 = 10,11 \text{ м}.$$

Висота циліндрової частини пиловловлювача:

$$H = 2D = 2 \cdot 10,11 = 20,22 \text{ м}.$$

Висота конусної частини:

$$H_{\text{к}} = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 10,11 = 5,05 \text{ м}.$$

Загальна висота:

$$H_{\text{заг}} = 20,22 + 5,05 = 25,27 \text{ м}.$$

Уловлювання пилу в радіальному пиловловлювачі ( $\eta$ ) складає 60-70%.

Тоді концентрація пилу в газі на виході з першого очищення:

$$z_2 = z_1(1 - \eta) = 12(1 - 0,65) = 4 \text{ г/м}^3.$$

Гідравлічний опір радіального пиловловлювача  $\Delta P_{p.п.} = 200 \text{ Па} = 0,2 \text{ кПа}$ .

Приймаю втрату температури в радіальному пиловловлювачі  $5^\circ \text{ С}$ .

**Розрахунок мішечного фільтру.** Вихідні дані:

- Об'ємні витрата газу при н. у.,  $Q_0$  220 000 м<sup>3</sup>/Г;
- Температура газу перед рукавним фільтром,  $t_r$  220,98° С;
- Надлишковий тиск,  $P_2$  178,40 кПа
- Барометричний тиск,  $B$  98 кПа
- Матеріал, що фільтрує Тефлонове волокно типу PTFE 521
- Запилена газу перед рукавним фільтром,  $z_2$  4 г/м<sup>3</sup>;
- Середній медіанний діаметр часток пилу,  $dm$  28 мкм

Дисперсний склад пилу перед мішечним фільтром представлено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6– Дисперсний склад пилу

Розмір часток, мкм	100-60	60-20	20-10	10-1	< 1
Вміст, % (по масі)	35,72	46,99	14,1	3,1	0,09

Визначимо витрату газу, що йде на фільтрування при робочих умовах, м<sup>3</sup>/Г:

$$Q_r = Q_0 \left( \frac{273 + t_r}{273} \right) \frac{101,3}{B \pm P_2},$$

де  $Q_0$  - об'єм газу що поступає на очищення при нормальних умовах, м<sup>3</sup>/Г;

$B$  – барометричний тиск, кПа;

$P_2$  – тиск газу що поступає на очищення, кПа.

Витрата газу в мішечному фільтрі:

$$Q_r = Q_0 \cdot \frac{273 + t_r}{273} \cdot \frac{101,3}{(98 + P_2)} = 220000 \cdot \frac{273 + 220,98}{273} \cdot \frac{101,3}{(98 + 178,4)} = 155896 \text{ м}^3/\text{Г}.$$

Витрата газу за робочих умов:



$$Q_{\Gamma} = 155896 \text{ м}^3/\Gamma = 43,3 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Густина газової суміші за робочих умов:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_0 \frac{273(B + P_{\Gamma})}{(273 + t_{cp})101,3} = 1,28 \frac{273(98 + 178,40)}{(273 + 220,98)101,3} = 1,93 \text{ кг} / \text{м}^3,$$

де  $t_{\Gamma}$  – температура газу,  $220,98^{\circ} \text{C}$ ;

$B$  – барометричний тиск,  $98 \text{ кПа}$ ;

$B_0$  – барометричний тиск за нормальних умов,  $101,3 \text{ кПа}$ ;

$P_{\Gamma}$  – надлишковий тиск доменного газу,  $P_{\Gamma} = 178,40 \text{ кПа}$ ;

$\rho_0$  – густина суміші газів,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Динамічний коефіцієнт в'язкості розраховуємо по формулі:

$$\mu_i = \mu_0 \cdot (273 + C' / T + C') \cdot (T / 273)^{1,5},$$

де  $\mu_0$  – динамічний коефіцієнт в'язкості газу за нормальних умов,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;

$C'$  – постійна Сезерленда.

$$\mu_{\text{CO}} = 16,6 \cdot 10^{-6} (273 + 100 / 220,98 + 100) \cdot (220,98 / 273)^{1,5} = 0,00061 \text{ Па}\cdot\text{с},$$

$$\mu_{\text{CO}_2} = 13,7 \cdot 10^{-6} (273 + 254 / 220,98 + 254) \cdot (220,98 / 273)^{1,5} = 0,00012 \text{ Па}\cdot\text{с},$$

$$\mu_{\text{CH}_4} = 10,3 \cdot 10^{-6} (273 + 162 / 220,98 + 162) \cdot (220,98 / 273)^{1,5} = 0,00019 \text{ Па}\cdot\text{с},$$

$$\mu_{\text{H}_2} = 8,42 \cdot 10^{-6} (273 + 73 / 220,98 + 73) \cdot (220,98 / 273)^{1,5} = 0,00052 \text{ Па}\cdot\text{с},$$

$$\mu_{\text{N}_2} = 17 \cdot 10^{-6} (273 + 144 / 220,98 + 144) \cdot (220,98 / 273)^{1,5} = 0,000023 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості суміші газів, Па·с:

$$\mu = 0,01 \cdot \sum \mu_i r_i,$$

де  $\mu_i$  - динамічний коефіцієнт в'язкості компонентів суміші, Па·с

$r_i$  – вміст компонентів в газовій суміші.

$$\begin{aligned} \mu &= 0,01 \cdot (0,00012 \cdot 11,3 + 0,00061 \cdot 29 + 0,00019 \cdot 0,2 + 0,00052 \cdot 4,3 + 0,000023 \cdot 55,2) = \\ &= 16,6 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

Пористість шару пилу визначається по формулі:

$$\varepsilon_n = 1 - 79 d_m^{0,47},$$

де  $d_m$  – середньомедіанний розмір часток пилу, м,

$$\varepsilon_n = 1 - 79(28 \cdot 10^{-6})^{0,47} = 0,43.$$

Питомий гідравлічний опір тканині  $h_0$ , віднесений до товщини, рівною 1м, для склотканини  $h_0 = 8,4 \cdot 10^5$  Па.

Значення коефіцієнтів А визначимо по формулі:

$$A = 670 \cdot 10^{-6} (1 - \varepsilon_n)^2 \varepsilon_{\text{тк}}^3 \cdot h_0^{2/3} / d_m^{1,75} \cdot \varepsilon_n^3,$$

де  $\varepsilon_n$  - пористість шару пилу;

$\varepsilon_{\text{тк}}$  – пористість тканини, долі ед.,  $\varepsilon_{\text{тк}}=55$ ;

$d_m$  – середньомедіанний розмір часток пилу,  $d_m=28 \cdot 10^{-6}$  м.

$$A = 670 \cdot 10^{-6} (1 - 0,43)^2 0,55^3 \cdot (8,4 \cdot 10^5)^{2/3} / ((28 \cdot 10^{-6})^{1,75} \cdot (0,43)^3) = 3,77 \cdot 10^8 \text{ м}.$$

Коефіцієнт  $\beta$  розраховуємо по формулі:

$$\beta = 817(1 - \varepsilon_n) / d_m^2 \cdot \varepsilon_n^3 \cdot \rho_r$$

де  $\rho_r$  – густина часток пилю, 3500 кг/м<sup>3</sup>,

$$\beta = 817(1 - 0,43) / ((28 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,43^3 \cdot 3500 = 2,13 \cdot 10^9.$$

Період між регенераціями визначаємо по формулі:

$$t_\phi = ((\Delta P_\phi / \mu \omega_\phi) - A) / \beta \cdot \omega_\phi \cdot z_2,$$

де  $\Delta P_\phi$  – гідравлічний опір фільтру,  $\Delta P_\phi = 1800$  Па;

$\mu$  - динамічний коефіцієнт в'язкості газу, Па·с;

$\omega_\phi$  – швидкість фільтрування, 0,025 м/с;

$z_2$  – початкова запилена газу, 4 г/м<sup>3</sup>.

$$t_\phi = ((1800 / 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,025) - 3,77 \cdot 10^8) / 2,13 \cdot 10^9 \cdot 0,025 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 2,3 \text{ г.}$$

Витрата доменного газу на регенерацію визначаємо по формулі:

$$Q_p = 0,2 \cdot Q_r,$$

де  $Q_r$  – витрата доменного газу за робочих умов, м<sup>3</sup>/г;

0,2 – коефіцієнт, що враховує витрату газу на зворотну продувку, рівний 20% витрати газів, що підводяться до фільтру.

$$Q_p = 0,2 \cdot 155896 = 31179,2 \text{ м}^3/\text{г.}$$

Фактична швидкість фільтрування:

$$\omega_{\text{ф факт.}} = Q_{\Gamma} / F_c = 43,3 / 2250 = 0,019 \text{ м/с} = 1,15 \text{ м/хв.}$$

Визначимо необхідну площу фільтрування:

$$F_{\text{ф}} = (Q_{\Gamma} + Q_p) / 60 \cdot q_{\text{ф}},$$

де  $q_{\text{ф}}$  – допустиме газове навантаження на фільтр,  $q_{\text{ф}} = 1,5 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{хв.}$

$$F_{\text{ф}} = (155896 + 31179,2) / 60 \cdot 1,5 = 2100,6 \text{ м}^2.$$

Підбираємо фільтр марки ФО-1 2250, з площею фільтрування  $F_c = 2250 \text{ м}^2$ ; діаметр мішків 200 мм і довжина їх 5000 мм. В фільтрі встановлено 9 камер з 80 мішками в одній камері. На корпусі встановлені ребра жорсткості (оскільки тиск газу великий). Споживча потужність 3,8 кВт. Фільтри типа ФО призначені для уловлювання різного пилю і возгонів в чорній і кольоровій металургії.

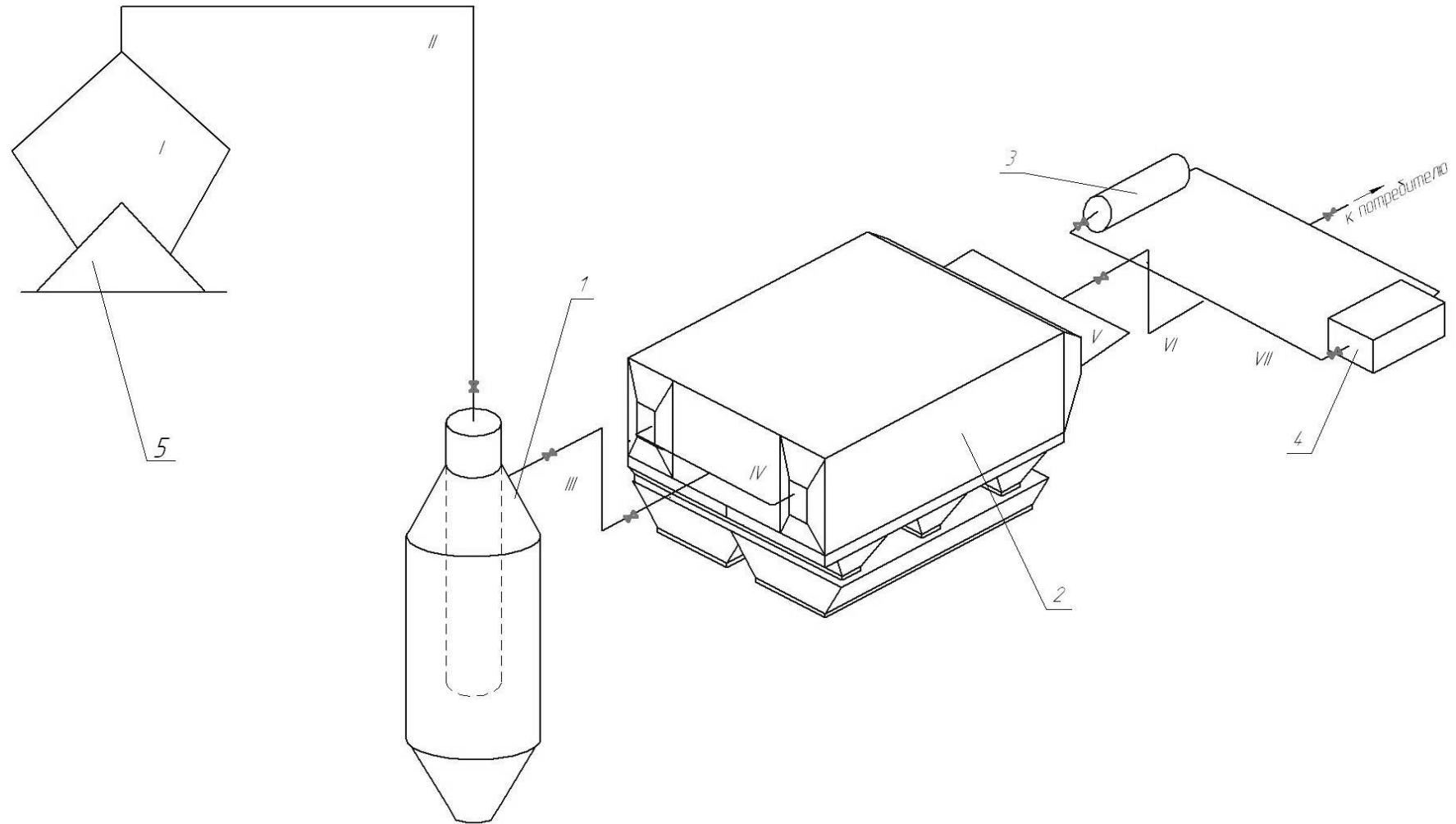
Ефективність уловлювання пилю в мішечному фільтрі складає 99,8 %. Тоді концентрація пилю в газі на виході з мішечного фільтру  $\text{г/м}^3$  визначається по формулі:

$$z_3 = z_2(1 - 0,998) = 4(1 - 0,998) = 0,008 \text{ г/м}^3,$$

де  $z_2$  – початкова запилена газу,  $\text{г/м}^3$ .

## 2.5 Аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту

**Розрахунок ділянки I, II (доменна піч - радіальний пиловловлювач).** На рис. 2.5 представлена схема газовідвідного тракту, що розраховується.



1 - радіальний пиловловлювач; 2- мішечний фільтр; 3- ГУБТ; 4- дросельна група; 5- доменна піч, I-V – газопроводи

Рисунок 2.5 – Схема газового тракту

Вихідні дані:

- Температура газу,  $t_f$  230° С
- Барометричний тиск, В 98 кПа
- Тиск після печі (надлишковий),  $P_2$  180 кПа
- Витрата газу за нормальних умов,  $Q_{н.у.}(q)$  220000 м<sup>3</sup>/Г чи 48,48 м<sup>3</sup>/с.

Дисперсний склад пилу на ділянках I, II представлено в таблиці 2.7, а склад газу в таблиці 2.8.

Таблиця 2.7 – Дисперсний склад пилу

Розмір часток	>200	200-100	100-60	60-20	20-10	10-1	<1
Процентний вміст, %	34,5	12,3	19,0	25,0	7,5	1,65	0,05

Таблиця 2.8 – Склад газу

Компонент	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>
Вміст, % об.	11,3	29,0	4,3	0,2	55,2
Густина за н.у.	1,96	1,25	0,089	0,714	1,25

Густина газу за нормальних умов:

$$\rho_{oz} = \frac{1}{100} \sum a_i \cdot \rho_{oi},$$

де  $a_i$  – вміст і-того компонента в об'ємних відсотках;

$\rho_{oi}$  – густина і-того компонента при НФУ, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_{oz} = \frac{11,3 \cdot 1,96 + 29,0 \cdot 1,25 + 4,3 \cdot 0,089 + 0,2 \cdot 0,714 + 55,2 \cdot 1,25}{100} = 1,28 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахунок температури в кінці розрахункової ділянки. Приймаємо довжини ділянок:  $L_1 = 25$  м  $L_2 = 79$  м.

Температура газу в кінці розрахункової ділянки 1 при зниженні температури на 1 м довжини газоходу  $0,03^{\circ}\text{C}$  [6]:

$$t_{k1} = t_2 - 0,03L_1 = 230 - 0,03 \cdot 25 = 229,25^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура на розрахунковій ділянці 1:

$$t_{cp1} = \frac{t_2 + t_k}{2} = \frac{230 + 229,25}{2} = 229,63^{\circ}\text{C}.$$

Густина газу на розрахунковій ділянці 1:

$$\rho_{z1} = \rho_0 \frac{273(P_a \pm P_z)}{(273 + t_{cp})101,3} = 1,28 \frac{273(98 + 180)}{(273 + 229,63)101,3} = 1,90 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Витрата газу за робочих умов 1 – ої ділянки:

$$Q_{p.y.1} = Q_{n.y.} \cdot \frac{\rho_{n.y.}}{\rho_z} = 48,48 \cdot \frac{1,28}{1,90} = 32,66 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Приймаю  $Q_{p.y.1} = 32,7 \text{ м}^3$ .

Розрахунок аеродинаміки 1-ої ділянки:

Приймаю швидкість газу в газоході  $W = 15 \text{ м/с}$ .

Діаметр 1-ої ділянки газоходу:

$$d_{M1} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_{p.y.}}{W}} = 1,13 \sqrt{\frac{32,7}{15 \cdot 2}} = 1,18 \text{ м},$$

приймаю діаметр газоходу 1,2 м.

Фактична швидкість газу 1-ої ділянки:

$$W_1 = 1,27 \frac{Qp \cdot y}{d^2} = 1,27 \frac{32,7}{1,2^2 \cdot 2} = 14,3 \text{ м/с}.$$

Коефіцієнт опору тертю:

$$\lambda_1 = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{d}} = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{1,2}} = 0,033.$$

Опір 1-ої ділянки:

$$\Delta P_{I1} = \lambda \frac{l \cdot W^2}{d \cdot 2} \rho = 0,033 \frac{25 \cdot 14,3^2}{1,2 \cdot 2} 1,90 = 134,66 \text{ Па},$$

приймаю 135 Па.

Місцеві опори 1-ої ділянки. Поворот на  $120^\circ$   $\zeta=1,275$ . З'єднання потоку  $\zeta=1,25$ . Сума місцевих опорів:

$$\Delta P_{M1} = \sum \zeta \frac{W^2}{2} \rho = (1,275 + 1,25) \cdot \frac{14,3^2}{2} 1,90 = 493,1 \text{ Па}.$$

Приймаю 493 Па.

$$\Delta P_1 = \Delta P_{I1} + \Delta P_{M1} = 135 + 493 = 628 \text{ Па} = 0,628 \text{ кПа}.$$

Розрахунок аеродинаміки 2-ої ділянки:

Температура в кінці 2-ї розрахункової ділянки:

$$t_{\kappa 2} = t_{n2} - 0,03L_2 = 229,25 - 79 \cdot 0,03 = 226,88^\circ \text{C}.$$

Середня температура на розрахунковій ділянці 2:

$$t_{cp2} = \frac{t_{n2} + t_{\kappa 2}}{2} = \frac{229,25 + 226,88}{2} = 228,06^\circ \text{C}.$$

Густина газу на розрахунковій ділянці 2:



$$\rho_{z2} = \rho_0 \frac{273(Ba + (P_2 - \Delta P_1))}{(273 + t_{cp})101,3} = 1,28 \frac{273(98 + (179,37 - 0,628))}{(273 + 228,06)101,3} = 1,91 \text{ кг/м}^3.$$

Витрата газу за робочих умов 2 – ої ділянки:

$$\begin{aligned} Q_{p.y.2} &= Q_{н.у.} \cdot \frac{273 + t_{cp2}}{273} * \frac{101,3}{(98 + (180 - \Delta P_1))} = \\ &= 48,48 \cdot \frac{273 + 228,06}{273} * \frac{101,3}{(98 + (180 - 0,628))} = 32,48 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

Приймаю  $Q_{p.y.2} = 32,5 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Приймаю швидкість газу в газоході  $W = 16,7 \text{ м/с}$ .

Діаметр 2 – ої ділянки газоходу:

$$d_{M2} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_{p.y.}}{W}} = 1,13 \sqrt{\frac{32,5}{16,7}} = 1,93 \text{ м},$$

приймаю діаметр газоходу 2 м.

Фактична швидкість газу 2- ої ділянки:

$$W_2 = 1,27 \frac{Q_{p.y.}}{d^2} = 1,27 \frac{32,5}{2^2} = 10,3 \text{ м/с}.$$

Коефіцієнт опору тертю:

$$\lambda_2 = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{d}} = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{2}} = 0,03.$$

Опір 2 – ої ділянки:

$$\Delta P_{l2} = \lambda \frac{l \cdot W^2}{d \cdot 2} \rho = 0,03 \frac{79 \cdot 10,3^2}{2 \cdot 2} 1,91 = 268,6 \text{ Па}.$$

Приймаю 269 Па.

Місцеві опори 2-ої ділянки: 2 поворота на  $90^0$   $\zeta = 0,39$ . Задвижка  $\zeta = 0,06$ .

Сума місцевих опорів:

$$\Delta P_{M_2} = \sum \zeta \frac{W^2}{2} \rho g = (0,39 \cdot 2 + 0,06) \cdot \frac{10,3^2}{2} \cdot 1,91 = 190,25 \text{ Па.}$$

Приймаю 190 Па.

$$\Delta P_2 = \Delta P_{l_2} + \Delta P_{M_2} = 269 + 190 = 459 \text{ Па} = 0,459 \text{ кПа.}$$

Сумарний опір ділянок 1-2 складе:

$$\Sigma \Delta P_{l_{1-2}} = 135 + 269 = 404 \text{ Па} = 0,404 \text{ кПа.}$$

Сума місцевих опорів на ділянці 1-2:

$$\Sigma \Delta P_{M_{1-2}} = 493 + 190 = 683 \text{ Па} = 0,683 \text{ кПа.}$$

Загальний опір 1-ої та 2-ої ділянок:

$$\Delta P_{1-2} = \Delta P_{l_{1-2}} + \Delta P_{M_{1-2}} = 404 + 683 = 1087 \text{ Па} = 1,087 \text{ кПа.}$$

**Розрахунок III -ї ділянки.** Вихідні дані:

- |  |  |
|--|--|
| - Довжина 3-ої ділянки, $L_3$                    | 30 м   |
| - Температура газу, $t_g$                        | 221,88° С  |
| - Барометричний тиск, В                          | 98 кПа   |
| - Надлишковий тиск, $P_2$                        | 178,71 кПа   |
| - Витрата газу за нормальних умов, $Q_{н.у}$ (q) | 220000 м <sup>3</sup> /Г чи 48,48 м <sup>3</sup> /с. |

Температура на початку та наприкінці 3-ої ділянки:

$$t_{н3} = 226,88 - 5 = 221,88^\circ \text{ С.}$$

$$t_{k3} = 221,88 - l_3 \cdot 0,03 = 221,88 - 30 \cdot 0,03 = 220,98^\circ \text{C}.$$

Середня температура на 3-й ділянці:

$$t_{cp3} = \frac{221,88 + 220,98}{2} = 221,43^\circ \text{C}.$$

Густина газу на розрахунковій ділянці 3 за робочих умов:

$$\rho_{r3} = \rho_0 \frac{273(B + P_2)}{(273 + t_{cp})101,3} = 1,28 \frac{273(98 + 178,71)}{(273 + 221,43)101,3} = 1,93 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Витрата газу за робочих умов 3 – ої ділянки:

$$\begin{aligned} Q_{p,y3} &= Q_{н.у.} \cdot \frac{273 + t_{cp3}}{273} \cdot \frac{101,3}{(B + P_2)} = \\ &= 48,48 \cdot \frac{273 + 221,88}{273} \cdot \frac{101,3}{(98 + 178,71)} = 32,17 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

Приймаю  $Q_{p,y3} = 32,2 \text{ м}^3/\text{с}$ . Приймаю швидкість газу в газоході  $W = 16,0 \text{ /с}$ .

Діаметр 3-ої ділянки газоходу:

$$d_{m3} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_{p,y.}}{W}} = 1,13 \sqrt{\frac{32,2}{16,0}} = 1,97 \text{ м},$$

приймаю діаметр газоходу 2 м.

Фактична швидкість газу 3- ої ділянки:

$$W_3 = 1,27 \frac{Q_{p,y.}}{d^2} = 1,27 \frac{32,2}{2^2} = 10,2 \text{ м} / \text{с}.$$

Коефіцієнт опору тертю:

$$\lambda_3 = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{d}} = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{2}} = 0,03.$$

Опір 3 – ої ділянки:

$$\Delta P_{l3} = \lambda \frac{l \cdot W^2}{d \cdot 2} \rho g = 0,03 \frac{30 \cdot 10,2^2}{2 \cdot 2} 1,93 = 102,99 \text{ Па},$$

приймаємо 103 Па.

Місцеві опори 3 - ої ділянки: 2 поворота на  $90^\circ$   $\zeta = 0,39$ , 2 задвижки  $\zeta = 0,06$ .

Сума місцевих опорів:

$$\Delta P_{M3} = \sum \zeta \frac{W^2}{2} \rho g = (0,39 \cdot 2 + 0,06 \cdot 2) \cdot \frac{10,2^2}{2} 1,93 = 205,97 \text{ Па}.$$

Приймаю 206 Па.

$$\Delta P_3 = \Delta P_{l3} + \Delta P_{M3} = 103 + 206 = 309 \text{ Па} = 0,309 \text{ кПа}$$

Аналогічно розраховуємо 4 і 5 ділянки. Результати розрахунків вносимо в таблицю 2.9.

Таким чином, вибрана і розрахована принципова схема газоочистки, що складається з радіального пиловловлювача, мішечного фільтру. Дана схема газоочистки дозволяє забезпечити концентрацію пилу в газі  $8 \text{ мг/м}^3$ . Зроблено розрахунок газовідвідного тракту, загальний гідравлічний опір якого склав 3942 Па. Для вироблення електроенергії за результатами вироблених розрахунків вибрана ГУБТ – 8.

## 2.6 Утилізація відходів доменного виробництва

Шлак, як і чавун, – кінцевий продукт доменної плавки. У доменній печі шлаки утворюються з порожньої породи рудної частини шихти, флюсів і

золи коксу. Постійність хімічного і фізичного складу залізвмісної сировини, палива і флюсів забезпечує рівний хід доменного процесу, однорідність складу і властивостей доменного чавуну і шлаку.

Таблиця 2.9 – Результати аеродинамічного розрахунку

№	Найменування	$Q_{p.y.}$ м <sup>3</sup> /с	$d_m$ , м	$W_f$ , м/с	$\rho_r$ , кг/м <sup>3</sup>	$L$ , м	$\xi$	$\Delta P_l$ , Па	$\Delta P_m$ , Па
1	Доменна піч – радіальний пиловловлювач								
	1 ділянка	32,7	1,2	14,3	1,90	25		135	493
	- 2 повороти на 120°						1,27		
	- з'єднання потоку						1,25		
	2 ділянка	32,5	2,0	103	1,91	79		269	190
	- 2 повороти на 90°						0,39		
	- засувка						0,06		
2	Радіальний пиловловлювач – мішечний фільтр								
	3 ділянка	32,2	2,0	10,2	1,93	30		103	206
	- 2 повороти на 90°						0,39		
	- 2 засувки						0,06		
3	Мішечний фільтр – ГУБТ								
	4 ділянка	32,19	1,65	15,0	1,93	30		118	291
	- 2 повороти на 90°						0,39		
	- засувка						0,06		
	- трійник						0,5		
	5 ділянка	32,19	1,71	14,1	1,93	15		51	86
	- поворот на 90°						0,39		
	- засувка						0,06		
	$P_{p.п.}=200\text{Па}; P_{m.ф.}=1800\text{ Па}$	$\Delta P = 3942\text{ Па}$							

Останнє дуже важливе для якості як чавуну, так і шлаків. Шлак, утворюючись в процесі високотемпературних реакцій, отримує великий запас теплової і хімічної енергії, чим вигідно відрізняється від первинної мінеральної сировини. Раціонально використовувати цей запас енергії при виробництві гранульованого шлаку, пористих і щільних заповнювачів, шлакової вати і шлакоситаллів – одне з найважливіших завдань виробництва.

Грануляція – найпоширеніший спосіб переробки доменних шлаків. Цементна промисловість є основним споживачем доменних гранульованих шлаків. Гранульований шлак замінює дорогий дефіцитний клінкер.

Володіючи високою гідравлічною активністю, гранульований шлак служить кошовною мінеральною добавкою до портландцементу (до 15% маси портландцементу) і багатьом іншим видам цементів, а також є одним з основних компонентів шлакопортландцементу (до 60%).

Шлакопортландцемент – гідравлічна в'язуча речовина, що твердне у воді і на повітрі, отримване шляхом спільного або роздільного тонкого подрібнення клінкеру, гіпсу (до 5 %) і гранульованого шлаку.

Шлакопортландцемент широко застосовується для виготовлення бетонів, бетонних і залізобетонних виробів, при кам'яній кладці і для штукатурної в'язки. Бетони на основі шлакових цементів володіють високою зносостійкістю, невеликою усадкою при твердінні, підвищеною довговічністю. Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що найпростіше переробляти рідкі доменні шлаки на литий щебінь. Цей матеріал застосовується для виготовлення мінеральної вати, але за відсутності в ній металевих і сторонніх включень.

Доменні рідкі шлаки є вихідною сировиною для виготовлення легкого пористого заповнювача – шлакової пемзи.

Шлакову пемзу отримують шляхом обробки розплаву струменями води, що подається гідромоніторною насадкою із швидкістю 17-20 м/с, і тиском 0,6-0,8 МПа. Спучення шлаку відбувається на каскаді гідрожелобів з двома екранами, потім спінена маса поступає на конвеєр з палетами

жолобчастого профілю, де завершуються її охолодження і кристалізація.

Мінеральна вата є волокнистим матеріалом, що отримується з силікатного розплаву, і знаходить широке вживання у виробництві теплоізоляційних матеріалів. Так, на основі мінеральної вати виготовляється понад 50% всіх теплоізоляційних матеріалів і виробів з них, призначених для ізоляції поверхонь що нагріваються до 700° С . Мінеральна вата - негорючий матеріал; він значно довговічніший в порівнянні з хімічними теплозвукоізоляційними виробами.

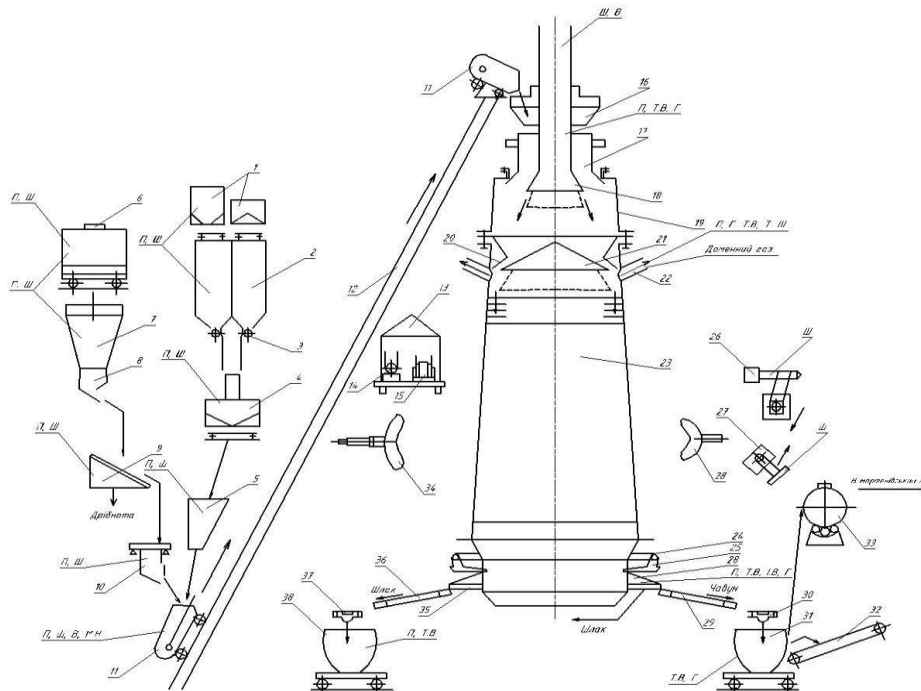
Шлакове лиття є ефективним штучним кристалічним матеріалом, що формується з розплаву з подальшою кристалізацією і термообробкою. Вироби з шлакового лиття володіють рядом коштовних властивостей: високою абразивною і хімічною стійкістю, механічною міцністю.

Уловлений пил з радіального пиловловлювача і мішечного фільтру накопичується в бункерах з якого вивантажується за допомогою шнека в біг-бегі. І оскільки пил містить близько 60% оксидів заліза, він прямує на аглофабрику де є сировиною для виробництва агломерату [5].

## РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 3.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

На рисунку 3.1 приведена схема джерел шкідливих і небезпечних чинників доменного цеху [7].



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 – машинна зала; 14 – скіпова лебідка; 15 – лебідка; 16 – приймальна воронка; 18 – малий конус; 19 – газовий затвір; 21 – великий конус; 22 – газопровід; 23 – доменна піч; 25 – фурменний прилад; 26 – пушка; 27 – свердлильна машина; 28 – чавунна льотка; 29 – жолоб; 30 – пристрій для розливання чавуну; 31 – ковш чавуновозу; 32 – розливальна машина; 33 – міксер; 35 – шлакова льотка; 37 – пристрій для розливки шлаку; 38 – чаша шлаковозу.

Рисунок 3.1 – Джерела шкідливих і небезпечних чинників доменного цеху



Оцінка чинників виробничого середовища і трудового процесу приведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінка чинників виробничого середовища і трудового процесу. Професія: вогнетривник (доменного цеху) [8]

№	Чинники виробничого середовища й трудового процесу	Нормативне значення (ПДК, ПДУ)	Фактичне значення	III клас. Шкідливі й небезпечні умови і характер праці			Тривалість чинника за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
	I клас: озон	0,1	0,18	1,8			83,5
	II клас: MnO	0,2	0,27	1,35			83,5
	III – IV клас:						
	Кремнію диоксид	1,0	1,2	1,2			
	Заліза оксид	6,0	5,2				
	Вуглецю оксид	20,0	18,3				
	Титан	10,0	7,1				
Азоту оксид	5,0	6,9	1,38			83,5	
2	Пил фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4,0	22,1			5,53	
3	Вібрація, дБ	92	96		4		83,5
4	Шум, дБ	80	83	3			83,5
5	Мікроклімат приміщень:						
	- температура повітря °С (хол./тепл. період)	15 – 26	35			9	83,5
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2...0,6	0,2				
	- відносна вологість повітря, %	< 75	75				
	- інфрачервоне випромінювання	140	7000			7000	83,5
6	Тяжкість і напруженість праці	тяжка 3					

В умовах доменного цеху шкідливим чинником є шум [9]. При виконанні деяких операцій виникає шум різного походження:

- механічного (рух електромостових кранів, машин завалень) – 95 дБ;
- термічного (згорання палив в пристроях форсунок) – 90 дБ.

Для умов доменного цеху нормативне значення шуму складе 80 дБ. Шум викликає зміни в нервовій системі, робить вплив на психіку людини, серцево-судинну систему, травлення, погіршення сну. Робота в умовах сильного шуму може викликати запаморочення, ослаблення уваги. Тривалість дії надмірного шуму супроводжується стійкими поразками і порушенням функцій слухових органів. Шум є причиною швидкого розвитку стомлення і зниження працездатності. Шум може бути непрямою причиною нещасного випадку.

В умовах доменного цеху шкідливим чинником також є вібрація [10]. Вібраційним діям піддаються ті, що працюють з ручним пневматичним інструментом. Нормативне значення вібрації в умовах доменного цеху складає 92 дБ (при частоті  $f = 1000$  Гц). Фактичне ж значення складає 96 дБ, що перевищує норму.

Дія вібрації викликає спазми судин, які розвиваються з кінцевих фаланг пальців, поширюються на всю кисть руки, передпліччя. Вібрація впливає на нервову систему, м'язи, слух. Тривала дія вібрації може привести до важковилікової вібраційної хвороби. Для умов доменного цеху прийняті наступні заходи захисту від вібрації. Ослаблення вібрації досягається амортизацією. Амортизатори виготовлені із сталевих пружин, гуми і інших матеріалів. Зменшення інтенсивності вібрації деталей агрегатів здійснюється шляхом облицювання цих поверхонь або заповнення спеціально передбачених повітряних площин в них демпферуючими матеріалами. Металеві деталі замінюють на пластмасові.

На умови праці впливають характеристики мікроклімату: температура, вологість, швидкість руху повітря, теплове випромінювання [10].

Температура повітря в приміщенні для умов доменного цеху по нормі

складає 15...26°C. В результаті періодичності проведення гарячих операцій мікроклімат цеху нестійкий. Різкі коливання температури повітря впливають на теплорегуляцію організму, знижує імунітет тих, що працюють, порушується обмін речовин.

Джерелами інтенсивних теплових випромінювань є: розплавлений чавун і шлак, нагріте до високої температури вогнетривке футерування внутрішнього простору печі і поверхня розплавленого шлаку, дія яких виявляється при відкритих вікнах печі. Робітники ливарного двору періодично піддаються дії інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів і температури джерел випромінювання і відстані складає від 0,01 до 3,6 – 7 кВт/м<sup>2</sup> [11].

### **3.2 Технічні рішення по виробничій санітарії**

**Виробничий шум, виробнича вібрація.** Найбільш шумонебезпечним устаткуванням в доменному цеху є інерційні грохоти, пальники повітрянагрівачів, віброживильники.

На постійних робочих місцях в цеху допустимий рівень шуму складає 75-80 дБ (при частоті 1000 Гц), для якого вірогідність пошкодження слуху практично дорівнює «0» при будь-якому стажі роботи. Фактичний же рівень шуму перевищує норму на 3...10 дБ, тобто складає 83...90 дБ [10].

Відчуття вібрації виникає при зіткненні частини тіла з предметами, що перебувають під впливом якої-небудь сили вагання у вертикальному або горизонтальному напрямках. Вібраційною дією в доменному цеху піддаються ті, що працюють з пневматичним ручним інструментом, горнові, грохотники і інші робітники, обслуговуючі механізми, які в тій чи іншій мірі створюють вібрацію [12].

**Опалювання і вентиляція.** Оскільки в основному категорії робіт доменного цеху відносяться до важких, то по характеристиці виробничих приміщень і по надлишках явного тепла (з врахуванням періодів року)

встановлені, відповідно до вимог санітарних норм, параметри повітряного середовища для робочої зони, які зведені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Прийняті допустимі значення параметрів повітряного середовища

Період року	Категорія робіт	Допустимі значення параметрів на постійних робочих місцях			Температура повітря поза постійними робочими місцями, °С
		Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	
Холодний	Важка - 3	13-19	<75	<0,4	12-20
Теплий	Важка - 3	15-26	<75	0,2...0,6	13-28

Опалювання виробничих приміщень слід приймати повітряне, поєднане з приточною вентиляцією.

Для захисту від теплового надлишку на ливарних дворах застосовується аерація через приточні поворотні щити в нижній зоні, Передбачається душуюча вентиляція кондиціонованим повітрям біля льоток для випуску чавуну і шлаку [12].

**Виробничі випромінювання.** З санітарно-гігієнічної точки зору умови праці на робочому майданчику печі на ливарному дворі характеризуються виділенням великої ( $t = 26-35^{\circ}\text{C}$ , інфрачервоне випромінювання  $7000 \text{ Вт/м}^2$ ) кількості надлишкового тепла, що вимагає значний повітрообмін, особливо в літній час. Для видалення надлишків тепла з робочої зони використовують аерацію, як місцеву приточну вентиляцію використовують повітряне душування. Для зменшення тепловиділення в період випуски чавуну і шлаку використовується витяжна поворотна парасолька над головним жолобом для

випуску чавуну.

Для захисту працівників від дії теплових випромінювань і профілактики опіків використовується спецодяг. Доцільно застосовувати металізовані вогнезахисті тканини на основі азбесту або скловолокна. Костюм складається з куртки і брюк. Взуття повинне мати захисний носок, який повинен оберігати пальці ніг від травмування падаючим вантажем, висота взуття має бути не менше 240 мм. Для захисту очей працівників застосовують захисні окуляри. Для попередження травм голови всі працівники забезпечуються захисними касками [12].

**Освітлення.** Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення утрудняє проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці і захворювання очей, а також може бути причиною нещасних випадків [9].

### **3.3 Заходи щодо техніки безпеки**

У доменному цеху застосовують електроустаткування постійного і змінного струму залежно від вимог, що пред'являються механізмами. Основними вимогами що пред'являються до електроустаткування, є електрична і механічна міцність конструкцій, і висока зносостійкість при важких роботах, характерних для доменного цеху.

У машинних залах доменних печей місця установок лебідок і електроустаткування відділяються скляною перегородкою.

Для забезпечення надійності і безперебійної подачі електроенергії підстанції доменного цеху живляться від двох джерел – заводської ТЕЦ і енергосистеми.

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 (розливання чавуну і шлаку), застосовують спеціальні дроти типа РКГМ. До електропроводів механізмів, схильних до сильної вібрації, електроенергію підводять шланговими кабелями типа КРПТ і ГРШСН.

При напрузі до 1000В в доменному цеху застосовують чотирихпровідну з глухозаземленою нейтраллю схему мереж трифазного струму (напругою 380/220В). Вживання інших схем мереж нераціональне. Оскільки електричні мережі доменного цеху довгі і забезпечити їх надійну ізоляцію не представляється можливим.

При напрузі вище 1000В застосовують: трипровідну з ізолюваною нейтраллю схему трифазних мереж при напрузі до 35 кВ включно.

У виробничих переносних електроприймачах з метою підвищення безпеки застосовують напругу 12 В, 36 В і 42 В. У приміщеннях з підвищеною небезпекою (ливарний двір) рекомендується номінальна напруга 12 В. З причини того, що одним вживанням малої напруги не досягається достатня міра безпеки, додатково приймають інші заходи захисту – подвійна ізоляція, захист від випадкових дотиків. Для штучного освітлення застосовують мережу з напругою 220 В [13, 14].

### **3.4 Пожежна безпека доменного цеху**

Ливарний двір доменного цеху відноситься до категорії Г вибухопожежної небезпеки – це приміщення, в яких знаходяться негорючі речовини і матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я; горючі гази, рідини і тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо (кокс, мазут, природний газ, розжарений чавун і шлак).

Бункерна естакада і підбункерне приміщення відноситься по вибухопожежній небезпеці до категорії В. Там горючим середовищем є

матеріали, що транспортуються, згорають, з яких складається шихта.

Можливі джерела займання в доменному цеху.

У доменному цеху знаходиться велика кількість легкозаймистих і горючих рідин і газів, а також коксу, вугілля і інших горючих матеріалів, що зберігаються, транспортуються і використовуваних в різних технологічних процесах, створює потенційну небезпеку загорянь, пожеж і вибухів. Тому проблема забезпечення вибухопожежобезпеки об'єктів чорної металургії є вельми актуальною і має велике значення.

Причини виникнення пожежі в цеху всілякі: порушення режимів технологічних процесів, дефекти устаткування, неправильне проведення робіт, недоліки в будівельних конструкціях, пристроїв комунікацій, необережність і недбалість персоналу.

Щоб уникнути утворення вибухонебезпечних сумішей в міжконусному просторі завантажувального пристрою в нього повинні подаватися пара або інертний газ в кількостях, що виключає вірогідність вибуху. Подача пари або інертного газу має блокуватися із завантажувальним пристроєм так, щоб без подачі пари (газу) в міжконусний простір печі механізми завантаження не працювали.

Найбільш вірогідні місця загоряння газу - нещільність в з'єднаннях, де може проникнути газ; газові тракти з горючим газом, при попаданні в яких повітря (зважаючи на зниження тиску або припинення подачі газу) утворюється вибухонебезпечна суміш. Небезпека вибуху газу зростає при зупинці печі, оскільки при цьому з неї припиняється вихід газу, а газ, що залишився в мережі, охолоджується і зменшується в об'ємі, створює розрядку, що викликає приплив повітря. Щоб уникнути вибуху при зупинці печі в газові тракти повинна подаватися пара.

Певну пожежну небезпеку представляє наявність рідкого чавуну і шлаку. Ковші для металу і шлаку повинні подаватися сухими, аби уникнути розбризкування металу (шлаку). Щоб уникнути виплеску металу ковші не доливають до верхньої кромки.

Всі електричні кабелі і пристрої гідроприводів в місцях розливання металу і випуску шлаку мають бути захищені від механічних пошкоджень, дії променистого тепла, а також від попадання бризок металу і шлаку.

Можливими джерелами займання електроустаткування можуть бути:

- для вентиляції виробничих приміщень, а також в процесі виробництва чавуну вживані димососи, вентилятори в комплект до яких підбираються відповідні електродвигуни;

- електроустаткування, грохоти;

- електрична свердлувальна машина для оброблення чавунної льотки.

Повітрянагрівачі доменних печей мають бути обладнані приладами контролю температури кожуха в купольній і підкупольній частинах.

Займання може статися на ділянках шихтоподачі. Кокс, агломерат, шихта і інші матеріали для виплавки чавуну, транспортуються за допомогою транспортних стрічок, тому не охолоджені шихтові матеріали з температурою вище 100 °С транспортувати не можна.

Пожежі електроустаткування, легкозаймистих і горючих рідин, хімічних речовин, при взаємодії яких з водою утворюються шкідливі або підсилюючі процес горіння з'єднання, ліквідовують вживанням твердих (суха земля, пісок, тверда вуглекислота, що виділяє вогнегасні гази) і газоподібних речовин (водяні пари, газоподібна вуглекислота). Подача великої кількості води у вогнище горіння дозволяє збити полум'я і охолодити речовини, що горять, до температури нижче за температуру їх займання. Розташування пожежних кранів повинно забезпечувати зіткнення струменя води від двох суміжних кранів в найбільш високою і найбільш віддаленою частинах будівлі, що обслуговується цими двома кранами. До місця пожежі прокладають пожежні рукави. Довжина лінії рукавів не має бути більш 100 м, оскільки при великій довжині струмінь не матиме достатнього натиску.

У цеху встановлюють протипожежні куточки, забезпечені ящиками з піском, ємностями з водою і пожежно-інвентарним щитом з набором інвентаря: лопат, багрів, сокир, мішків і т.д. для гасіння невеликих вогнищ



пожежі при займанні твердих горючих матеріалів, а також різних горючих рідин на невеликій площі (не більше 1 м<sup>2</sup>) застосовують ручні пінні вогнегасники ВП – 5, а також ручні вуглекислотні вогнегасники ВВ – 2, ВВ – 5, ВВ – 8 [15, 16].

### 3.5 Розрахунок звукоізоляції конструкції поста керування скіповим підйомником

Вихідні дані: допустимий рівень шуму в посту управління з мовним зв'язком  $L_{\text{доп}} = 65$  дБА; площа вікна  $S = 2,5$  м<sup>2</sup>; площа дверей  $S_d = 2$  м<sup>2</sup>; площа глухої частини стіни  $S_c = 30$  м<sup>2</sup>; площа даху  $S_k = 12$  м<sup>2</sup>; об'єм приміщення поста  $V_{\text{п}} = 30$  м<sup>3</sup>.

Розраховується звукоізоляційний пост управління скіповим підйомником з мовним зв'язком по телефону розмірами 3×4 м і заввишки 2,5 м.

Коректований рівень звукової потужності складає  $L_{\text{кор.}} = 75$  дБА, а загальний рівень звукової потужності  $L_{\text{заг.}} = 90$  дБА [10].

Внутрішні поверхні стін і стелі передбачається облицьовувати звукопоглинальним матеріалом (мінераловатна плита). Необхідна звукоізоляція визначається окремо для 4-х різнорідних елементів (дах, стіни, вікно, двері). Коефіцієнт звукопоглинання матеріалів приведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Коефіцієнт звукопоглинання матеріалів

Матеріал	Вживання	Коефіцієнт, дБА
Бетон	Дах	1,9
Цегла	Стіни	4,2
Скло силікатне	Вікно	0,2
Мінераловатна плита	Дах, стіни	6,3
Дерево	Двері	1

Визначаємо необхідну звукоізоляцію поста управління:

$$R = L_{\text{заг.}} - L_{\text{доп.}} + 10 \lg \cdot S + k, \text{ дБА}$$

де  $L_{\text{заг.}}$  – загальний рівень звукової потужності в цеху, дБА;

$L_{\text{доп.}}$  – допустимий рівень шуму в посту управління, дБА;

$S$  – площа вікна, дверей, даху або стін, м<sup>2</sup>;

$k$  – коефіцієнт звукопоглинання матеріалів, дБА.

$$R \text{ стін} = 90 - 65 + 10 \lg \cdot 30 + 10,5 = 55,5 \text{ дБА};$$

$$R \text{ даху} = 90 - 65 + 10 \lg \cdot 12 + 8,2 = 45,2 \text{ дБА};$$

$$R \text{ вікна} = 90 - 65 + 10 \lg \cdot 2,5 + 0,2 = 27,7 \text{ дБА};$$

$$R \text{ дверей} = 90 - 65 + 10 \lg \cdot 2 + 1 = 28,0 \text{ дБА.}$$

Знаходимо необхідну поверхневу щільність стін і даху:

$$L = 22 \lg ( m / m_{\text{обл.}} ) + S ,$$

де  $m$  – маса м<sup>2</sup> стін, даху (цегла, бетон), кг/м<sup>2</sup>;

$m_{\text{обл.}}$  – щільність облицювання (мінераловатна плита), кг/м<sup>3</sup>;

$S$  – площа даху, стін, м<sup>2</sup>.

Щільність мінераловатної плити – 1700 кг/м<sup>3</sup>. Маса цегли – 303,3 кг/м<sup>2</sup>;  
бетону – 199,5 кг/м<sup>2</sup>.

$$L \text{ стін} = 22 \lg ( 303,3 / 1700 ) + 30 = 30,2;$$

$$L \text{ даху} = 22 \lg ( 199,5 / 1700 ) + 12 = 12,2.$$

При використанні мінераловатних плит щільністю  $1700 \text{ кг/м}^3$  товщина стін має бути не менше  $303,3/1700 = 0,18 \text{ м}$ , товщина даху  $199,5/1700 = 0,12 \text{ м}$ .

Необхідну товщину скла при одинарному склінні знаходимо:

$$H = L_{\text{заг.}} - L_{\text{доп.}} + S \cdot \lg h ,$$

де  $h$  – щільність скла,  $4,8 \text{ кг/м}^3$  .

$$H = 90 - 65 + 2,5 \cdot \lg 4,8 = 2,67 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину скла  $3 \text{ мм}$ .

Звукоізоляція з таким склом складе:

$$R = L_{\text{заг.}} - L_{\text{доп.}} + S \cdot \lg H ,$$

$$R = 90 - 65 + 2,5 \cdot \lg 3 = 26 \text{ дБА.}$$

Ці розрахунки дозволяють забезпечити нормам, що відповідають, нормативним значення по шуму [10].

## ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі розглянута будівля доменного цеху, описана двоконусна доменна піч об'ємом 1513 м<sup>3</sup>. Розглянуто технологію доменного процесу, визначені вимоги до якості виплавляемого чавуну.

2. У кваліфікаційній роботі запропоновано нове комплексне високоякісне сухе очищення доменного газу в мішечному фільтрі з подальшим використанням енергії газу в газовій безкомпресорній утилізаційній турбіні (ГУБТ). Очищенню підлягають колошникові гази з витратою 220 000 м<sup>3</sup>/год і температурою 230<sup>0</sup>С. 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 12 г/м<sup>3</sup> до 4 г/м<sup>3</sup>. Тонке очищення газу здійснюється в мішечному фільтрі марки ФО-1 2250 з регенерацією зворотним продуванням очищеним газом. Ефективність тканинного фільтру 99,8 %. Таке очищення забезпечує зниження запиленості газу з 4 г/м<sup>3</sup> до 8 мг/м<sup>3</sup>, що відповідає вимогам по очищенню газу для використання його в ГУБТ.

3. Запропоновано зберегти фізичне тепло газу і відмовитися від підігрівання газу перед ГУБТ. Зроблено аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту, загальний гідравлічний опір якого склав 3942 Па. За результатами розрахунку вибрана ГУБТ-8.

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.

5. Розраховано, що для звукоізоляції поста керування скіповим підйомником потрібно його звукоізолювати мінераловатною плитою для того, щоб забезпечити допустимий рівень шуму в посту 65 дБА. Загальний рівень звукової потужності в цеху 90 дБА.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посібник. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с.
2. Самойленко Н.М., Аверченко В.І., Байрачний В.Б. Системи технологій та промислова екологія. Ч. І. Металургійний та енергетичний комплекс : навч. посіб. Харків : НТУ «ХПІ», Лідер, 2020. 212 с.
3. Глущенко О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Пилеуловлювання та очищення промислових викидів». Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012 111 с.
4. Іваненко О.І. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з курсу «Технологія та обладнання захисту атмосфери» для студентів напрямку підготовки: 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування, 2012. 13 с.
5. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. Засоби очищення газових викидів. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 207 с.
6. Благодатний В.В., Магась Н.І., Харитонов Ю.М. Апарати для очищення повітря від забруднень : методичні вказівки. Миколаїв : НУК 2019. 52 с.
7. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : УАД, 2006. 336 с.
8. Зеркалов Д.В. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Монографія. Київ : Основа, 2015. 978 с.
9. Сокурєнко В.В., Бандурка О.М., Бортник С.М. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
10. Сакун М.М., Москалюк І.В. Основи охорони праці. Навчально-методичний посібник. Херсон : «Южполиграфсервис», 2013. 67 с.
11. Зеркалов Д.В. Наукові основи охорони праці. Київ : «Основа», 2015. 934 с.

12. Запорожець О.І., Протоєрейський О.С., Франчук Г.М., Боровик І.М. Основи охорони праці. Підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с.
13. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. Електробезпека: підручник. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 295 с.
14. Янчик О.Г., Райко В.Ф., Устинова Н.Д., Котлярова С.В., Ільїнська О.І. Організація електробезпеки в професійній діяльності: навчальний посібник для студентів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів із спеціальності 263 Цивільна безпека. Харків : НТУ «ХП», 2022. 304 с.
15. Рожков А.П. Пожежна безпека: навчальний посібник. Київ : Пожінформтехніка, 1999. 256 с
16. Білим П.А. Основи пожежної безпеки : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 Цивільна безпека. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 45 с.