

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 магістерської роботи

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(другий (магістерський) рівень)

на тему «Проект системи очистки аспіраційних газів ливарного двору  
доменного цеху»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1831-з

Міхайлов Д.С.

(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 - 2022 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 другий магістерський рівень  
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища  
(шифр і назва)

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Бєлоконь

“ 01 ” 12 2022 року

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

Міхайлов Денис Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Проект системи очистки аспіраційних газів ливарного двору доменного цеху

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 06 2022 року № 598-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.12.2022


3. Вихідні дані до роботи (проекта) витрата газів:  $Q'_{ol} = 70$  тис. м<sup>3</sup>/год; температура газу:  $t_{r1} = t_{r2} = t_{r3} = 30^{\circ}\text{C}$ ; барометричний тиск,  $B = 98$  кПа; розрядка газів на вході в ділянку I,  $P_{r.} = -0,5$  Па; опір рукавного фільтру  $\Delta P_{\phi} = 2000$  Па.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) реферат, вступ, обладнання доменного цеху та екологічні аспекти доменного виробництва, проектування системи очистки аспіраційних газів ливарного двору доменного цеху, економічна ефективність проекту, охорона праці та техногенна безпека, висновки, список використаних джерел, додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) презентаційний матеріал, 12 слайдів на 13 сторінках: титульний лист, розріз доменного цеху, план ливарного двору доменного цеху, апаратурно-технологічна схема доменного процесу, схема аспіраційної системи ливарного двору доменного цеху для аеродинамічного розрахунку, результати розрахунку газового тракту аспіраційної

системи ливарного двору доменного цеху (2 стор.), рукавний фільтр ФРІР -5700, схутилізації вловленого пилю, чашовий огрудковувач типу ОЧ-300, основні технікономічні показники газоочисної установки аспіраційних викидів ливарного доменного цеху, схема вуглекислотного пожежогасіння, висновки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
Розділ 1	Белоконь К.В., доцент	
Розділ 2	Белоконь К.В., доцент	
Розділ 3	Белоконь К.В., доцент	
Розділ 4	Белоконь К.В., доцент	
Нормоконтроль	Белоконь К.В., доцент	

7. Дата видачі завдання 01.09.2022

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вступ	01.09.- 11.09.2022	
2	Реферат	12-18.09.2022	
3	Обладнання доменного цеху та екологічні аспекти доменного виробництва	19.09- 16.10.2022	
4	Проектування системи очистки аспіраційних газів ливарного двору доменного цеху	17.10- 06.11.2022	
4	Економічна ефективність проекту	07-20.11.2022	
5	Охорона праці та техногенна безпека	21-27.11.2022	
6	Висновки	28-30.11.2022	

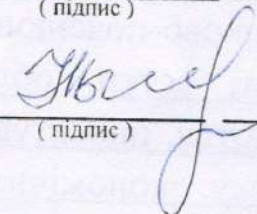
Студент

  
(підпис)

Д.С. Міхайлов

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

К.В. Белоконь  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційний проект: 88 стор., 11 табл., 13 рис., 1 дод., 18 джерел.

ДОМЕННА ПІЧ, ЧАВУН, ВИКИДИ, ОЧИЩЕННЯ, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, ЕКОЛОГІЯ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОНОМІКА.

**Об'єкт проектування** – ливарний двір доменного цеху.

**Предмет проектування** – система очищення аспіраційних газів ливарного двору.

**Мета проекту** – розробка системи очищення аспіраційних газів на ливарному дворі з використанням сухого способу очищення.

У кваліфікаційному проекті розглянуті пристрій доменної печі, основне устаткування доменного цеху, питання щодо екології доменного виробництва, приведені способи очищення неорганізованих доменних газів і виконано обґрунтування проектованої системи газоочистки ливарного двору доменного цеху. Виконані розрахунки газоочисного устаткування і аеродинамічного тракту газоочисної системи. У розділі охорона праці та техногенна безпека розроблені заходи щодо техніки безпеки, виробничої санітарії, електробезпеки і пожежної безпеки. Виконаний розрахунок установки вуглекислотного пожежогасіння для гасіння складу паливно-мастильних матеріалів. У економічній частині приведені розрахунки капітальних витрат на очищення газу, експлуатаційних витрат на очищення газу і уловлювання пилу, наведено техніко-економічне обґрунтування проекту очищення аспіраційних газів ливарного двору доменного цеху.

## ЗМІСТ

ВСТУП . . . . .	7
1 ОБЛАДНАННЯ ДОМЕННОГО ЦЕХУ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА . . . . .	9
1.1 Конструкція доменної печі . . . . .	9
1.2 Пристрій доменного цеху . . . . .	12
1.3 Пристрій ливарного двору . . . . .	15
1.4 Системи шихтоподачі . . . . .	17
1.5 Ділянки збирання чавуну та шлаку . . . . .	21
1.6 Характеристика пилогазових викидів . . . . .	23
1.7 Аналіз схем очищення газів в доменному виробництві . . . . .	28
2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ АСПІРАЦІЙНИХ ГАЗІВ ЛИВАРНОГО ДВОРУ ДОМЕННОГО ЦЕХУ . . . . .	30
2.1 Обґрунтування і вибір системи очищення . . . . .	30
2.2 Конструкція рукавного фільтру типу ФРІР і теоретичні основи процесу фільтрації . . . . .	34
2.3 Аеродинамічний розрахунок газового тракту аспіраційної системи очищення . . . . .	37
2.4 Розрахунок рукавного фільтру типу ФРІР . . . . .	46
2.5 Розрахунок параметрів димаря . . . . .	53
2.6 Вибір тягодуттєвого пристрою . . . . .	55
2.7 Утилізація відходів доменного виробництва . . . . .	56
3 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ . . . . .	61
3.1 Розрахунок капітальних витрат на очищення газу . . . . .	61
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на очищення газу і уловлювання пилу . . . . .	62
3.3 Техніко-економічне обґрунтування проєкту очищення аспіраційних газів ливарного двору доменного цеху . . . . .	63
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА . . . . .	67

4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників доменного виробництва . . . . .	67
4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії . . . . .	70
4.2.1 Вентиляція . . . . .	70
4.2.2 Освітлення ливарного двору . . . . .	71
4.2.3 Санітарно-побутові приміщення . . . . .	72
4.2.4 Виробничий шум, виробнича вібрація . . . . .	72
4.2.5 Виробничі (теплові) випромінювання . . . . .	73
4.3 Заходи щодо техніки електробезпеки . . . . .	73
4.4 Заходи пожежної безпеки . . . . .	75
4.5 Розрахунок установки вуглекислотного пожежогасіння . . . . .	77
ВИСНОВКИ . . . . .	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ . . . . .	83
ДОДАТКИ . . . . .	85
Додаток А. Публікації . . . . .	85

## 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].

Комбінат «ПАТ Запоріжсталь» є підприємством з повним металургійним циклом. На комбінаті прийнята структурна цехова схема виробництва (металургійні цехи: агломераційний, доменний, мартенівський, обтискний, цех гарячої прокатки, цех холодної прокатки жерсті, цех гнутих профілів). Основним продуктом доменного процесу є чавун, який прямує в сталеплавильні печі. Доменним процесом є сукупність механічних, фізичних явищ, що протікають в працюючій доменній печі. Сучасний доменний цех включає декілька печей, відділення приймальних бункерів (бункерну естакаду), систему подачі шихти до завантажувального пристрою печі, ливарний двір, повітрянагрівачі з газопроводами, систему газоочистки, відділення розливання чавуну, склад холодного чавуну, систему придоменної грануляції шлаку, а також відділення приготування вогнетривких мас і ремонту чавуновозних ковшів і повітродувну станцію.

Доменний цех є одним з найважливіших цехів металургійного підприємства, в якому виплавляється чавун високої якості для виробництва сталі і товарного чавуну в чушках.

Захист навколишнього середовища від шкідливих викидів є однією з найважливіших проблем сучасності, оскільки зростання промислового виробництва і, отже, подальше збільшення викидів шкідливих речовин в атмосферу може спричинити найсерйозніші наслідки глобального характеру.

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 дипломному проекті передбачається зниження викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, поліпшення умов і безпеки праці працівників. Виробництво чавуну в доменних печах супроводжується значними виділеннями в атмосферу виробничих приміщень і навколишнє середовище високотемпературних газів і пилу, що складається в основному з оксиду заліза і графіту. Одним з таких джерел є ливарний двір. Максимальна кількість пилогазових викидів на ливарному дворі виділяється в період випуску чавуну і шлаку від льоток, головного жолоба, скіммеру, жолобів зливу чавуну і шлаку в ківш, що коливаються. Так як забруднене повітря діє шкідливо не тільки на людей і тварин, але і на рослинний світ, завдає величезного матеріального збитку, підвищуючи корозію металів, руйнуючи будівельні матеріали отже метою дипломного проекту є поліпшення системи очищення пилогазових викидів на ливарному дворі з використанням сухого способу очищення із застосуванням рукавного фільтра.



# 1 ОБЛАДНАННЯ ДОМЕННОГО ЦЕХУ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОМЕННОГО ВИРОБНИЦТВА

## 1.1 Конструкція доменної печі

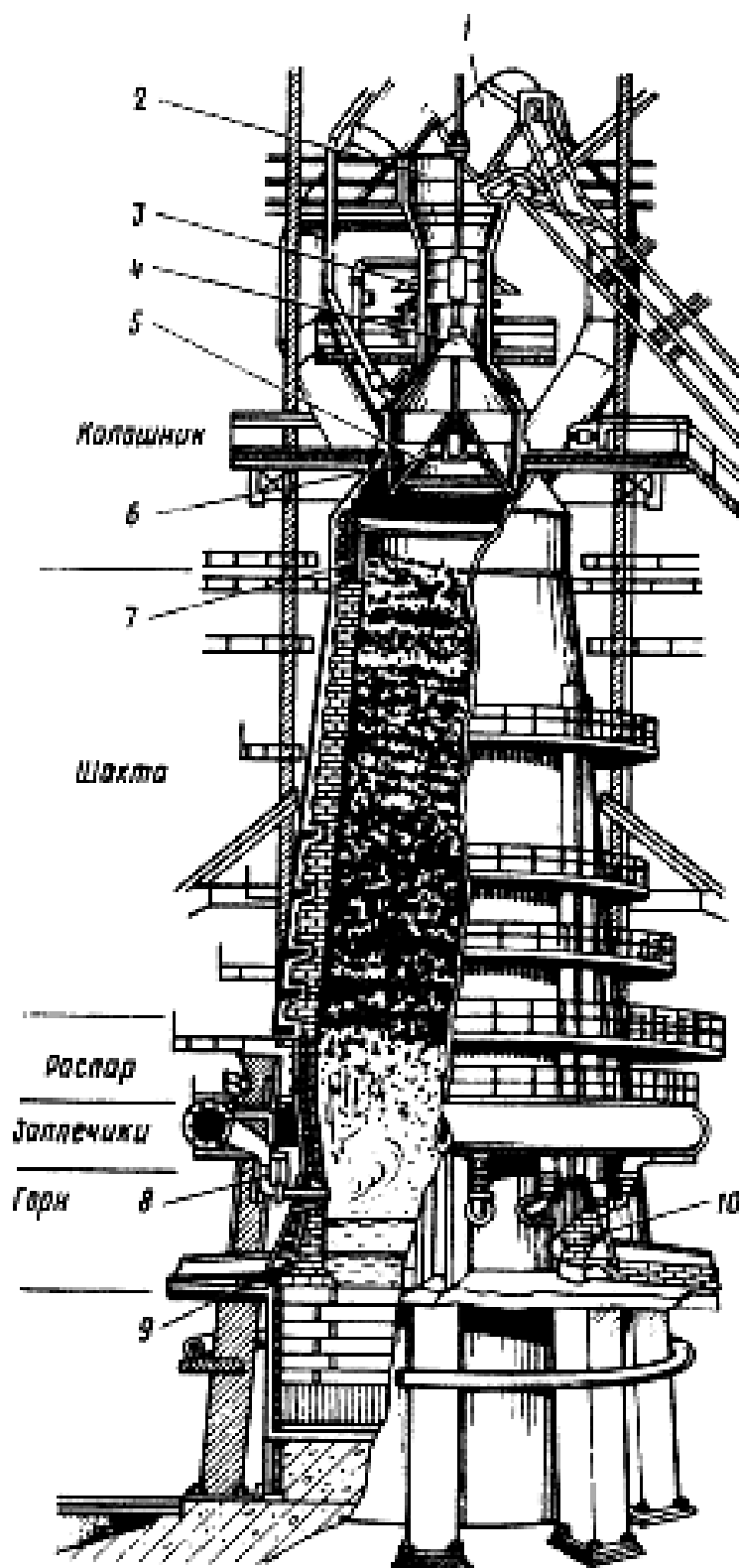
Агрегатом для здійснення доменного процесу служить піч шахтного типу – доменна піч (рис.1.1). Зверху в неї безперервно поступають шихтові матеріали – агломерат (окатиші), кокс і флюси, а знизу назустріч ним через фурми подають нагріте повітря і рідке або газоподібне паливо. Отримані від спалювання палива газу проходять через стовп шихти і віддають їй свою хімічну теплову енергію. Рудна шихта, що опускається, нагрівається, відновлюється і плавиться [2].

Основні частини доменної печі: колошник, який служить для прийому завантажувальної зверху шихти; шахта, циліндрова частина печі, що розширюється донизу; разпар – короткий циліндр для створення плавного переходу від шахти, що розширюється, до заплечиків, що звужуються; заплечики, що мають вид усіченого конуса і що не дозволяють шихті, що розплавляється, швидко опускатися в горн; горн – циліндрова частина печі, у верхню частину якої подають дуття (тут згорає кокс), а в нижній частині скупчуються рідкий чавун і шлак і розташовані чавунні і шлакові льотки.

Доменну піч встановлюють на бетонний фундамент, на якому роблять кладку з вогнетривкої цеглини. Вогнетривке днище доменної печі називається лещадью, її товщина досягає 5,5 м.

Внутрішній контур печі по вертикальному перетину називають профілем. У горизонтальному перетині піч кругла.

Верхня циліндрова частина профілю називається колошником і призначена для завантаження матеріалів. Колошниковий пристрій є багатоповерховою металевою конструкцією, службовкою для підтримки комплексу механізмів, призначених для завантаження шихти в доменну піч, відведення газів і монтажних робіт.



1 – скіп; 2 – приймальна воронка; 3 – розподільник шихти; 4 – малий конус; 5 – великий конус; 6 – воронка великого конуса; 7 – захисні сегменти; 8 – повітряна фурма; 9 – чавунна лъотка; 10 – шлакова лъотка

Рисунок 1.1 – Розріз доменної печі

Основною частиною пристрою є засипний апарат, який кріпиться на опорному кільці, розташованому у верхній частині колошника. Він є конусним засипним пристроєм з розподільниками шихти, що обертаються і призначений для формування поверхні засипних шихтових матеріалів і виведення колошникових газів [3].

До колошника примикає шахта, що розширюється. Конусна форма цього елемента вибрана для забезпечення рівного сходу матеріалів, об'єм яких при нагріві додатково збільшується.

Шахта викладається з високощільних високоглиноземистих блоків або з щільної шамотного цеглини із змістом глинозему не менше 42%. Він містить 30-40%  $Al_2O_3$  і не більше 1,6%  $Fe_2O_3$ . Кладка ведеться на пластифікованому шамотно-глиноземистому розчині з рідким склом або на шамотно-глиноземистому розчині з рідким склом. Кладка товстостінної частини шахти ведеться концентричними кільцями з горизонтальним укладанням цеглини.

До нижньої частини шахти примикає найширша циліндрова частина, яка називається розпаром. Тут починається плавлення шихтових матеріалів, тому заплечики, що примикають до розпару, виконані з урахуванням зменшення об'єму шихтових матеріалів за рахунок плавлення залізородної частини і газифікації коксу. Розташовані нижче розпару заплечики мають форму усіченого конуса з меншою підставою внизу.

Заплечики, а іноді і розпар найчастіше роблять тонкостінним з полуторної цеглини і охолоджують ребристими холодильниками із залитою цеглиною.

Нижньою частиною профілю є циліндровий горн, в якому відбувається горіння коксу і збираються рідкі продукти плавки. Нижня частина горну служить для накопичення чавуну і шлаку. У цій частині розташовані чавунна і шлакова льотки. Високі температури рідких продуктів плавки ( $>1500^{\circ}C$ ) і висока хімічна активність шлаку вимагають відповідного підходу до виконання конструкції горну. Температура кладки стін горну під час

експлуатації змінюється. На її коливання впливають характер газового потоку (периферійний, центральний або каналний хід газів), випуск великої маси перегрітих продуктів плавки, нерівний схід шихти, зупинки печі на поточні і капітальні ремонти. Зміна температури сприяє тепловим стисненням – розширенням футерівки. Порушення цілісності не допустимі, оскільки можливі прориви чавуну і шлаку, через не щільність, що утворилася.

У верхній частині печі розташовуються газовідводи і засипний апарат, при допомозі якого шихтові матеріали розташовуються по поперечному перетину колошника.

## 1.2 Пристрій доменного цеху

Для доменного цеху характерно розташування доменних печей у лінію й наявність роздільних потоків збирання чавуну й шлаків, причому потік збирання чавуну розташований з однієї сторони від лінії печей, а потік збирання шлаків – з іншої. План доменного цеху показаний на рис. 1.2, панорама – рис. 1.3.

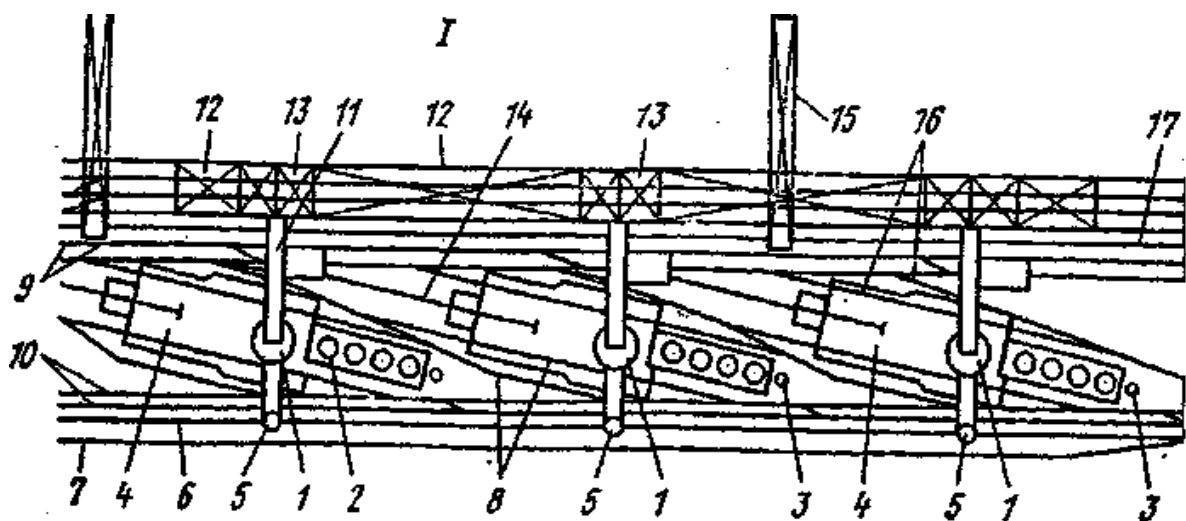
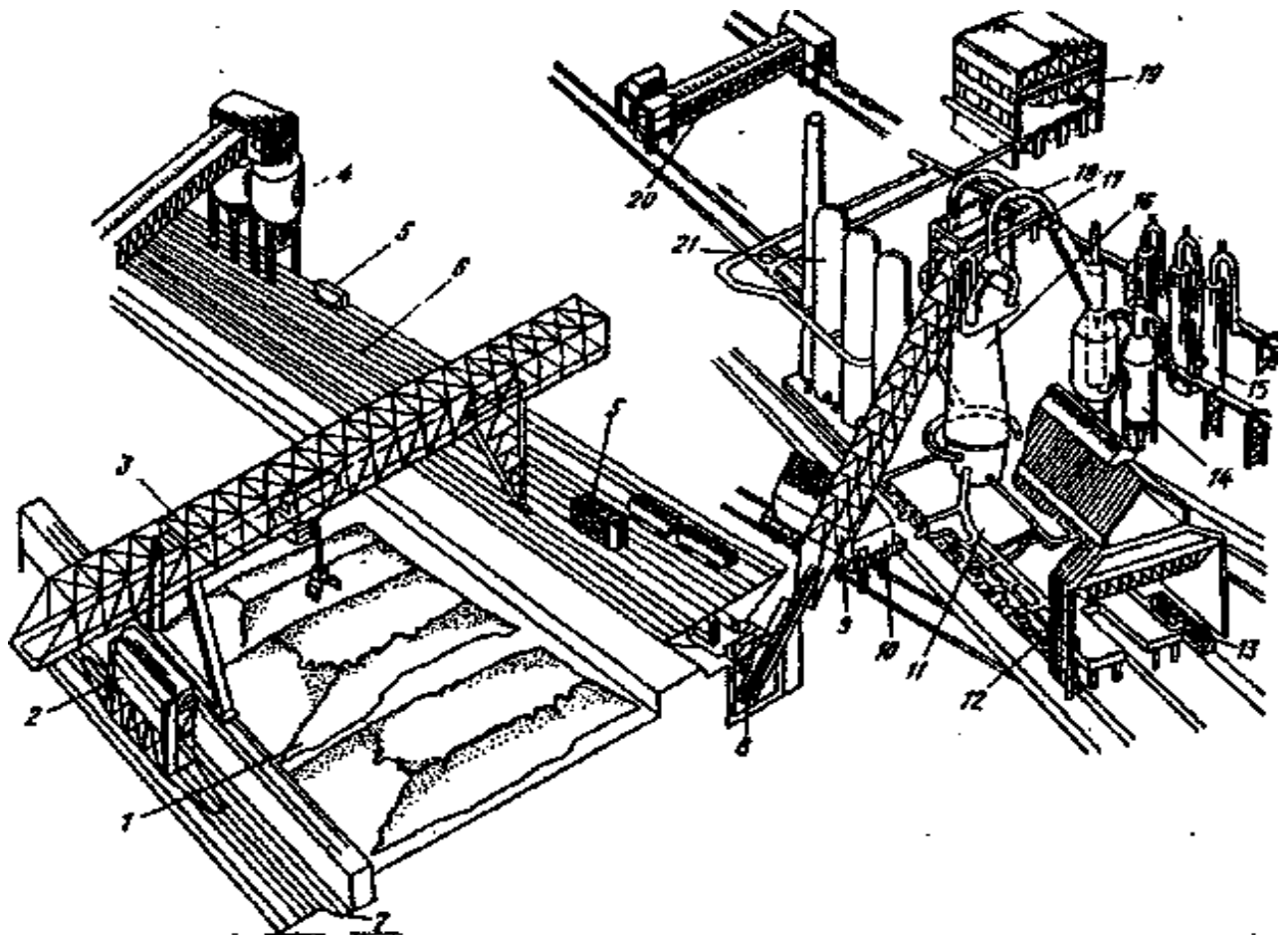


Рисунок 1.2 – План доменного цеху з островним розташуванням печей і скіповим колошниковим підйомом (I - рудний двір)



1 – штабель матеріалів; 2 – баштовий вагоноперекидач; 3 – кран-перевантажувач; 4 – бункер коксоподачі; 5 – перевантажувальний вагон; 6 – бункерна естакада; 7 – траншея для розвантаження вагонів; 8 – скіпова яма; 9 – скіповий підйом; 10 – машинний будинок; 11 – ливарний двір; 12 – шлаковози; 13 – чавуновози; 14 – пиловловлювач грубого очищення газу; 15 – апарати тонкого очищення газу; 16 – доменна піч; 17 – колошниковий пристрій; 18 – газовідводи; 19 – повітрорудна станція; 20 – розливна машина; 21 – повітронагрівачі

Рисунок 1.3 – Пристрій доменного цеху з рудним двором

Ряд залізничних колій, прокладених з боку бункерної естакади й скіпових підйомників 11, служить для збирання шлаків (шляхи 9) і коксового дріб'язку (шлях 17); ряд поздовжніх шляхів із протилежної від печей сторони – для збирання чавуну (шляхи 10) і колошникового пилу (шлях 6).

Для кожної печі індивідуальні постановочні шляхи уздовж ливарних дворів для чавуновозов і шлаковозів (шляхи 8 і 16) і переїзди з однієї сторони на іншу й назад між сусідніми печами. Це забезпечує значно більше високу пропускну здатність збиральних залізничних колій, істотне поліпшення маневреності поїздів, дозволяє встановлювати під випуск більше число ковшів.

Для збирання чавуну (транспортування чавуновозних ковшів у сталеплавильний цех або на розливальну машину) прокладено два збиральних (ходових) шляхи 10, з яких є з'їзди на два постановочних шляхи 8, розташованих уздовж ливарного двору 4 кожної печі; для збирання шлаків ковшами до грануляційних установок або на шлаковий відвал передбачено два збиральних ходових шляхи 9 із з'їздами на два у кожного ливарного двору постановочні шляхи 16 для шлакових ковшів. З ходових шляхів 9 до кожного ливарного двору відходить також тупиковий господарський шлях 14; шлях 7 є проїзним.

Уздовж фронту печей розташована загальна бункерна естакада (з рудними 12 і коксовими 13 бункерами), до якої примикає рудний двір, що обслуговується кранами-перевантажувачами 15. Загальною особливістю є розташування газовідвідних трубопроводів із протилежної від колошникового скіпового підйомника сторони. Відповідно газоочисні апарати розташовують із протилежної від бункерної естакади й колошникового підйому сторони доменних печей і під сухим пиловловлювачем 5 грубого очищення газу прокладають залізничну колію 6 для збирання пилу.

Блок повітрянагрівачів (розташовані на одному фундаменті в лінію повітрянагрівачі 2 і димар 3) розташовані у печі уздовж постановочних шляхів для збирання чавуну й шлаків із протилежної від ливарного двору сторони. Розташування деяких інших відділень цеху можна бачити на панорамі, показаної на рис. 1.3. Розливальні машини 20 розташовані у торці

доменного цеху й з'єднані незалежними від інших вантажопотоків залізничними коліями зі збиральними чавуновозними шляхами цеху.

Повітродувна станція 19 розміщена осторонь від доменних печей, де повітря менше забруднене пилом. Під похилим мостом 9 скіпового підйомника розташований машинний будинок 10, де перебуває скіпова лебідка й пульт керування скіповим підйомником.

Склад холодного чавуну розташовують на вільній площадці поблизу розливальних машин. Депо ремонту чавуновозних ковшів споруджують в одному з торців доменного цеху.

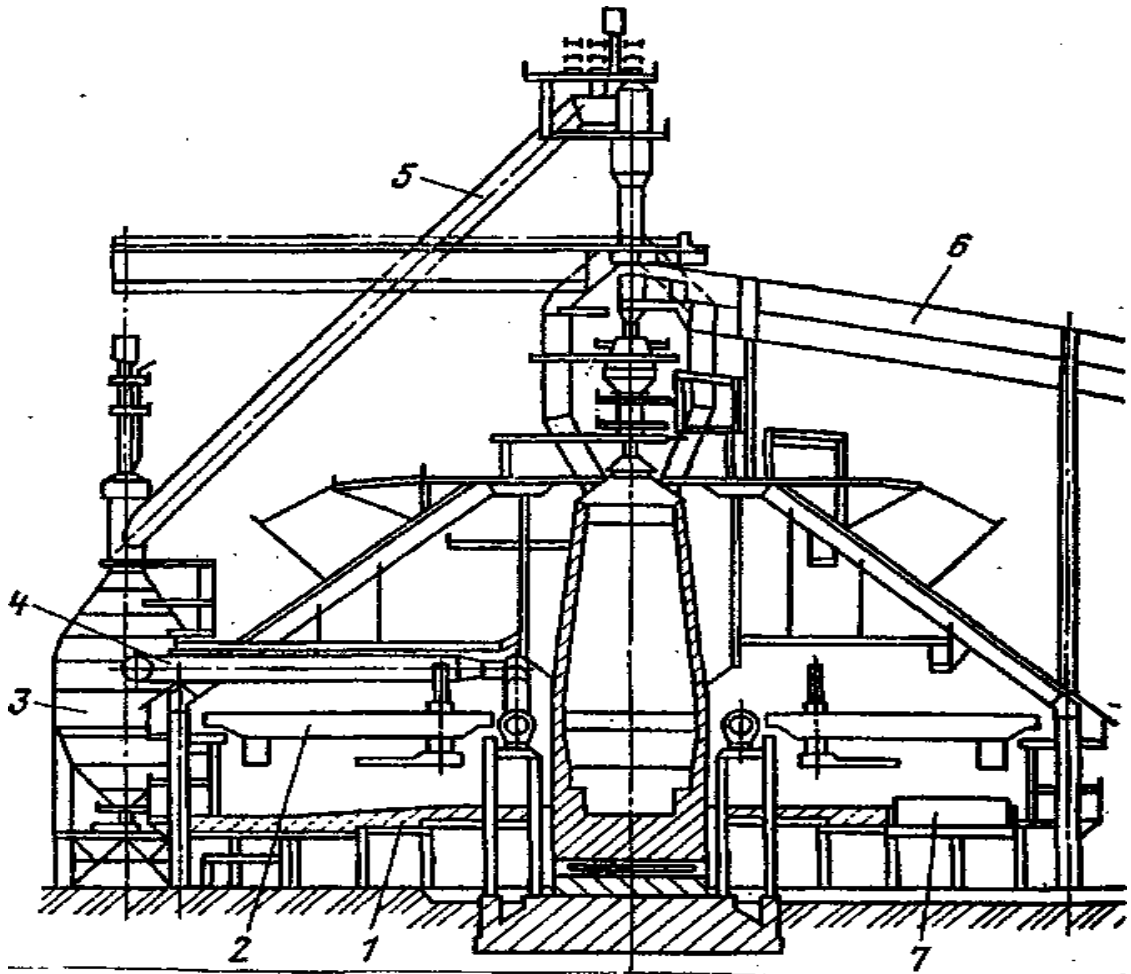
На комбінаті «Запоріжсталь» розташовується склад шихтових матеріалів розташований поза доменним цехом, і рудовмісні компоненти шихти поступають з агломераційної фабрики в перевантажувальних вагонах на бункерну естакаду цеху. За допомогою конвеєрів рудовмісні компоненти шихти подаються до скіпового підйомника печі, а кокс з коксохімічного заводу стрічковим конвеєром безпосередньо завантажують в коксові бункери естакади і далі в скіпи [4]. Ливарний двір доменного цеху оснащують жолобами для розливання чавуну і шлаку в ковші і агрегатами придоменної (припічної) грануляції шлаку.

### **1.3 Пристрій ливарного двору**

Ливарний двір являє собою будинок, що споруджується внизу доменної печі, з робочою площадкою, розташованою трохи нижче чавунних льоток і призначеною для розміщення жолобів, по яких рідкий чавун з льоток надходить у ковші чавуновозів, а шлаки – у ковші шлаковозів або до установок припічної грануляції. Робоча площадка розташована на висоті, що дозволяє розмістити нижче її хитні жолоби й під ними чавуновози й шлаковози, які переміщуються по шляхам на нульовому рівні. На площадці ливарного двору розташовують також механізми для розкриття й закладення чавунних льоток, зміни фурм, обслуговування жолобів; пульти керування

механізмами; засіку для піску, глини, вогнетривких мас.

Будинок ливарного двору (рис. 1.4) являє собою в плані правильний багатокутник з кільцевим ліхтарем на даху; на металоконструкції цього будинку опирається колошниковий пристрій печі. У будинках ливарних дворів установлюють мостові крани вантажопідйомністю 20/5 і 30/5 т зі знімними електромагнітами й грейферами.



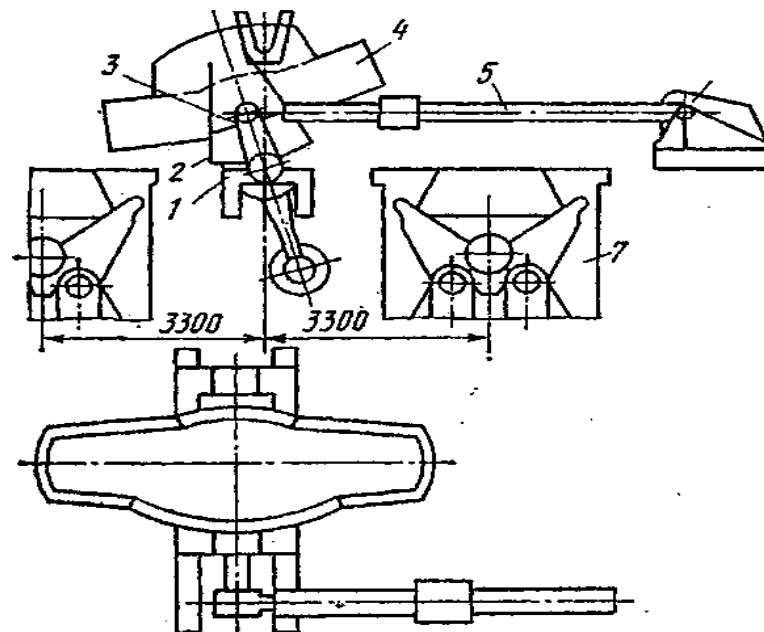
1 – робоча площадка; 2 – кільцевий мостовий кран; 3 – пиловловлювач;  
4 – газопровід гарячого дуття; 5 – похилий газовідвід; 6 – колошниковий  
підйом; 7 – проріз у робочій площадці

Рисунок 1.4 – Поперечний розріз круглого ливарного двору

Ливарний двір обладнаний хитними жолобами (рис. 1.5), які розміщають перпендикулярно чавуновозним шляхам. Він має два зливальних



носки й механізм, що забезпечує його нахил убік одного або іншого чавуновозного шляху. Чавун по зливальному носку стаціонарного жолоба надходить на хитний жолоб, змінюючи нахил якого направляють струмінь чавуну в ковші, встановлені або на одному, або на іншому суміжних шляхах.



1 – опорна станина; 2 – колиска; 3 – важіль; 4 – жолоб; 5 – кривошипно-штанунна передача; 6 – привід; 7 – чавуновозний ківш

Рисунок 1.5 – Хитний жолоб

Під час заповнення ковша, що стоїть на одному із шляхів, чавуновозний склад, що стоїть на іншому шляху, переміщують штовхальником або лебідкою, подаючи під хитний жолоб наступний порожній ківш.

#### 1.4 Системи шихтоподачі

Основними складовими шихти сучасних доменних печей є агломерат, окатиші й кокс; завантажують також деяку кількість добавок (головним чином, це залізна й марганцева руда й флюси). Для забезпечення роботи

доменної печі потрібна безперебійна подача цих матеріалів до завантажувального пристрою на висоту 60-80 м порціями з певним темпом і в певній послідовності.

Системи шихтоподачі, що повинна забезпечити прийом, транспортування, зберігання, набір, зважування й подачу матеріалів на колошник до завантажувального пристрою. У системі шихтоподачі можна виділити три ділянки або ланки: подача матеріалів з фабрик окускування, коксохімічного заводу (цеху) і із зовнішньої залізничної мережі на бункерну естакаду; подача матеріалів з бункерів естакади до колошникового підйому; колошниковий підйом.

**Рудний двір.** Рудний двір у доменних цехах призначений для приймання сировинних матеріалів, зберігання необхідного їхнього запасу, усереднення, наступної подачі їх на бункерну естакаду й потім у піч. Зараз більшість доменних печей працює на окускованій сировині й з рудного двору в печі надходить незначна кількість матеріалів, а рудні двори використовують як склади сировини для фабрик окускування.

Рудний двір являє собою розташовану уздовж лінії доменних печей площадку, обмежену з однієї сторони бункерною естакадою, а з іншого боку – прийомною траншеєю. Матеріали зберігаються в штабелях, їхня ємність і площа двору розраховують на забезпечення роботи цеху протягом 1,5-2 місяця. Бетонувана прийомна траншея служить для розвантаження поступаючих матеріалів; уздовж її прокладена залізнична колія для вагонів, що прибувають, і по ширококоліїному рейковому шляху переміщається баштовий вагоноперекидач.

Вся площа рудного двору обслуговується грейферним краном-перевантажувачем, що пересувається уздовж двору над штабелями. Для подачі матеріалів до печей порцію потрібного матеріалу захоплюють грейфером зі штабеля й подають у перевантажувальний вагон, що переміщається по рейках бункерної естакади і розвантажує матеріал у бункер.

**Бункерна естакада** призначена для зберігання біля печі необхідного оперативного запасу матеріалів, їхнього приймання, а також механізації набору й передачі матеріалів до колошникового підйому. Бункерна естакада являє собою витягнуте уздовж цеху й фронту печей, що піднімається на 9-12 м над рівнем заводської підлоги залізобетонне спорудження, що складається з ряду окремих бункерів і їхнього устаткування. Розташовують естакаду поблизу печей з боку скіпових підйомників. Загальний вид і розташування подібної естакади, обладнаної вагон-вагами, можна бачити на рис. 1.3, поперечний розріз показаний на рис. 1.6.

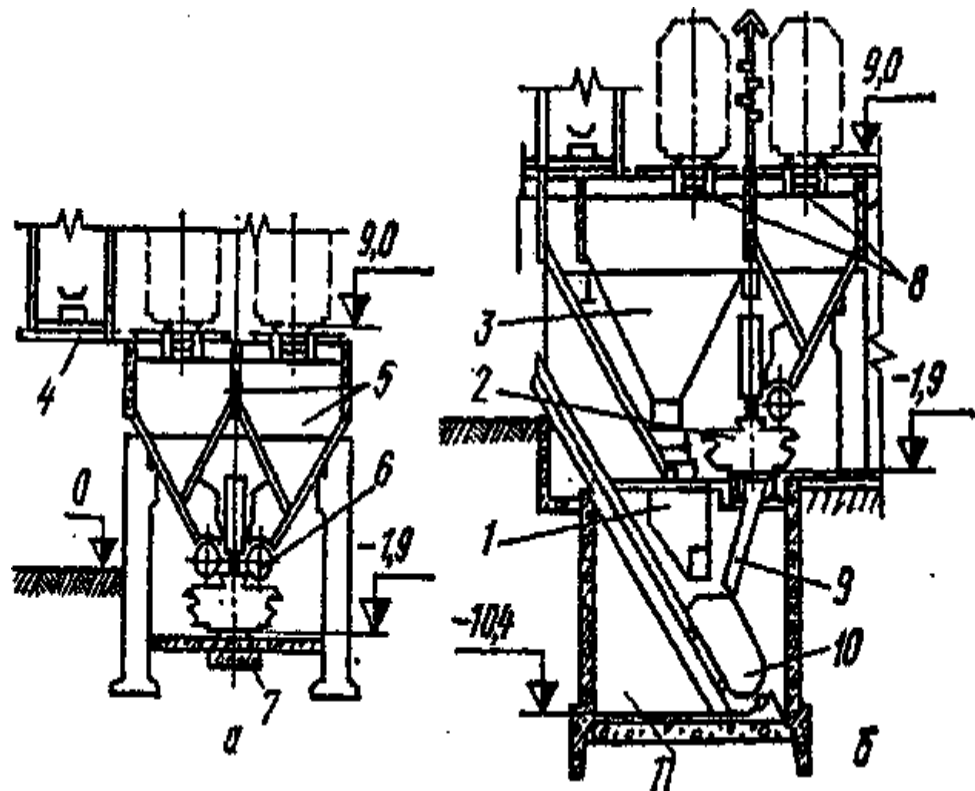


Рисунок 1.6 – Бункерна естакада з вагон-вагами (а - поперечний розріз по бункерам; б - по скіповій ямі)

Над бункерами прокладені дві залізничні колії 8 для доставки агломерату й добавок у бункери 5. Стрічковий конвейер 4 служить для доставки коксу в бункери 3. Під бункерами прокладений рейковий шлях 7

для вагон-ваг 2, що доставляють матеріали від бункерів 5 до скіпової ями 11. Бункери обладнані барабанными затворами 6 для видачі матеріалів у вагон-ваги. Під бункерами естакади проти печей перебувають скіпові ями 11, куди встановлюються скіпи 10 для прийому матеріалів, які видаються з вагон-ваг через напрямний лоток 9 або коксу, видаваного з бункерів 3 через вагову лійку 1. Коксові бункери розташовують над скіповою ямою для того, щоб зменшити число перевантажень коксу, при яких він подрібнюється у зв'язку з низькою міцністю.

Коксових бункерів звичайно два, а іноді чотири; їхні загальні ємності приймають із розрахунку  $0,7 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  корисного обсягу печі (запас приблизно на 6 год. роботи). Обсяг бункерів для рудних матеріалів при їхній подачі залізничним транспортом приймають із розрахунку  $2,5 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  корисного обсягу печі (запас на 20-24 год. роботи). При конвейерній подачі із близько розташованих фабрик окускування норма запасу зменшується.

**Скіповий підйомник.** Основними елементами скіпового підйомника (рис. 1.7) є: похилий міст 5, два, що переміщуються по мосту скіпа 3, скіпова лебідка 1 і система канатів 4 і блоків для підвіски й переміщення скіпів. Похилий міст являє собою зварену просторову металоконструкцію, усередині якої прокладені два рейкових шляхи 7, по яких рухаються скіпи. Кут нахилу мосту до обр'ю становить  $47-54^\circ$ , а на ділянці скіпової ями 6 досягає  $60^\circ$ . Похилий міст має дві опори - фундамент у скіпової ями й колону 2 (пілон), що опирається на фундамент доменної печі. Обсяг скіпа досягає  $20 \text{ м}^3$ .

Переміщення скіпів забезпечує скіпова лебідка 1, розташована в машинному залі під похилим мостом. Вантажопідйомність скіпових лебідок зростає при росту обсягу печі й скіпа й для печей обсягом  $1033-3200 \text{ м}^3$  становить 15-39 т. Скіпи з'єднують канатами з барабаном скіпової лебідки в такий спосіб, що забезпечується зрівноважування скіпів; при русі навантаженого матеріалами скіпа нагору порожній скіп опускається вниз, у скіпову яму.

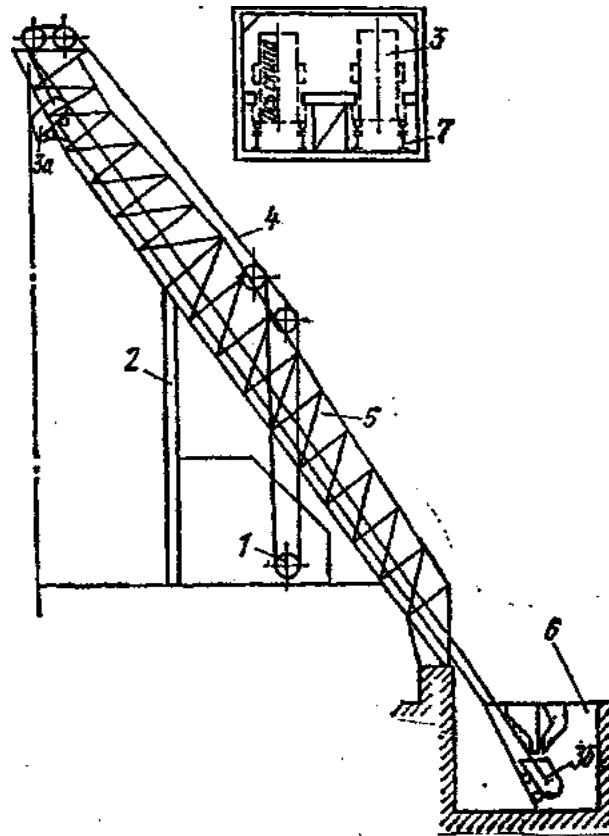


Рисунок 1.7 – Схема скіпового підйомника

Завантаження матеріалів у скіп 3б відбувається в скіповій ямі 6, розвантаження - на колошнику в прийомну лійку засипного апарата шляхом перекидання (нахилу) скіпа 3а. Час підйому (опускання) скіпа звичайно становить 35-45 с., швидкість руху по мосту досягає 3-4 м/с.

Систему подачі матеріалів до скіпового підйомника застосовують з використанням вагон-ваг й стрічкових конвеєрів. Вагон-ваги представляють собою самохідний електровагон вантажопідйомністю 30 або 40 т. Із двома бункерами (кишенями), що мають днища із створами, які відкривають пневмоприводом.

### 1.5 Ділянки збирання чавуну та шлаку

Для прийому чавуну від печей і його транспортування у міксерне відділення сталеплавильного цеху або на розливальні машини доменного

цеху застосовують відкриті чавуновози із грушоподібним ковшем, який являє собою платформу, на яку установлюють ківш.

По шлаковим жолобам ливарного двору більшу частину шлаків за допомогою шлаковозів транспортують на грануляційні установки й незначну частину на установки для одержання шлакових щебенів або пемзи й на шлакові відвали. Гранульовані шлаки служать для виробництва цементу, шлакоблоків і ін.

Установки припічної грануляції розташовані поруч із ливарним двором, для яких характерне розміщення грануляторів у закритому кожусі, що запобігає виділенню в атмосферу водяного пару і сірчистих газів, що утрудняють роботу персоналу печі й викликають узимку зледеніння устаткування. Під жолобом розташований гранулятор, що подає струменя води під тиском, які роздрібнюють стікаючий з жолоба шлак на гранули. Суміш води, пари й гранул надходить у збірний бункер, а ґрати на бункері запобігають влученню в нього великих предметів. Пара й газу надходять у скруббер і викидаються в атмосферу через трубу. У скруббер через форсунки подають вапновану воду, що поглинає з пари й газів сірчисті з'єднання.

З нижньої частини бункера шлаководяну пульпу подають за допомогою ерліфта у сепаратор, а з нього вона зливається в обезводнювач карусельного типу. Обезводнювач розділений на окремі секції, що мають ґратчасті днища, що відкидаються. Через ґрати вода за час обертання обезводнювача стікає у водозбірник, звідки надходить у бункер. Днища секцій відкриваються над бункером і гранули висипають у нього, де додатково підсушуються подаваним знизу повітрям. З бункера гранули попадають на конвеєр і далі на склад. Стікаюча з бункера прояснена вода насосом повторно подається в гранулятор.

Кожна лінія установки розрахована на прийом усього шлаку, що надходить під час випуску (до 10 т/хв).

Основні переваги цих установок у порівнянні з віддаленими від доменних печей: помітно знижуються капітальні витрати й експлуатаційні

витрати насамперед за рахунок скорочення парку шлаковозів і транспортних засобів; більш повно використовуються шлаки, оскільки під час перевезення в ковшах від 15 до 30 % шлаків губиться у вигляді корок на поверхні й настилів на стінках ковшів; зменшується чисельність персоналу, що обслуговує; робота установки піддається автоматизації.

## **1.6 Характеристика пилогазових викидів**

Кожна ділянка виробництва чавуну є джерелом викидів шкідливих речовин в атмосферу. Але основним джерелом є доменна піч. Пил і газоподібні викиди з доменної печі утворюються в результаті складних фізичних і хімічних процесів.

Всі викиди можна розділити на організованих і неорганізованих. До організованих викидів відноситься колошниковий газ, до неорганізованих викидів відносяться пилогазові викиди, що відходять від скіпової ями, колошника доменної печі, льоток, жолобів зливу чавуну і шлаку, що коливаються. До технологічних відносяться доменний (колошниковий) газ, який утворюється в результаті доменного процесу. Це низькокалорійний газ, що містить 30-35% паливних складових (C, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CH<sub>1</sub>) і баласт – азот і діоксид вуглецю. Частка доменного газу в паливному балансі підприємства складає 30% [5]. Вихід доменного газу, в основному залежить від складу початкової сировини, температури і тиску повітряного дуття, ступеня збагачення дуття киснем, витрати природного газу, розподілу матеріалів в печі, міцності коксу і агломерату, розвитку прямого відновлення. Склад доменного газу коливається в широких межах. Зразковий склад його наступний: 10 – 18% CO<sub>2</sub>; 24 – 32 %CO; 0,2 – 0,5% CH<sub>4</sub>; 1,0 – 2,0% H<sub>2</sub> і 55 – 59% N<sub>2</sub>. Теплота згорання складає 3500 – 4000 кДж/м<sup>3</sup> [5].

В процесі доменної плавки виходить велика кількість колошникового газу. Проходячи через стовп шихт з невеликою швидкістю, газ охоплює дрібні частинки, залізовмісних матеріалів, так званий колошниковий пил.

Вміст пилу в колошниковому газі коливається в широких межах – від 10 до 100 г/м<sup>3</sup>. Його очищають в газоочисних пристроях і потім використовують як паливо.

У колошниковому газі містяться шкідливі речовини – пил, оксид вуглецю і незначна кількість сірчистих газів. До технологічних викидів умовно відносяться гази, що прориваються з печі в атмосферу через завантажувальний пристрій.

Вихід колошникового газу при доменній плавці залежить від ряду технологічних чинників: складу і початкової сировини – агломерату і коксу, температури і тиск повітряного дуття, збагачення дуття киснем, застосування природного газу, розподіл матеріалів в печі, міцності коксу і агломерату, розвиток процесів прямого відновлення.

**Викиди пилу з колошниковим газом.** З колошниковим газом з доменної печі виноситься велика кількість колошникового пилу. Величина викидів пилу залежить від фракційного складу шихтових матеріалів, хімічного і мінералогічного складу сировини, витрати і тиску дуття, температури під колошником, способу завантаження шихти в пекти.

**Викиди оксиду вуглецю** – вміст оксиду вуглецю в колошниковому газі залежить від складу дуття, витрати і складу вдувного відновного газу, витрати коксу, флюсу, розвитку прямого відновлення в доменній печі. Газ міжконусного простору викидається через вихлопну трубу після підняття великого конуса і відкриття малого. При основному режимі засипного апарату тиск в міжконусному просторі в період між опусканнями великого конуса близько до атмосферного, тому при опусканнях малого конуса тільки частина що знаходиться в міжконусному просторі газ витісняється в атмосферу. Ця частина приблизно дорівнює об'єму матеріалів завантажуваних у великий конус протягом циклу.

**Викиди сірки** – сірка поступає в доменну піч разом із завантажуваними матеріалами. Сіра – шкідливий елемент, що знижує якість металу. Додає красномомкість сталі при плющенні, і погіршує текучість



ливарних чавунів. У руді і флюсі вона міститься у вигляді піриту. Частина сірки (до 0,35 г на 1 т чавуну) викидається у вигляді сірчистих газів в атмосферу з міжконусного простору. Остання частина – йде з газами в систему газоочистки до споживачів газу, де при його спалюванні вся сірка з димовими газами викидається в атмосферу. Крім того, частина сірки переходить в шлак і чавун [6].

У шлаку – на горизонті фурм до шлаку приєднується зола згорілого коксу. Сірка переходить в шлак, поступово вступаючи у взаємодію з окислом кальцію і частково з окислом магнію. Остаточний її зміст встановлюється в горні при контакті чавуну з шлаком.

У чавуні – може розчинитися до 0,9% S, тоді як в сталі і ливарному чавуні її не повинно бути більше сотих доль відсотка. Сірку легко видалити з руд і чавуну, чим із сталі. Особливу увагу приділяють видаленню сіри при підготовці рудий і в доменному виробництві. Значна кількість сірки окислюється при вогняній обробці рудий (агломерація). Основна маса сірки вноситься до доменної пекти коксом.

**Рудний двір і бункерна естакада.** При розвантаженні вагонів, перевантаженню руді грейферами, подачі руді на бункерну естакаду, і на інших об'єктах утворюється пил. Питоме виділення пилу на рудному дворі складає 50 г/т чавуну. Такі великі виділення пилу пов'язані з вологістю шихти, рівнем механізації і іншими причинами.

Пил в підбункерному приміщенні виділяється при роботі вагон-вагів, грохотів, лебідок, а також при транспортерної подачі матеріалів. Пил вибивається також через вікна і отвори для скіпів, труб аспіраційних систем. Питомі виділення пилу в підбункерному приміщенні, обладнаному вагон-вагами, складає в середньому 0,8-1,2 кг/т чавуну. Концентрація пилу при роботі вагон-вагами досягає 10 г/м<sup>3</sup>. Вміст двоокису кремнію в пилі доходить до 7%.

**Ливарний двір** доменної печі є джерелом неорганізованого пилоутворення доменного виробництва. Запилені газу на ливарному дворі

виділяються, в основному, у чавунних і шлакових льоток, жолобів зливу чавуну і шлаку, чавуновозних і шлаковозних ковшів. Крім того, доменний газ в невеликих кількостях виділяється через нещільність в з'єднаннях комунікацій охолоджуючої арматури печі, у фурмених приладів.

Максимальна кількість пилу і газів виділяється під час випусків чавуну і шлаку. Пил і гази віддаляються через ліхтарі ливарного двору. Загальне виділення пилу з поверхні жолобів і ковшів складає 400-700 г/т чавуну, зокрема 160 г/т чавуну віддаляється через ліхтарі ливарного двору. Середня концентрація пилу в період випуску складає 150-1500 мг/м<sup>3</sup>. Максимальні концентрації спостерігаються над головним жолобом і ковшом для чавуну. Щільність пилу  $\rho_i = 2000$  кг/м<sup>3</sup>, усереднена концентрація пилу, що виділяється на ливарному дворі, - 4г/м<sup>3</sup>, медіанний діаметр частинок пилу  $d_m = 4$ мкм, пористість пилу  $\varepsilon_\delta = 0,77$  [7].

Хімічний склад пилу, що виділяється на ливарному дворі, представлений в табл. 1.1. Фракційний склад пилу, що виділяється, на ливарному дворі представлений в таблиці 1.2 [7].

Вміст двоокису кремнію в пилі при випуску чавуну складає 0,8-1,2 %, а вміст окислу вуглецю на робочих місцях складає 125-250 мг/м<sup>3</sup>. При випуску гарячого шлаку з домни сірка реагує з киснем повітря з утворенням сірчистого газу. Сірчистий газ виділяється від шлакових льоток, жолобів і шлакоотводів в кількості 120-170 г/т чавуну.

На ливарному дворі має місце виділення оксиду вуглецю в кількості рівному відповідно 93,7 мг/м<sup>3</sup>. Динамічна в'язкість газу за нормальних умов  $\mu_0 = 17,3 \cdot 10^{-6}$  Па·с [8]. Валові викиди пилу, окисли вуглецю і сірчистого газу від печі об'ємом 1513 м<sup>3</sup> показані в табл. 1.3.

Температури пилогазових викидів на ливарному дворі представлена в таблиці 1.4, а газові компоненти з яких складаються аспіраційні викиди представлені в таблиці 1.5 [8].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад пилу, що виділяється на ливарному дворі

Вміст компонентів									
C	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	MnO	S	Інше
4,5	4,4	0,22	5,5	0,49	70,09	0,03	0,25	0,78	13,74

Таблиця 1.2 – Фракційний склад пилу, що виділяється на ливарному дворі

d, мкм	0	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
Функція R/d	100	90	83	73	60	40	19	5

Таблиця 1.3 – Валові викиди пилу, окисли вуглецю і сірчистого газу від печі об'ємом 1513м<sup>3</sup>

Джерело утворення	Умовна продуктивність, т/доб	Викиди, кг/т чавуну		
		пилу	CO	SO <sub>2</sub>
Підбункерне приміщення	2520	0,9	-	-
Ливарний двір	2520	0,6	0,95	0,15

Таблиця 1.4 – Температура пилогазових викидів на ливарному дворі

№	Джерело викидів	Температура біля джерела, °C	Середня температура, °C
1	Льотка 1, 2 (скіммер головного жолоба)	70 – 120	95
2	Жолоби зливу чавуну, що коливаються	25 – 37	31
3	Жолоби зливу шлаку, що коливаються	34 – 54	31
4	Перед очищенням	60	60

Таблиця 1.5 – Склад газових аспіраційних викидів

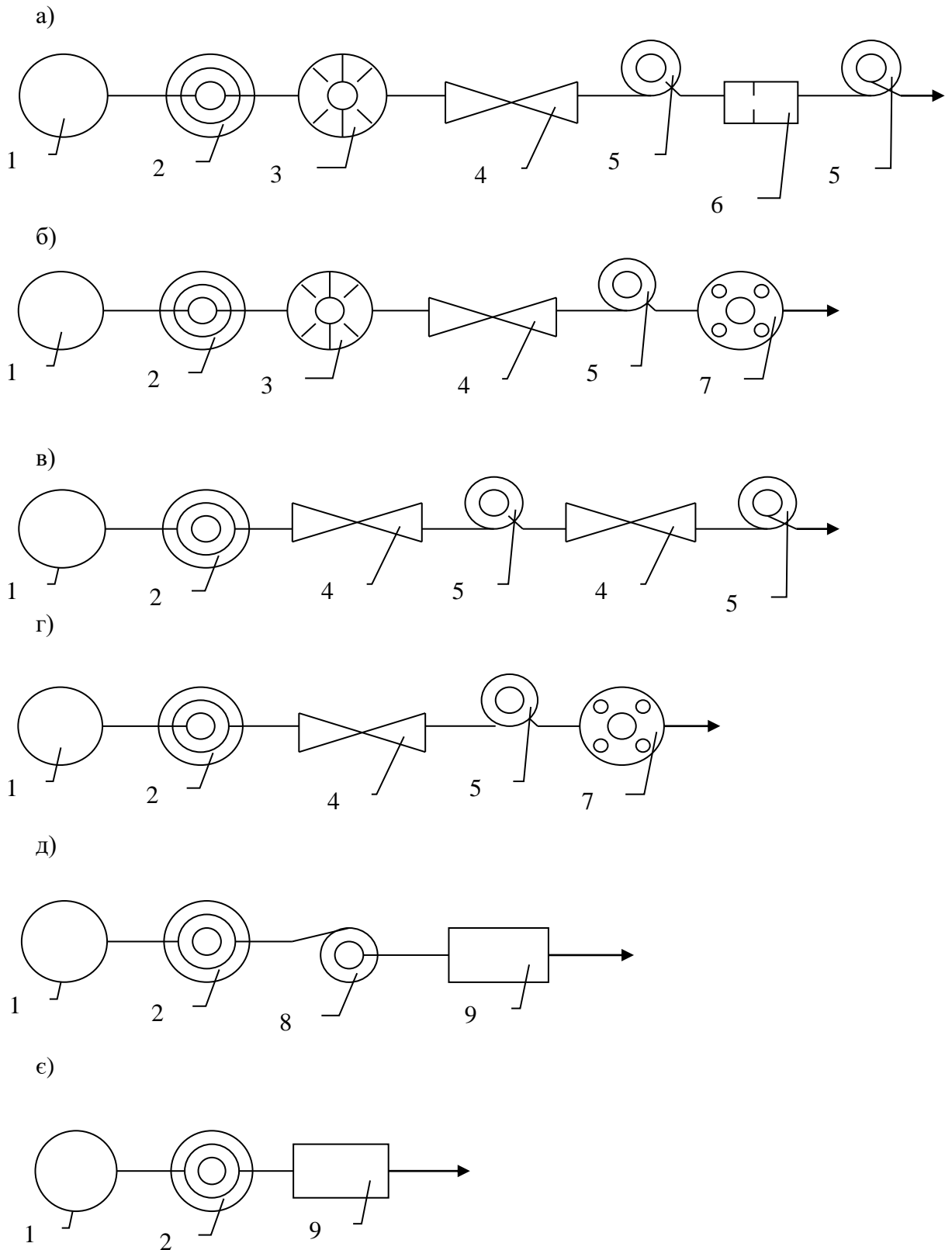
Компоненти	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Склад %	18,8	22,3	9,0	49,9

## 1.7 Аналіз схем очищення газів в доменному виробництві

У доменній печі утворюється 2000-2500 м<sup>3</sup> 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 мг/м<sup>3</sup>. 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> [8].

Схеми очищення доменного газу представлені на рис. 1.8.



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 рукавний фільтр

Рисунок 1.8 – Схеми очищення доменного газу

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ АСПІРАЦІЙНИХ ГАЗІВ ЛИВАРНОГО ДВОРУ ДОМЕННОГО ЦЕХУ

### 2.1 Обґрунтування і вибір системи очищення

З метою зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу від ливарного двору і поліпшення умов праці на доменній печі розроблена і упроваджена система уловлювання і очищення газів, що передбачає укриття жолобів, по яких рухається чавун і шлак при їх випуску, відсмоктування газів від них, а також від льоток, скіммерів і інших місць випадання газів. Аспіраційні гази прямують на очищення в мокрий скруббер.

В основному а багатьох підприємствах аспіраційні гази доменної печі, що відбираються на ливарному дворі, очищаються в скруберах Вентурі. Такий спосіб очищення має ряд істотних недоліків: низька ефективність, наявність стічної води з малим вмістом твердої фази, що вимагає шламового господарства для її освітлювання. Крім того, у пилу ливарного двору багато графіту, тому вона погано змочується водою, а значить процес очищення газів йде не достатньо ефективно [9].

Останнім часом всі газові викиди ливарного двору прагнуть направляти на очищення в «сухі» апарати. До них відносяться циклони, електрофільтри і рукавні фільтри.

Враховуючи достатній дрібнодисперсний характер пилу, її ефективність очищення в циклонах буде низькою. Як показують дані експлуатації вона не перевищує 75% [8].

Також можливе очищення викидів ливарного двору у електрофільтрах. Ступінь очищення у електрофільтрах достатньо високий, але разом з цим має місце і недолік: його ефективність знижується при коливанні газового навантаження, що супроводжує очищення газів ливарного двору.

Фільтрація запилених промислових і аспіраційних газів в тканинних

фільтрах є радикальним технічним рішенням для досягнення ефективного пиловловлювання при помірних капітальних і експлуатаційних витратах. Збільшені вимоги до ступеня очищення газів виявили тенденцію до збільшення частки вживаних апаратів фільтрації в порівнянні з іншими апаратами газоочистки.

У даному дипломному проєкті для видалення пилу і газів, що утворюються на ливарному дворі в процесі випуску і транспортування вогненно-рідких продуктів плавки використана місцева витяжна вентиляція (аспірація) від укриттів технологічного устаткування і як очисний апарат запропонований рукавний фільтр типу ФРІР. Ефективність рукавних фільтрів складає 90-99 %. Гідравлічний опір фільтру залежно від ступеня запиленості рукавів не більше 2,5 кПа.

Перевагами проєктного варіанту очищення аспіраційних газів є: відсутність шламового господарства; відносний малий опір газового тракту; висока ефективність очищення газів від пилу; енергетичні витрати значно нижчі, ніж при експлуатації мокрого очищення.

Даним проєктом аспірації ливарного двору передбачено очищення запилених газів від наступних місць їх утворення [7]:

- жолоб, що коливається №1 слива чавуну –  $Q_{н.у.} = 280000 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- жолоб, що коливається №2 слива шлаку –  $Q_{н.у.} = 126000 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- льотка №2 випуску шлаку і скіммер головного жолоба №2 –  $Q_{н.у.} = 187200 \text{ м}^3/\text{год}$ ;
- льотка №1 випуску чавуну і скіммер головного жолоба №1 –  $Q_{н.у.} = 187200 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

Принципова схема аспіраційної системи ливарного двору доменної печі представлена на рисунку 2.1.

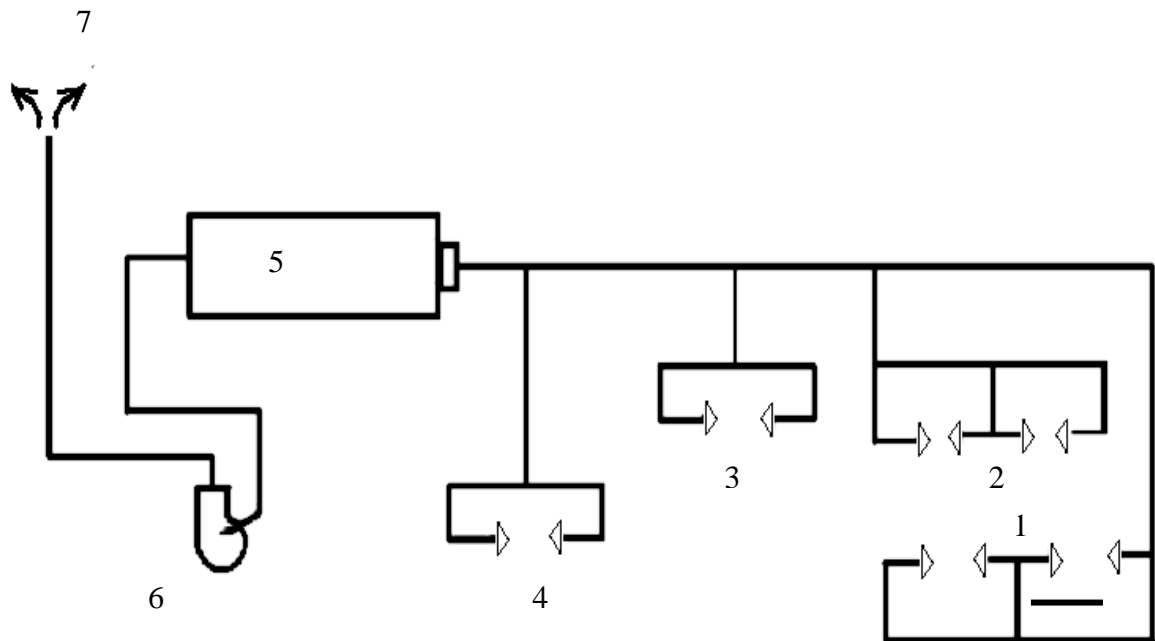
З моменту початку випуску чавуну і шлаку джерелом виділень є льотки доменної печі. Поблизу льоток споруджено відсмоктування, за допомогою якого відбираються запилені гази. У напрямі руху чавуну від льотки походить взаємодія повітря з рідким металом, внаслідок чого утворюються

запилені гази. Для запобігання виділенню запилених газів в простір ливарного двору, головний жолоб від льотки до скіммера на період випуску чавуну накривається знімними укриттями. В кінці головного жолоба на скіммері відбувається розділення чавуну і шлаку. Гази, що утворилися при цьому, відбираються відсмоктуванням.

Чавун і шлак по транспортних жолобах прямує на гойдаючі жолоби для чавуну і шлаку. Отвори цих жолобів укриті рухомими кришками.

Відсмоктування від жолобів, що коливаються, проводиться двома огорожними отворами, виконаними в стінках отвору. З гойдаючих жолобів продукти плавки потрапляють в чавуновозні і шлаковозні ковші.

Від чавунних і шлакових льоток, жолобів зливу чавуну, що коливаються, жолобів зливу шлаку, від скіммерів льоток гази прямують в збірний колектор.



1 – жолоб, що коливається №1 слива чавуну; 2 – жолоб, що коливається №2 слива шлаку; 3 – лютка №2 випуску шлаку і скіммер головного жолоба №2; 4 – лютка №1 випуску чавуну і скіммер головного жолоба №1; 5 – рукавний фільтр; 6 – димосос; 7 – димар.

Рисунок 2.1 – Принципова схема аспіраційної системи ливарного двору



По вказаних газоходах повітря подається на очищення в рукавний фільтр ФРІР. Очищений газ з фільтру по загальному газоходу прямує в розподільчий колектор і потім до димососів.

Газ викидається в атмосферу за допомогою димотяга через димар з діаметром гирла  $D_r = 2,2$  м і висотою  $H = 38$  м [7].

Відповідно до почергового випуску шлаку і чавуну передбачено два варіанти відсмоктувань:

I варіант – при працюючих відсмоктуваннях жолоба, що коливається №1 слива чавуну і від скіммера головного жолоба №1 і льотки № 1 випуску шлаку:

$$Q_{1н.у.} = 280000 + 187200 = 467\,200 \text{ м}^3/\text{год};$$

II варіант – при працюючих відсмоктуваннях від жолоба, що коливається №2 слива чавуну і від скіммера головного жолоба №2 і льотки № 2 випуску чавуну:

$$Q_{2н.у.} = 126000 + 187200 = 313\,200 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таким чином, система відсмоктувань працює або при сливі чавуну (I варіант відсмоктувань), або при сливі шлаку (II варіант відсмоктувань), а значить і газу на очищення поступає поперемінно 467,2 тис. м<sup>3</sup>/год або 313,2 тис. м<sup>3</sup>/год.

У даному дипломному проекті за основу для розрахунків приймається перший варіант відсмоктувань, оскільки в цьому випадку на очищення поступає більша кількість газів. Також з погляду аеродинамічного розрахунку газового тракту I варіант відсмоктувань є більшою мірою прийнятним, оскільки ділянка відсмоктувань від жолоба, що коливається №1 слива чавуну є найбільш видаленою ділянкою аспіраційної системи.

## 2.2 Конструкція рукавного фільтру типу ФРІР і теоретичні основи процесу фільтрації

Первинний процес фільтрації через пористу перегородку, до накопичення в ній пилу і створення на поверхні пилового осаду, не є вирішальним в ефективності очищення промислових газових викидів. Процес осадження пилу на волокнах фільтрувального матеріалу в первинний період відбувається за рахунок комплексу чинників, котрі діють на частинки при проходженні їх через лабіринт волокон. Якщо розмір частинок пилу перевищує розмір пір фільтрувального матеріалу, відбувається їх відсівання. При русі частинок в порах з великою швидкістю вони не можуть йти разом з газом, огинаючи всі волокна, притискаються до них і осідають на них. Осадження дрібних частинок на волокнах може відбуватися за рахунок електричних сил, за рахунок гравітаційного осадження, за рахунок броунівського руху і, нарешті, за рахунок сукупності всіх цих чинників.

У практиці промислового пиловловлювання за допомогою рукавних фільтрів основним механізмом осадження частинок пилу, ймовірно, слід вважати ситовий ефект. Поступово на поверхні фільтрувального матеріалу утворюється пиловий шар з порами, розмір яких не перевищує розмір частинок. Цей шар і є основою відділення частинок пилу від газу, що очищається, а збереження цього шару є необхідною гарантією високоефективного очищення промислових газів [6].

Можна зробити висновок, що процес фільтрації в рукавному фільтрі здійснюється в декілька стадій. У початковій стадії відбувається осадження частинок пилу на чистих волокнах усередині пористої перегородки фільтрувального матеріалу. В процесі проходження запиленого газового потоку через чистий фільтрувальний матеріал пил осідає на волокнах в результаті безпосереднього торкання, дії інерційних сил, броунівській дифузії і в меншій мірі – електричних сил тяжіння порошинок до волокон і сили гравітації. Пиліві нарости, що осідають на волокнах, поступово

змикаються і утворюють суцільну пористу пилову перегородку. Потім відбувається осадження аерозолів на пиловій підкладці до виникнення пилового шару завтовшки, відповідно певному гідравлічному опору [6].

По мірі зростання пилового шару росте і гідравлічний опір апарату. В результаті поступового забивання падатиме продуктивність вентилятора і, врешті-решт, рух газу через фільтр припиниться. Для підтримки фільтру в працездатному стані необхідно періодично видаляти пил з поверхні пір. Що проте осідаючий на поверхні фільтрувального матеріалу шар пилу одночасно є фільтруючим середовищем, що перешкоджає проскакуванню найбільш дрібних частинок пилу. Тому з фільтрувального матеріалу необхідно видалити не весь шар пилу, щоб забезпечити прийнятний гідравлічний опір апарату і зберегти його високу ефективність пиловловлювання. Процес видалення частини пилового шару зовні і зсередини фільтрувальної перегородки в тканинних фільтрах прийнято називати регенерацією, тобто частковим відновленням первинних властивостей фільтрувальної перегородки.

Одним з найбільш ефективних способів регенерації фільтрувального матеріалу є імпульсне продування з використанням швидкодіючих продувних клапанів. Фільтри з імпульсним продуванням типу ФРКИ, ФРКДІ, ФРІ, ФКІ, ФРІР, ФРІА знайшли застосування майже у всіх галузях промисловості.

Регенерація рукавів імпульсним продуванням здійснюється шляхом подачі імпульсів стислого повітря всередину рукава, при цьому тиск стислого повітря на вході в рукавний фільтр до 0,5 МПа ( $5 \text{ кгс/см}^2$ ), а в накопичувачах стислого повітря в межах 0,3 – 0,5 МПа [7].

Хоча застосування стислого повітря не є дешевим способом регенерації, проте, фільтри з імпульсним продуванням мають підвищене навантаження по газу. Швидкість фільтрування в рукавних фільтрах з імпульсним продуванням за інших рівних умов на 20-30% вище, ніж у фільтрах з механічною регенерацією і зворотним продуванням, завдяки

ефективнішою регенерацією за допомогою дуже коротких імпульсів. При ефективній регенерації загальний термін служби рукавів в цих фільтрах вищий, рукави менше зношуються, і до їх заміни залишкова запиленість зберігається на рівні 15-50 мг/м<sup>3</sup>, і лише в окремих випадках ці значення перевищуються [8].

Перевагами фільтрів з імпульсним продуванням є економічність в роботі, відносно малі габарити, простота конструктивного оформлення, надійність в роботі. До основних недоліків слід віднести: підвищені вимоги до монтажних робіт, із-за необхідності ретельної центрівки регенеруючих сопел з віссю рукавів; необхідність наявності додаткового простору над фільтром для виїмки каркасів; необхідність наявності стислого повітря тиском до 5 атм. Проте, в загальній оцінці, ці фільтри в порівнянні з іншими конструкціями мають явні переваги.

Рукавні фільтри типу ФРІР мають наступні переваги перед іншими, що серійно випускаються:

- менші габарити при тій же продуктивності;
- закріплення рукавів проводиться з одного боку у верхній частині фільтру, що гранично спрощує заміну рукавів;
- підвищена ремонтпридатність фільтру;
- ефективність імпульсної регенерації, здійснюваної за допомогою клапанів з підвищеною швидкодією;
- розміщення на відкритому повітрі з укриттям тільки верхньої частини фільтру.

Фільтр складається з корпусу і механічного устаткування. Корпус є несучою конструкцією і складається з опорного поясу з підвісними бункерами, вузла вивантаження пилу, системи пневмообрушення пилу, оглядових люків, відсічних клапанів забрудненого газу, розподільного газоходу і панелей огорожі. Перекриттям корпусу фільтру служить блок регенерації. Корпус розділений на камери чистого і брудного газу

горизонтальними перегородками – рукавними дошками з отворами для кріплення фільтрувальних рукавів.

До складу механічного устаткування фільтру входять: система регенерації рукавів (накопичувачі стислого повітря, продувні клапани і роздаточні колектори), рукавні дошки, фільтрувальні рукави, дротяні каркаси, відсічні клапани, вузол редукування стислого повітря, пристрої пиловидалення і шафа управління регенерацією фільтру.

### **2.3 Аеродинамічний розрахунок газового тракту аспіраційної системи очищення**

Розрахунок газового тракту полягає у визначенні діаметрів і опорів його ділянок, що у свою чергу визначає характеристики вентилятора.

Схема аспіраційної системи ливарного двору для зручності розрахунків розбита по ділянках і представлена на рис. 2.2.

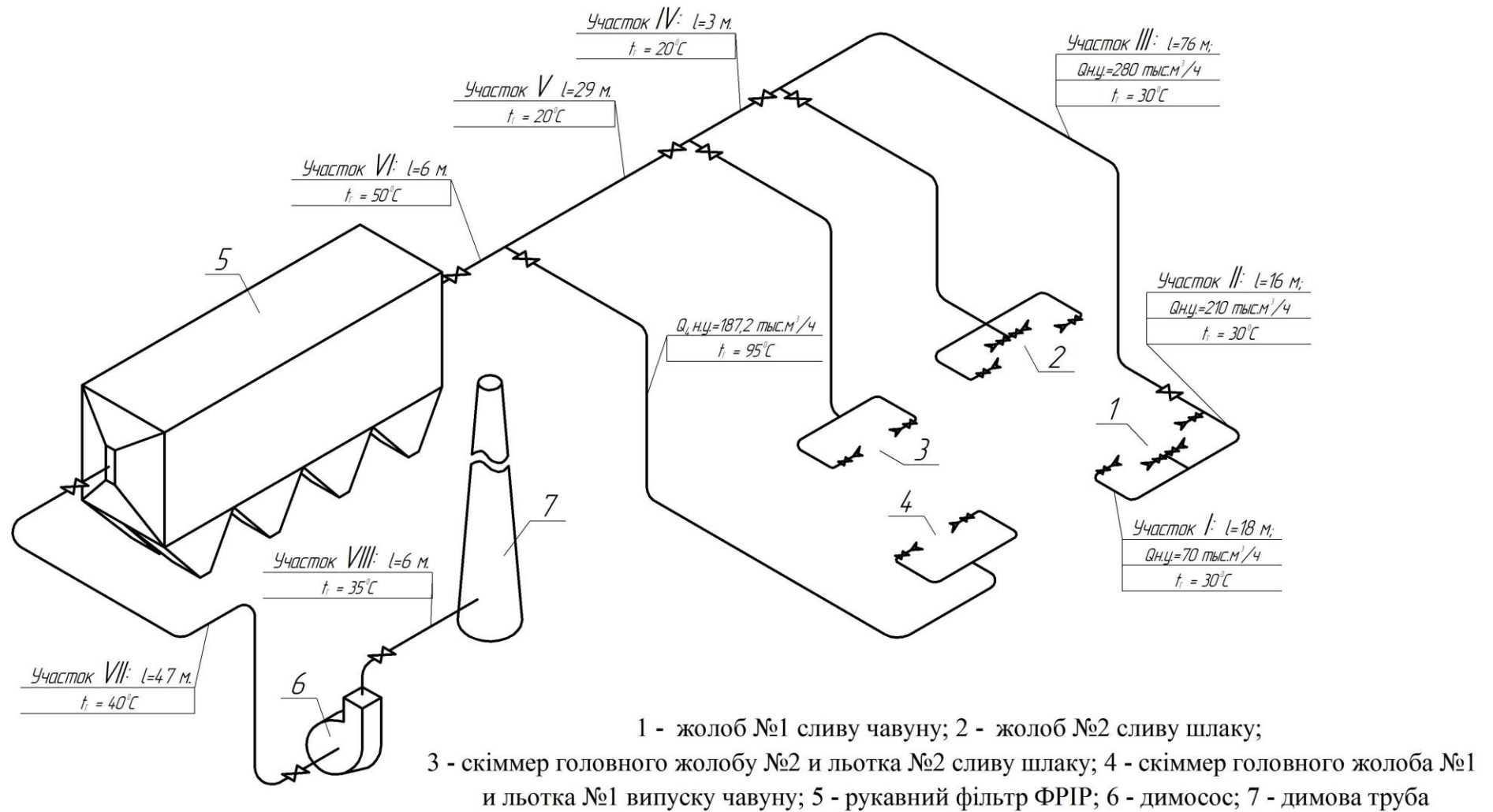
#### **Початкові дані для розрахунку (за заводськими даними):**

##### 1) Витрата газів:

- на першій ділянці при н. у.,  $Q'_{01} = 70$  тис. м<sup>3</sup>/год;
- на другій ділянці при н. у.,  $Q'_{0II} = 210$  тис. м<sup>3</sup>/ год;
- на третій ділянці загальна витрата газу від жолоба, що коливається №1 слива чавуну при н. у.,  $Q_{0III} = 280$  тис. м<sup>3</sup>/ год;
- від скіммеру головного жолоба №1 і льотки №1 випуску чавуну при н.у.,  $Q_{04} = 187,2$  тис. м<sup>3</sup>/ год.

##### 2) Температура газу:

- на першій, другій і третій ділянках,  $t_{r1} = t_{r2} = t_{r3} = 30^{\circ}\text{C}$ ;
- на четвертій і п'ятій ділянках,  $t_{r4} = t_{r5} = 20^{\circ}\text{C}$ ;
- від скіммеру головного жолоба №1 і льотки №1 випуску чавуну,  $t_{r6} = 95^{\circ}\text{C}$ ;
- перед рукавним фільтром,  $t_{p.ф.} = \frac{Q_{0III} \cdot t_5 + Q_{04} \cdot t_6}{Q_{0III} + Q_{04}} = \frac{280 \cdot 20 + 187,2 \cdot 95}{280 + 187,2} = 50^{\circ}\text{C}$ ;
- на сьомій ділянці (перед димососом),  $t_{r7} = 40^{\circ}\text{C}$ ;



с

Рисунок 2.2 – Схема аспіраційної системи ливарного двору доменного цеху для аеродинамічного розрахунку

- на восьмій ділянці (перед димарем),  $t_{r8} = 35^{\circ}\text{C}$ .

3) Барометричний тиск,  $B = 98$  кПа.

4) Розрядка газів на вході в ділянку I,  $P_r = -0,5$  Па.

5) Опір рукавного фільтру  $\Delta P_{\phi} = 2000$  Па.

6) Склад газу [5]:

Компоненти	CO <sub>2</sub>	C	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Зміст за об'ємом %	18,8	22,3	9,0	49,9

1. Розрахуємо щільність газової суміші за нормальних умов. Щільність газу, що складається з декількох компонентів, за нормальних умов, визначається по формулі [8], кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{\text{о.см}} = \frac{M}{22,4} = 0,01 \cdot \frac{(M_1 \cdot a_1 + M_2 \cdot a_2 + \dots + M_n \cdot a_n)}{22,4}, \quad (2.1)$$

де  $M, M_1, M_2, \dots, M_n$  - молекулярні маси газової суміші і окремих компонентів [8], кг/кмоль;

$a_1, a_2, \dots, a_n$  - об'ємний зміст окремих компонентів газової суміші %.

$$\begin{aligned} \rho_{\text{о.см}} &= 0,01 \cdot \frac{(M_{\text{CO}_2} \cdot a_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2} \cdot a_{\text{H}_2} + M_{\text{CO}} \cdot a_{\text{CO}} + M_{\text{N}_2} \cdot a_{\text{N}_2})}{22,4} = \\ &= 0,01 \cdot \frac{(44 \cdot 18,8 + 2 \cdot 9 + 28 \cdot 22,3 + 28 \cdot 49,9)}{22,4} = 1,28 \text{ кг/м}^3, \end{aligned}$$

Розрахуємо щільність газу за робочих умов на першій ділянці аспіраційної системи [8], кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{r1} = \rho_{\text{о.см}} \cdot \frac{273 \cdot (B - P_r)}{(273 + t_{r1}) \cdot 101,3}, \quad (2.2)$$

де  $B$  – барометричний тиск, кПа;

$\Delta P$  – розрядження перед очищенням, кПа;

$t_r$  – температура газу, °С.

$$\rho_{r1} = 1,28 \cdot \frac{273 \cdot (98 - 0,5)}{(273 + 30) \cdot 101,3} = 1,11 \text{ кг/м}^3.$$

Витрата газу за робочих умов, м<sup>3</sup>/с:

$$Q_{p1} = Q_{o1} \cdot \frac{\rho_{o.см}}{\rho_{r1} \cdot 3600} = 70000 \cdot \frac{1,28}{1,11 \cdot 3600} = 22,4 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (2.3)$$

2. Розрахуємо діаметр початкової ділянки газоходу, через який проходить четверта частина потоку газів, що відбираються аспіраційною системою від жолоба зливу чавуну, що коливається, тобто ділянки I [9]:

$$d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{Q_1}{W}} = 1,13 \sqrt{\frac{22,4}{18}} = 1,26 \text{ м}, \quad (2.4)$$

де  $W = 18$  м/с [9] – прийнята швидкість газу в газопроводі на тракті аспіраційної системи, м/с.

Приймаємо стандартний діаметр газоходу  $d_1 = 1,325$  м [9], тоді дійсна швидкість газу на цій ділянці складе:

$$W_1 = 1,27 \cdot \frac{Q_1}{d_1^2} = 1,27 \cdot \frac{22,4}{1,325^2} = 16,2 \text{ м/с}. \quad (2.5)$$

Довжини ділянок, залежно від розташування рукавного фільтру і димососу, такі:

$$l_I = 18 \text{ м}; \quad l_{II} = 16 \text{ м}; \quad l_{III} = 76 \text{ м}; \quad l_{IV} = 29; \quad l_V = 3 \text{ м}; \quad l_{VI} = 6 \text{ м}; \\ l_{VII} = 47 \text{ м}; \quad l_{VIII} = 6 \text{ м}.$$

Розрахуємо опір ділянки I, Па:



$$\Delta P_i = \Delta P_{li} + \Delta P_{Mi}, \quad (2.6)$$

де  $\Delta P_{li}$  - опір по довжині газоходу, Па;

$\Delta P_{Mi}$  - сума місцевих опорів, Па.

$$\Delta P_{li} = \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{W_i^2}{2} \cdot \rho_{Гi}, \text{ Па}; \quad \Delta P_{Mi} = \sum \zeta \cdot \frac{W_i^2}{2} \cdot \rho_{Гi}, \text{ Па}, \quad (2.7)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт опору тертю, що залежить від внутрішньої поверхні трубопроводу;

$l$  – довжина ділянки, м;

$d$  – діаметр газопроводу, м;

$W$  – швидкість газу на цій ділянці, м/с;

$\rho_{Г}$  – щільність газу за робочих умов, кг/м<sup>3</sup>;

$\Sigma \zeta$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

З наближенням  $\lambda$  для трубопроводу, що тривалий час був в експлуатації можна розрахувати по виразу [9]:

$$\lambda = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{d}}; \quad (2.8)$$

$$\lambda_1 = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{1,325}} = 0,032,$$

тоді

$$\Delta P_{l1} = 0,032 \cdot \frac{18}{1,325} \cdot \frac{16,2^2}{2} \cdot 1,11 = 63,3 \text{ Па.}$$

Приймаємо  $\Delta P_{l1} = 63 \text{ Па.}$

На ділянці I з місцевих опорів є засувка -  $\zeta_{зас} = 0,06$  і два плавні повороти на  $90^\circ$ . Коефіцієнт опору повороту можна прийняти рівним  $\zeta_{90} = 0,39$  [9]. Таким чином

$$\Delta P_{M1} = (0,06 + 2 \cdot 0,39) \cdot \frac{W_1^2}{2} \cdot \rho_{r1} = 0,84 \cdot \frac{16,2^2}{2} \cdot 1,11 = 122,4 \text{ Па};$$

приймаємо  $\Delta P_{M1} = 123$  Па, тоді

$$\Delta P_1 = \Delta P_{I1} + \Delta P_{M1} = 63 + 123 = 186 \approx 190 \text{ Па.}$$

3. Розрахуємо витрату газів на ділянці II за робочих умов:

$$Q_{pII} = Q_{оп} \cdot \frac{\rho_{о.см}}{\rho_{r2} \cdot 3600} = 210000 \cdot \frac{1,28}{1,11 \cdot 3600} = 67,27 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо  $Q_{pII} = 68,3$  м<sup>3</sup>/с.

Прийнявши швидкість газу на цій ділянці  $W_{II} = 16$  м/с, розрахуємо діаметр газоходу:

$$d_{II} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_{pII}}{W_{II}}} = 1,13 \sqrt{\frac{68,3}{16}} = 2,34 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартний діаметр газоходу  $d_{II} = 2,3$  м, тоді:

$$W_{II} = 1,27 \cdot \frac{68,3}{2,3^2} = 16,4 \text{ м/с}, \quad \lambda_2 = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{2,3}} = 0,028;$$

$$\Delta P_{I II} = 0,028 \cdot \frac{16}{2,3} \cdot \frac{16,4^2}{2} \cdot 1,11 = 29,1 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $\Delta P_{I\Pi} = 30$  Па.

Місцевими опорами на даній ділянці є перехід від меншого діаметру до більшого, тому встановлюємо дифузор, з'єднання потоків –  $\zeta_{з'єд} = 0,74$  і плавний поворот на  $90^\circ$  –  $\zeta_{90} = 0,39$ . Дифузор приймаємо з кутом розкриття  $\alpha = 40^\circ$ . Тоді

$$\zeta_{диф} = \sin \alpha \cdot \left( \frac{F_{II}}{F_I} - 1 \right)^2 = \sin 40^\circ \cdot \left( \frac{2,3}{1,325} - 1 \right)^2 = 0,348 \cdot$$

$$\Delta P_{M_{II}} = (0,348 + 0,74 + 0,39) \cdot \frac{16,4^2}{2} \cdot 1,11 = 220,6 \text{ Па.}$$

Приймаємо  $\Delta P_{M\Pi} = 220$  Па.

$$\Delta P_{I\Pi} = \Delta P_{I\Pi} + \Delta P_{M\Pi} = 30 + 220 = 250 \text{ Па.}$$

4. Розрахуємо витрату газів на ділянці III за робочих умов:

$$\rho_{гIII} = \rho_{0см} \cdot \frac{273 \cdot (98 - \Delta P_I - \Delta P_{II})}{(273 + t_{г3}) \cdot 101,3} = 1,28 \frac{273(98 - 0,19 - 0,25)}{(273 + 30)101,3} = 1,11 \text{ кг/м}^3;$$

$$Q_{рIII} = Q_{03} \cdot \frac{\rho_{0.см}}{\rho_{гIII} \cdot 3600} = 280000 \cdot \frac{1,28}{1,11 \cdot 3600} = 89,7 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо  $Q_{рIII} = 90$  м<sup>3</sup>/с.

Прийнявши швидкість газу на цій ділянці  $W_{III} = 18$  м/с, розрахуємо діаметр газоходу:

$$d_{III} = 1,13 \sqrt{\frac{Q_{рIII}}{W_{III}}} = 1,13 \sqrt{\frac{90}{18}} = 2,53 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартний діаметр газоходу  $d_{III} = 2,6$  м, тоді

$$W_{III} = 1,27 \cdot \frac{90}{2,6^2} = 16,9 \approx 17 \text{ м/с} \quad \lambda_3 = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{2,6}} = 0,027;$$

$$\Delta P_{l_{III}} = 0,027 \cdot \frac{76}{2,6} \cdot \frac{17^2}{2} \cdot 1,105 = 126 \text{ Па.}$$

На ділянці III з місцевих опорів є злиття потоків  $\zeta_{з'єд} = 0,74$ , три плавні повороти на  $90^\circ$ , засувка  $\zeta_{зас} = 0,06$  і дифузор:

$$\zeta_{диф} = \sin \alpha \cdot \left(\frac{F_{III}}{F_{II}} - 1\right)^2 = \sin 40 \cdot \left(\frac{2,6}{2,3} - 1\right)^2 = 0,011;$$

$$\Delta P_{M_{III}} = (0,74 + 0,39 \cdot 3 + 0,06 + 0,011) \cdot \frac{17^2}{2} \cdot 1,105 = 316,3 \text{ Па;}$$

Приймаємо  $\Delta P_{M_{III}} = 316$  Па.

$$\Delta P_{III} = \Delta P_{l_{III}} + \Delta P_{M_{III}} = 126 + 316 = 442 \approx 440 \text{ Па.}$$

5. При роботі системи в I режимі газ від об'єктів 2 і 3 на ділянці IV і V не поступає. Тому розраховуємо опір тракту в кінці ділянки V тільки з урахуванням втрат тиску по їх довжині і місцевих опорів. Розрахунок ділянок IV, V, VI і VII проводимо по аналогії з вище наведеними розрахунками перших ділянок аспіраційної системи. Всі результати розрахунку занесені в таблицю 2.16.

6. З огляду на те, що опір ділянки VIII невідомо, невідомий і тиск, під яким знаходиться газ, а тому не можемо визначити нове значення щільності газу і його витрату. Прийmemo, що тиск в газоході не відрізняється від атмосферного, тоді

$$\rho_{GVIII} = \rho_0 \cdot \frac{273(B \pm P_r)}{(273 + t_{r8}) \cdot 101,3} = 1,28 \cdot \frac{273(98 \pm 0)}{(273 + 35) \cdot 101,3} = 1,098 \text{ кг/м}^3.$$

Приймаємо  $\rho_{GVIII} = 1,1 \text{ кг/м}^3$ .

При такій щільності газів витрата газів рівна:

$$Q_{PVIII} = Q_{PVII} \cdot \frac{\rho_{PVII}}{\rho_{PVIII}} = 158,5 \cdot \frac{1,05}{1,1} = 151,3 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Діаметр газопроводу ділянки VIII, прийнявши швидкість газу 18 м/с:

$$d_{VIII} = 1,13 \sqrt{\frac{151,3}{18}} = 3,28 \text{ м}, \text{ приймаємо } d_{VIII} = 3,3 \text{ м}, \text{ тоді}$$

$$W_{VIII} = 1,27 \cdot \frac{151,3}{3,3^2} = 17,7 \text{ м/с}, \quad \lambda_s = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{3,3}} = 0,026;$$

$$\Delta P_{l_{VIII}} = 0,026 \cdot \frac{6}{3,3} \cdot \frac{17,7^2}{2} \cdot 1,1 = 8,2 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $\Delta P_{l_{VIII}} = 8 \text{ Па}$ .

Місцеві опори на даній ділянці: засувка, дифузор, поворот на 90°, вхід газу в димар -  $\zeta_D = 0,7$ .

$$\Delta P_{M_{VIII}} = (0,06 + 0,1 + 0,39 + 0,7) \cdot \frac{17,7^2}{2} \cdot 1,1 = 215,4 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $\Delta P_{M_{VIII}} = 215 \text{ Па}$ .

$$\Delta P_{VIII} = \Delta P_{l_{VIII}} + \Delta P_{M_{VIII}} = 8 + 215 = 223 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $\Delta P_{VIII} = 220$  Па.

Перерахуємо щільність газу, враховуючи отриманий опір ділянки VIII:

$$\rho'_{гVIII} = \rho_0 \cdot \frac{273(B + \Delta P_{VIII})}{(273 + t_{г8}) \cdot 101,3} = 1,28 \cdot \frac{273(98 + 0,22)}{(273 + 35) \cdot 101,3} = 1,1 \text{ кг/м}^3.$$

Оскільки  $\rho_{г VIII} = \rho'_{г VIII} = 1,1 \text{ кг/м}^3$ , то отже і витрати при такій щільності будуть рівними. Тому опір ділянки VIII приймаємо попереднім значенням  $\Delta P_{VIII} = 220$  Па.

Опір газового тракту в цілому (таблиця .2.1):

$$\Delta P_{\text{ТРАК}} = \Delta P_{\Sigma} + \Delta P_{VII} + \Delta P_{VIII} = 3100 + 340 + 220 = 3660 \text{ Па} = 3,7 \text{ кПа.}$$

## 2.4 Розрахунок рукавного фільтру типу ФРІР

Початкові дані для розрахунку:

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1) Об'ємна витрата газу, що очищається, при р.у., $Q_{p.u.}$ | 160 м <sup>3</sup> /с.   |
| 2) Щільність газу при р. у., $\rho_{г}$                      | 1,04 кг/м <sup>3</sup> . |
| 3) Температура газу, $t_{г}$                                 | 50 °С.                   |
| 4) Запилена газу, що поступає на очищення, $z_1$             | 4 г/м <sup>3</sup> .     |
| 5) Розрядка перед фільтром, $P_{г}$                          | -1,1 кПа.                |
| 6) Середній медіанний діаметр частинок пилу, $d_m$           | 4 мкм.                   |
| 7) Щільність частинок пилу $\rho_{ч}$                        | 2000 кг/м <sup>3</sup> . |

Питоме газове навантаження або швидкість фільтрації, згідно з паспортними даними фільтру типу ФРІР, 1,5 – 2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·хв. Приймаємо питоме газове навантаження на фільтр рівної  $q = 1,7 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$  [8].

Площа необхідної фільтруючої поверхні, м<sup>2</sup>:

$$F = \frac{Q_p}{q} = \frac{160 \cdot 60}{1,7} = 5647 \text{ м}^2. \quad (2.9)$$

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку газового тракту аспіраційної системи ливарного двору доменного цеху

Ділянки	Температура газу, $t_r, ^\circ\text{C}$	Витрата газу $Q_r, \text{м}^3/\text{с}$	Щільність газу $\rho_r, \text{кг}/\text{м}^3$	Геометричні параметри ділянок		Швидкість руху газу $W_r, \text{м}/\text{с}$	Вид місцевого опору, $\Sigma\zeta$		Втрати тиску		
				$l, \text{м}$	$d, \text{м}$		Найменування	Значення	$\Delta P_l, \text{Па}$	$\Delta P_M, \text{Па}$	$\Delta P_\Sigma, \text{Па}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	30	22,4	1,11	18	1,325	16,2	Засувка, два повільних повороти на $90^\circ$ .	0,06+039+039	63	123	186
II	30	68,3	1,11	16	2,3	16,4	Дифузор, з'єднання потоків, поворот на $90^\circ$ .	0,348+0,74+0,39	30	220	250
III	30	90	1,11	76	2,6	17	З'єднання потоків, три повільних повороти на $90^\circ$ , засувка, дифузор.	0,74+0,39+0,39+0,39+0,06+0,011	126	316	442
IV - V	20	87,3	1,14	32	2,6	16,4	Дві засувки.	0,06+0,06	50	20	70

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VI	50	160	1,04	6	3,4	17,6	З'єднання потоків, дифузор, засувка.	0,74+ 0,061+ 0,06	7	140	147
Опір перед рукавним фільтром – 1100 Па = 1,1 кПа											
Рукавний фільтр											2000
VII	40	158,5	1,05	47	3,4	17,4	Дві засувки, чотири повільних повороти на 90°, конффузор.	0,06+ 0,06 + 4 · 0,39+ 0,1	60	280	340
Вентилятор											
VIII	35	151,3	1,1	6	3,3	17,7	Засувка, поворот на 90°, вхід в димар.	0,06 + 0,39+ 0,7	8	215	223
Сумарний опір газового тракту $\Delta P_{\Sigma} = 3658 \approx 3660$ Па											



Вибираємо рукавний фільтр типу ФРІР-5700, технічна характеристика якого приведена нижче:

1. Продуктивність по газу, що очищається, тис. м <sup>3</sup> /год.	513– 684
2. Питоме газове навантаження, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> мин	1,5 – 2,0
3. Площа фільтрації, м <sup>2</sup>	5700
4. Допустима температура газу, що очищається, °С	не більше 135
5. Масова концентрація пилу в газі, що очищається, г/м <sup>3</sup>	
на вході у фільтр	до 50
на виході з фільтру	не більше 0,02
6. Гідравлічний опір фільтру, Па	не більше 2500
7. Кількість фільтрувальних рукавів, шт	2688
8. Розмір рукава фільтрувального, мм	
діаметр внутрішній	135
довжина	5200
9. Маса фільтру, кг	149500
10. Маса шатра фільтру, кг	65000

Рукавні фільтри типу ФРІР добре працюють з фільтрувальними рукавами виготовленими з поліефірного іглопробивного полотна з каркасом з філаментних ниток.

Визначимо фактичне газове навантаження на фільтр:

$$q_{\phi} = \frac{Q_p}{F_{\phi}} = \frac{160}{5700} = 0,028 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с} = 1,68 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{хв.} \quad (2.10)$$

Повний гідравлічний опір фільтру  $\Delta P_{\phi}$  складається з опору корпусу  $\Delta P_{\kappa}$  і опору фільтрувальної перегородки  $\Delta P_{\phi.п.}$ , Па:

$$\Delta P_{\phi} = \Delta P_{\kappa} + \Delta P_{\phi.п.} \quad (2.11)$$

Гідравлічний опір корпусу фільтру:

$$\Delta P_{\kappa} = \zeta \frac{\rho_{\Gamma} \cdot W_{\text{BX}}^2}{2}, \quad (2.12)$$

де  $\rho_{\Gamma}$  – щільність газу за робочих умов, г/м<sup>3</sup>;

$W_{\text{BX}}$  – швидкість газу, що приймається, у вхідному патрубку фільтру;  
 $W_{\text{BX}} = 8 \text{ м/с}$ ;

$\xi$  – коефіцієнт гідравлічного опору корпусу; для правильно сконструйованих рукавних фільтрів зазвичай складає 1,5-2,0 [8], приймаємо  $\xi = 2$ .

$$\Delta P_{\kappa} = 2 \frac{1,04 \cdot 8^2}{2} = 66,56 \approx 67 \text{ Па.}$$

Опір фільтрувальної перегородки фільтру, Па:

$$\Delta P_{\text{ф.п}} = \Delta P_{\text{т}} + \Delta P_{\text{ш.п.}}, \quad (2.13)$$

де  $\Delta P_{\text{т}}$  – гідравлічний опір тканині фільтру, Па:

$$\Delta P_{\text{т}} = A \cdot W_{\text{ф}} \cdot \mu_{\text{г.см.}}; \quad (2.14)$$

де  $A$  – постійна фільтрування;

$W_{\text{ф}}$  – швидкість фільтрування, м/с;  $W_{\text{ф}} = q_{\text{ф}} = 1,68 \text{ м/хв} = 0,028 \text{ м/с}$ ;

$\mu_{\text{г.см.}}$  – динамічна в'язкість газової суміші при р.у.

$\Delta P_{\text{ш.п.}}$  – гідравлічний опір шару, що накопичується, пилу, Па:

$$\Delta P_{\text{ш.п.}} = \Delta P_{\text{ф}} - \Delta P_{\kappa} - \Delta P_{\text{т}}. \quad (2.15)$$

Час періоду міжрегенерації рукавного фільтру визначимо по формулі:

$$t_{\text{р}} = \frac{\Delta P_{\text{с.п}}}{B \cdot W_{\text{ф}}^2 \cdot \mu_{\text{см}} \cdot z_1}, \quad (2.16)$$

де  $B$  – постійна фільтрування;

$z_1$  – концентрація пилу в газі перед фільтром,  $\text{г/м}^3$ .

Розраховуємо постійні фільтрування  $A$  і  $B$ :

$$A = 0,475 \frac{(1 - \varepsilon_n)^2}{\varepsilon_m^{3,24} \cdot \varepsilon_n^3 \cdot d_m^{1,77}}, \quad B = 817 \frac{(1 - \varepsilon_n)}{d_m^2 \cdot \varepsilon_n^3 \cdot \rho_{\text{ч}}}, \quad (2.17)$$

де  $\varepsilon_n$  – пористість шару пилу;  $\varepsilon_n = 1 - 79d_m^{0,47} = 1 - 79(4 \cdot 10^{-6})^{0,47} = 0,77$ ;

$\varepsilon_{\text{тк}}$  – пористість тканини (іглопробивний поліефірний фетр), доли од.;  
 $\varepsilon_{\text{тк}} = 0,75$ ;

$d_m$  – середній медіанний розмір частинок пилу, м;

$\rho_{\text{ч}}$  – щільність частинок пилу,  $\text{г/м}^3$ .

$$A = 0,475 \frac{(1 - 0,77)^2}{0,75^{3,24} \cdot 0,77^3 \cdot (4 \cdot 10^{-6})^{1,77}} = 501 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1};$$

$$B = 817 \frac{(1 - 0,77)}{(4 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (0,77)^3 \cdot 2000} = 12,86 \cdot 10^9 \text{ м/кг.}$$

Обчислюємо динамічний коефіцієнт в'язкості газу:

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + c'}{T + c'} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5}, \quad (2.18)$$

де  $\mu_0$  – в'язкість компоненту при  $0^\circ\text{C}$  і тиску  $101,3 \text{ кПа}$  [19],  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;

$c'$  – постійна Сезерленда [19];

$T$  – абсолютна температура,  $^\circ\text{C}$ .

$$\mu_{\text{CO}_2} = 13,7 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 254}{273 + 50 + 254} \left( \frac{273 + 50}{273} \right)^{1,5} = 16,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{CO}} = 16,6 \cdot 10^{-6} \frac{273+100}{273+50+100} \left( \frac{273+50}{273} \right)^{1,5} = 16,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{H}_2} = 20,3 \cdot 10^{-6} \frac{273+73}{273+50+73} \left( \frac{273+50}{273} \right)^{1,5} = 22,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{N}_2} = 17 \cdot 10^{-6} \frac{273+114}{273+50+114} \left( \frac{273+50}{273} \right)^{1,5} = 19,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Знаходимо динамічну в'язкість суміші:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{см}} &= (\sum a_i \cdot \mu_i) / 100 = \\ &= (18,8 \cdot 16,1 + 22,3 \cdot 16,3 + 9,0 \cdot 22,8 + 49,9 \cdot 19,4) 10^{-6} / 100 = 18,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}. \end{aligned}$$

Гідрравлічний опір тканині, Па:

$$\Delta P_T = 501 \cdot 10^6 \cdot 0,028 \cdot 18,4 \cdot 10^{-6} = 258 \text{ Па}.$$

Гідрравлічний опір шару пилу визначимо, прийнявши опір рукавного фільтру  $\Delta P = 2000 \text{ Па}$  [8], тоді:

$$\Delta P_{\text{ш.п.}} = 2000 - 67 - 258 = 1675 \text{ Па}.$$

Тривалість періоду фільтрування між двома регенераціями:

$$t_p = \frac{1675}{12,86 \cdot 10^9 \cdot 0,028^2 \cdot 18,4 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 2257 \text{ сек.} \approx 37 \text{ хв.} 37 \text{ сек.}$$

Визначимо ефективність рукавного фільтру. Якщо прийняти залишкову запилену газу  $z_2 = 20 \text{ мг/м}^3$ , виходячи з технічної характеристики роботи рукавного фільтру мазкі ФРІР-5700, тоді

$$\eta = (z_1 - z_2) / z_1 = (4 - 0,02) / 4 = 0,995 \text{ або } 99,5 \%. \quad (2.19)$$

## 2.5 Розрахунок параметрів димаря

Димар необхідний для створення ефективної тяги і здійснення розсіювання шкідливих викидів.

Висота димаря (за заводськими даними)  $H = 38$  м, діаметр основи  $D_{\text{осн}} = 4$  м, діаметр горловини димаря  $D_{\text{горл}} = 3,5$  м. Температура газів в основі труби  $t_{\text{осн}} = 35^\circ\text{C}$ , температура газів в горловині труби  $t_{\text{горл}} = 30^\circ\text{C}$ .

Щільність газів на виході з димаря:

$$\rho_{\text{горл}} = 1,28 \cdot \frac{273}{273 + 30} = 1,15 \text{ кг/м}^3. \quad (2.20)$$

Тоді витрата газів на виході з димаря складе:

$$Q_{\text{горл}} = Q_{\text{рVIII}} \cdot \frac{\rho_{\text{рVIII}}}{\rho_{\text{горл}}} = 151,3 \cdot \frac{1,1}{1,15} = 144,7 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.21)$$

Швидкість газів на виході з труби приймаємо рівною  $15$  м/с.  
Гідравлічний опір димаря, Па:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{H}{D_{\text{горл}}} \cdot \frac{W_2^2}{2} \cdot \rho_2 = 0,05 \cdot \frac{38}{3,5} \cdot \frac{15^2}{2} \cdot 1,15 = 70 \text{ Па}, \quad (2.22)$$

де  $\lambda$  – гідравлічний коефіцієнт тертя; для бетонних труб  $\lambda = 0,05$  [9];

Динамічний тиск газів, який необхідний для створення швидкості  $W_2$ ,  
Па:

$$P_{\text{дин}} = \frac{W_2^2}{2} \cdot \rho_2 = \frac{15^2}{2} \cdot 1,15 = 129,4 \text{ Па}. \quad (2.23)$$

Приймаємо  $P_{\text{дин}} = 130$  Па.

Опір виходу в атмосферу:

$$\Delta P_{\text{вих}} = \zeta_{\text{вих}} \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho_2 = 1,5 \cdot \frac{15^2}{2} \cdot 1,15 = 194 \text{ Па} \quad (2.24)$$

де  $\zeta_{\text{вих}}$  – коефіцієнт опору виходу в атмосферу [9].

Сумарний опір димаря:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{тр}} + P_{\text{дин}} + \Delta P_{\text{вих}} = 70 + 130 + 194 = 394 \text{ Па.} \quad (2.25)$$

Самотяга димаря визначається по формулі, Па:

$$P_{\text{т}} = q \cdot H(\rho_{\text{в}} - \rho_2) \cdot V/101,3, \quad (2.26)$$

де  $H$  – висота труби, м;

$\rho_{\text{в}}$  – щільність навколишнього повітря в даних умовах,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho_{\text{в}} = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 27} = 1,18 \text{ кг/м}^3, \quad (2.27)$$

$V$  – атмосферний тиск, кПа.

$$P_{\text{т}} = 9,81 \cdot 38 (1,18 - 1,15) \cdot 98/101,3 = 11 \text{ Па.}$$

Додатковий тиск:

$$P_{\text{дод}} = P_{\text{т}} - \Delta P_{\Sigma} = 11 - 394 = - 383 \text{ Па.} \quad (2.28)$$

Оскільки  $P_{\text{дод}} < 0$ , то означає що самотяга труби не забезпечує подолання його сумарного опору, тому  $P_{\text{дод}}$  слід врахувати загалом аеродинамічному опорі газового тракту.

## 2.6 Вибір тягодуттєвого пристрою

Димосос вибираємо на основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту. Продуктивність димососа  $Q_{\text{д}}$  приймають із запасом 10% по відношенню до розрахункової кількості газів у димососа  $Q_{\text{р}}$  і з поправкою на барометричний тиск:

$$Q_{\text{д}} = 1,1Q_{\text{р}} \cdot 101,3/P_{\text{бар}} ; \quad (2.29)$$

$$Q_{\text{д}} = 1,1 \cdot 158,5 \cdot 3600 \cdot 101,3/98 = 648795,5 \text{ м}^3/\text{ч} = 180,2 \text{ м}^3/\text{с},$$

де  $Q_{\text{р}}$  – витрата газів перед димососом при р.у.,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Створювана димососом розрядка, приведена до умов каталогу, по якому вибираємо димосос, Па:

$$\Delta P_{\text{КАТ}} = 1,2 \cdot \Delta P_{\Sigma} \cdot K, \quad (2.30)$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу;

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

$K$  – коефіцієнта перерахунку:

$$K = (273 + t_{\text{г}}) 101,3 \cdot \rho_{\text{ог}} / (273 + t_{\text{кат}}) B \cdot \rho_{\text{ов}} ; \quad (2.31)$$

$$K = (273 + 40) \cdot 101,3 \cdot 1,28 / (273 + 100) 98 \cdot 1,293 = 0,86.$$

Тоді,  $\Delta P_{\text{КАТ}} = 1,2 \cdot (3660 + 383) \cdot 0,86 = 4172 \text{ Па} = 4,17 \text{ кПа}$ .

За значенням  $\Delta P_{\text{КАТ}}$  і продуктивності димососа підбираємо два димососа марки ДН-26Х2. Цей димосос при температурі 100°C розвиває продуктивність  $Q = 475$  тис.м<sup>3</sup>/год і повний тиск 4700 Па; потужність на валу  $N = 790$  кВт; частота обертання  $n = 750$  об/хв., максимальний ККД = 0,85 [10].

Споживана димососом потужність:

$$N = \frac{Q \cdot \Delta P_{\text{дим}}}{\eta} \cdot 10^{-3} = \frac{180,2 \cdot 4172}{0,85} \cdot 10^{-3} = 885 \text{ кВт}. \quad (2.32)$$

## 2.7 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 залізовмісної сировини, палива і флюсів забезпечує рівний хід доменного процесу, однорідність складу і властивостей доменного чавуну і шлаку. 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. Рационально 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 коштовною 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, отримуване 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°C. Мінеральна вата – негорючий матеріал; він значно довговічніший в порівнянні з хімічними теплозвукоізоляційними виробами.

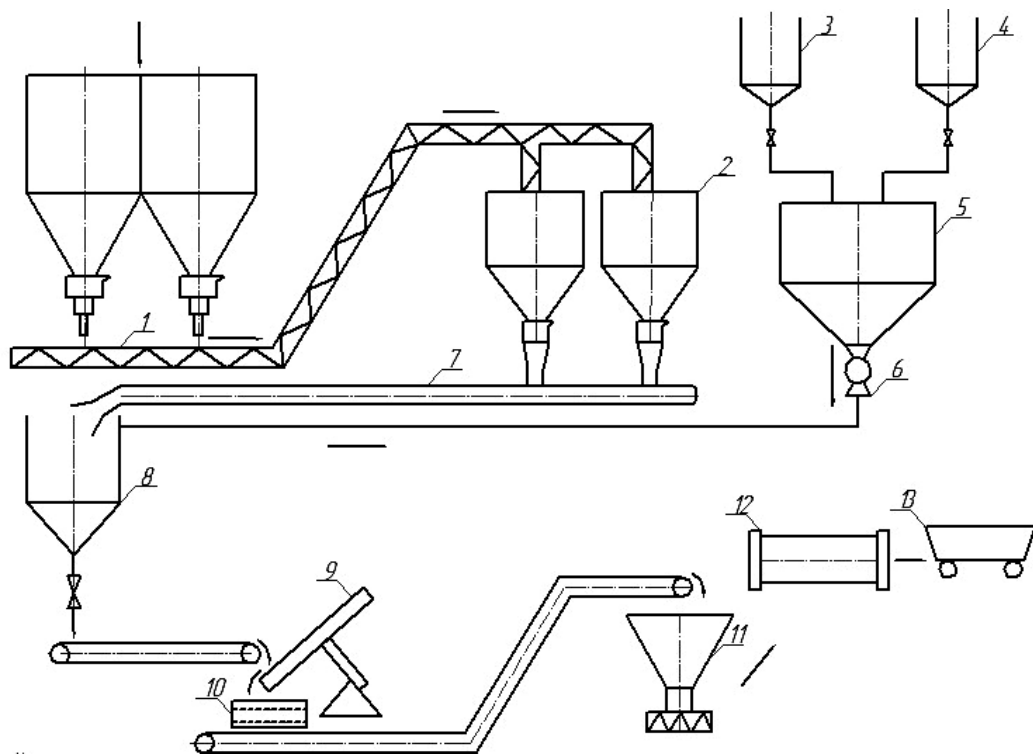
Шлакове лиття є ефективним штучним кристалічним матеріалом, що формується з розплаву з подальшою кристалізацією і термообробкою. Вироби з шлакового лиття володіють рядом кошовних властивостей: високою абразивною і хімічною стійкістю, механічною міцністю.

Уловлений пил з радіального пиловловлювача і рукавного 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 [8].

У дипломному проєкті пропонується схема утилізації пилу, що відходить від газоочистки доменної печі, з використанням чашового огрудковувача. Система утилізації включає: бункер накопичувач пилу, бак зі сполучником, бак з водою, змішувач, чашовий огрудковувач, бункер для накопичування окатишів та сушильна піч [8].

Проєктна схема утилізації передбачає безперервне вивантаження пилу з бункерів накопичувачів кожній секції. Схема утилізації вловленого пилу представлена на (рис. 2.3). Уловлений пил використовується в якості добавки в шихту на агломераційній фабриці.



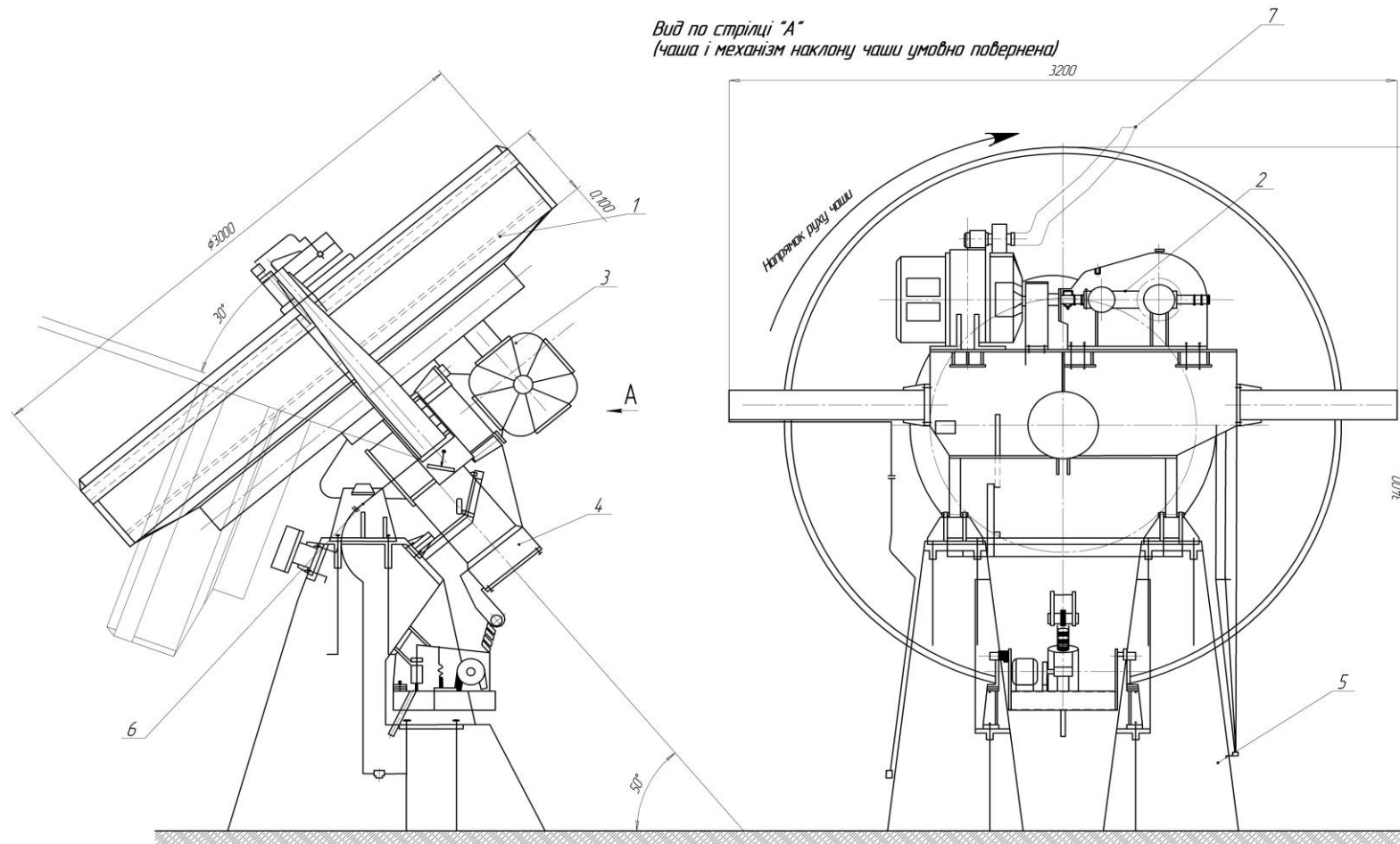
1 – скребковий транспортер; 2 – бункери – накопичувачі пилу; 3 – бак з водою; 4 – бак зі сполучником; 5 – бункер для змішування реагенту; 6 – шлюзовий живильник; 7 – шнековий живильник; 8 – змішувач; 9 – огрудковувач чашовий; 10 – грохот; 11 – бункер - накопичувач окатишів з телескопічною течкою; 12 – барабанна піч; 13 – залізничний вагон.

Рисунок 2.3 – Схема утилізації вловленого пилу.

Огрудковувач являє собою похилу чашу діаметром 3 м (рис. 2.4), всередині якої встановлені 2 ножа. Один у днища, другий – вертикально біля самої стінки. Чаша обертається зі швидкістю 20 об/хв. Технічні характеристики: продуктивність - 4,0-8,0 т/год, потужність - 19,8 кВт, вага - 6860 кг.

Під обертову чашу безперервно подається шихта, яка огрудковується перетворюючись на круглі тіла – окатиші. Вихідні сирі окатиші з діаметром від 7-20 мм. пересипаються через нижній край і по жолобу надходять на елеватор. При приготування окатишів встановлений кут нахилу чаші 50°.

Внутрішню поверхню борта і днище чашового гранулятора очищають від налиплого матеріалу механізмом очищення, що складається з бічного і шести регульованих радіальних ножів.



1 – чаша, 2 – редуктор, 3 – двигун, 4 – вал з підшипниками, 5 – стійка, 6 – вісь повороту, 7 – рукав для проводу повітря до вентилятору

Рисунок 2.4 – Чашовий огрудковувач типу ОЧ-300

## 3 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ

### 3.1 Розрахунок капітальних витрат на очищення газу

Аспіраційна система призначена для видалення та очищення забрудненого повітря, що відсмоктується від ливарного двору доменної печі. Об'єм аспіраційного повітря, що надходить на очищення, складає 467,2 тис. м<sup>3</sup>/год із запиленістю газів – 4 г/м<sup>3</sup>.

За базовий варіант прийнята система газоочищення, що складається з 2 скрубєрів Вентурі, димососа та димової труби. Кінцева запиленість газу після такої схеми очищення становить 0,08 г/м<sup>3</sup>.

У проєктному варіанті пропонується заміна мокрого газоочищення на сухе. Дана схема містить: рукавний фільтр типу ФРІР – 5700, 2 димососи та 1 димову трубу. Кінцева запиленість газу після такої схеми очищення становить 0,02 г/м<sup>3</sup>.

Величина необхідних вкладень в основні фонди визначається методом прямого розрахунку окремих елементів вкладень.

У загальному вигляді капітальні вкладення включають в себе такі статті витрат: будівництво будівель і споруд; технологічне та енергетичне обладнання; підйомно-транспортне обладнання; системи контролю та автоматики; інші капітальні вкладення.

Капітальні вкладення по базовому і проєктному варіантам приймаємо з урахуванням технічних рішень газоочистки. Всі дані по капітальних вкладеннях наведені в таблиці 3.1.

Вартість установки і монтажу нового обладнання приймаємо в розмірі 30% від вартості основного обладнання. Вартість монтажу комунікацій приймаємо в розмірі 15% від вартості основного обладнання.

Питомі капітальні вкладення, віднесені до 1000 м<sup>3</sup> газів, що очищаються, грн./1000 м<sup>3</sup>:

$$C_k^b = 138308809,5 \cdot \frac{1000}{3879,63 \cdot 10^6} = 35,65 \frac{\text{грн}}{1000\text{м}^3}$$

$$C_k^n = 178591342,4 \cdot \frac{1000}{3991,76 \cdot 10^6} = 44,74 \frac{\text{грн}}{1000\text{м}^3}$$

Таблиця 3.1 – Капітальні вкладення у газоочисні установки

Показники	Базовий варіант, тис. грн	Проектний варіант, тис. грн
Капітальні вкладення	138308,809	178591,342
Всього капітальних вкладень на 1000 м <sup>3</sup> газу	35,65	44,74

### 3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на очищення газу і уловлювання пилу

Річні експлуатаційні витрати на очищення газу визначаються за формулою:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (3.1)$$

де  $\sum_{i=1}^n C_i$  – сума витрат за статтями калькуляції, грн.

$$\sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7, \quad (3.2)$$

де  $C_1$  – витрати на основні і допоміжні матеріали;

$C_2$  – витрати на електроенергію, що витрачається на виробничі потреби;

$C_3$  – амортизаційні відрахування від вартості основних фондів;

$C_4$  – основна і додаткова зарплата виробничих робітників;

$C_5$  – відрахування на соціальні заходи;

$C_6$  – витрати на поточний ремонт та утримання основних фондів;

$C_7$  – загальновиробничі витрати.

Розрахунок економії від утилізації пилу в процесі очистки газів виконується тільки по проектному варіанту, так як в базовому не

передбачена утилізація вловленого пилю. Розрахунок здійснюється на підставі обсягу утилізованих продуктів на рік і відпускних цін, грн:

$$\mathcal{E}_{ym} = Q_{ym} \cdot C, \quad (3.3)$$

де  $Q_{ym}$  – кількість утилізованого пилю,  $m$ ;

$C$  – відпускна ціна за 1  $m$ ,  $C = 441,1$  грн;

$$\mathcal{E}_{ym}^{\Pi} = 14298,5 \cdot 441,1 = 6306,980 \text{ тис. грн.}$$

Економія від утилізованого пилю, віднесена до  $1000 \text{ м}^3$  очищених газів:

$$C_{ym}^{\Pi} = 6306980,8 \cdot \frac{1000}{3991,76 \cdot 10^6} = 1,58 \frac{\text{грн}}{1000 \text{ м}^3}.$$

Результати заносимо у таблицю 3.2.

### **3.3 Техніко-економічне обґрунтування проєкту очищення аспіраційних газів ливарного двору доменного цеху**

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

Економічне обґрунтування доцільності прийнятих рішень зводиться до розрахунку і зіставлення техніко-економічних показників по варіантах.

Річний економічний ефект [11]:

$$\mathcal{E}_z = [(C_{yd}^{\sigma} + E_n \cdot K_{yd}^{\sigma}) - (C_{yd}^n + E_n \cdot K_{yd}^n)] \cdot \Pi^{\Pi}, \text{ грн}, \quad (3.4)$$

де  $C_{yd}^{\sigma}$  і  $C_{yd}^n$  – витрати на  $1000 \text{ м}^3$  газу, що очищається, відповідно по базовому і проєктному варіантам, грн.;

$K_{уд}^6$  і  $K_{уд}^п$  – відповідно питомі капітальні вкладення по базовому і проектному варіантам, грн.;

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

$П^п$  – річна виробнича потужність газоочисної установки по проектному варіанту, м<sup>3</sup>.

$$\mathcal{E}_2 = [(35,72 + 0,18 \cdot 35,65) - (33,16 + 0,18 \cdot 44,74)] \cdot 13991,76 \cdot 10^6 / 1000 = 3687,588 \text{ тис.грн}$$

Таблиця 3.2 – Витрати на очистку 1000 м<sup>3</sup> газу

№ п/п	Найменування статей витрат	Варіант			
		Базовий		Проектний	
		Величи-на на 1000м <sup>3</sup> газу, грн.	Величи-на на весь об'єм, тис.грн	Величи-на на 1000м <sup>3</sup> газу, грн	Величи-на на весь об'єм, тис.грн
1	Матеріальні витрати	4,2	16294,45	3,62	14450,17
2	Електроенергія	23,82	92412,79	22,45	89615,01
3	Заробітна плата робітників – основна	1,190	4616,76	1,18	4710,28
	– додаткова	0,13	504,35	0,14	558,85
4	Відрахування на соцстраховку	0,11	426,76	0,16	638,68
5	Амортизаційні відрахування від вартості основних фондів	4,14	16061,69	4,69	18721,35
6	Витрати на ремонт та утримання основних фондів	0,64	2482,96	0,85	3392,99
7	Інші виробничі витрати	1,49	5780,65	1,65	6586,40
8	Разом витрат	<b>35,72</b>	138580,41	<b>34,74</b>	138673,74
9	Економія від утилізації пилю	-	-	1,58	6306,98
10	Разом витрат з урахуванням економії	<b>35,72</b>	138580,41	<b>33,16</b>	132366,76



Розрахунковий термін окупності визначається по формулі:

$$T_{ок.р.} = \frac{K^П}{(C_{уд}^Б - C_{уд}^П)П^П}, \text{ роки.} \quad (3.5)$$

$$T_{ок.р.} = \frac{(178591,342 - 138308,809) \cdot 1000 \cdot 1000}{(35,22 - 33,16) \cdot 3991,76 \cdot 10^6} = 3,9 \text{ років.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень рівний:

$$E_p = \frac{1}{T_{ок}} = \frac{1}{3,9} = 0,26 \frac{грн.}{грн.} \quad (3.6)$$

Пропонований проєкт є економічно вигідним, оскільки розрахункові показники знаходяться у межах нормативних.

В результаті розрахунків отримані наступні техніко-економічні показники, які приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні техніко-економічні показники газоочисної установки аспіраційних викидів ливарного двору доменного цеху

№ п/п	Найменування Показника	Одиниці виміру	Варіант	
			Базовий	Проектний
1	Річна виробнича потужність установки	млн. м <sup>3</sup>	3879,63	3991,76
2	Вміст пилу в газі: - до очищення - після очищення	г/м <sup>3</sup>	4 0,08	4 0,02
3	Капітальні вкладення	тис. грн.	138308,809	178591,342
4	Витрати на очищення 1000 м <sup>3</sup> газу	грн	35,72	34,74
5	Економія від утилізації пилу на 1000 м <sup>3</sup> газу	грн.	—	1,58

Продовження табл. 3.3

№ п/п	Найменування Показника	Одиниці виміру	Варіант	
			Базовий	Проектний
6	Витрати на очищення 1000 м <sup>3</sup> газу з урахуванням економії	грн.	35,72	33,16
7	Річний економічний ефект	тис. грн	—	3687,588
8	Термін окупності додаткових капітальних вкладень	років	—	3,9
9	Економічна ефективність капітальних вкладень	$\frac{\text{грн}}{\text{грн}}$	—	0,26

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників доменного виробництва

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

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

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

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

Для робочого місця горнового ливарного двору відповідно до гігієнічної класифікації дана гігієнічна характеристика трудового процесу і оцінка чинників виробничого середовища, представлена в таблиці 4.1. Гігієнічна оцінка умов праці: умови і характер праці відносяться до III класу 3 ступеню. Оцінка технічного і організаційного рівня: відповідає технологічному регламенту і проекту організації праці на робочому місці.

Атестація робочого місця: робоче місце має в наявності 5 чинників I ступеню, 2 чинника II ступеню і 2 чинника III ступеню.

Таблиця 4.1 – Оцінка чинників виробничого середовища трудового процесу на робочому місці горнового ливарного двору

№ п/п	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас – шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Час дії чинника %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> I клас безпеки Марганцю оксиди	0,3	1,28			4,26	80
	II клас безпеки Азоту діоксид	2,0	2,6	1,3			
	Ангідрид сірчистий	10,0	16,8	1,68			
	Монооксид вуглецю	20,0	23,5	1,18			
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4,0	19,5		4,88		80
3	Вібрація, дБ	-	-	-			-
4	Шум, дБА	80	89	9			80
5	Мікроклімат на робочому місці (теплий період) :						80
	- температура, °C	20-22	38			16	
	- швидкість руху повітря, м/с	0,4	0,45	0,05			
	- відносна вологість %	40-60	41				
	- інфрачервоне випромінювання Вт/м <sup>2</sup>	140	1475		1475		
6	Тяжкість і напруженість праці	Середній тяжкості 2б, помірна напруженість					

Відповідно до карти умов праці на ливарному дворі (для професії горновий) мають місце наступні небезпечні і шкідливі чинники:

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

2) Пил. З моменту початку випуску, джерелом пилоутворення є льотки доменної печі, біля льотки споруджено відсмоктування за допомогою якого видаляються запилені гази. У напрямі руху чавуну від льотки походить взаємодія повітря з рідким металом, внаслідок чого утворюються запилені гази. Для запобігання виділенню заплених газів в простір ливарного двору головний жолоб від льотки до скіммеру на період випуску чавуну накривається знімними укриттями. В кінці головного жолоба на скіммері відбувається розділення чавуну і шлаку. Гази, що утворилися при цьому, відбираються відсмоктуванням в районі скіммеру. Чавун і шлак по транспортних жолобах прямує на гойдаючі жолоби для чавуну і шлаку. Отвори цих жолобів укриті рухомими кришками. Відсмоктування від жолобів, що коливаються, проводиться двома огорожними отворами, виконаними в стінках отвору. З гойдаючих жолобів продукти плавки потрапляють в чавуновозні і шлаковозні ковші [12].

3) Підвищена температура повітря, інфрачервоне випромінювання. Джерелом випромінювання є розплавлені маси чавуну і шлаку, гарячий агломерат, нагріті елементи конструкцій і тому подібне. Підвищена теплова дія на організм людини приводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може викликати порушення теплового балансу організму. Крім того, різке коливання температури приводить до різних простудних захворювання [13].

Несприятливий вплив високих температур повітря посилюється дією випромінюваного тепла. Інфрачервоні випромінювання впливають на функціональний стан людини, його центральну нервову систему, серцево-судинну систему. При тривалому перебуванні людини в зоні інфрачервоного випромінювання, як і при систематичній дії високої температури, відбувається порушення водно-сольового балансу, який викликає так звану судорожну хворобу. Порушення теплового балансу викликає захворювання, зване тепловою гіпотермією або перегрівом [14].

4) Шум на ливарному дворі є наслідком проходження великих повітряних і газових потоків по шахті доменної печі, фурмам, газо- і повітропроводам. Надмірний шум заважає правильній організації і проведенню виробничих процесів і негативно позначається на продуктивності праці. Шум негативно діє на серцево-судинну і центральну нервову систему. Окрім шумових навантажень на організм людини шкідливо впливає вібрація, яка в доменному цеху створюється при русі поїздів по бункерній естакаді [15].

## **4.2 Технічні рішення по виробничій санітарії**

### **4.2.1 Вентиляція**

На ливарному дворі не мають місце надмірні тепловиділення. Виходячи з категорій виконуваних робіт, по тяжкості, характеристики виробничих приміщень по надлишках явного тепла, з урахуванням періодів року (теплий, холодний), встановлюються, відповідно до вимог СНіП 2.04.05-91, параметри повітряного середовища для робочої зони ливарного двору (табл. 4.2.).

Ефективним засобом забезпечення потрібних гігієнічних якостей повітря є вентиляція. На ливарному дворі доменного цеху застосовується змішана вентиляція (природна і механічна).

Природна вентиляція здійснюється за допомогою аерації – організованого регульованого природного повітрообміну. Для механічної вентиляції подається незабруднене повітря. Механічну вентиляцію (місцеву припливну вентиляцію) на ливарному дворі пропонується здійснювати за допомогою повітряного душування.

Таблиця 4.2 – Значення допустимих параметрів повітряного середовища в робочій зоні ливарного двору

Період року	Категорія робіт	Період року (теплий, холодний)			Температура повітря поза постійних робочих місцях, °С
		На постійних робочих місцях			
		Температура повітря	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	
Холодний	Середньої тяжкості 2Б	15 - 21	Не більше 75	Не більше 0,4	13 - 23
Теплий		16 – 27	Не більше 70 при 25 <sup>0</sup> С	0,2-0,5	15 - 29

#### 4.2.2 Освітлення ливарного двору

Враховуючи високу біологічну і гігієнічну цінність природного світла, в проекті передбачається природне освітлення виробничих приміщень. Основний показник – коефіцієнт природної освітленості (КПО) має значення  $e=2,7\%$  для розряду зорової роботи VII [15]. Нормоване значення КПО  $e_n=0,019$ , з урахуванням характеру зорової роботи і світлового клімату в районі розташування будівлі.

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 з'явитися причиною нещасного випадків. Електричне або штучне освітлення необхідне для проведення робіт в темний час доби або в місцях без достатнього природного освітлення. У цеху застосовуємо лампи розжарювання Б - 127 –100 (напруга 127 В, потужність 100 Вт, світловий

потік 1560 лм [23]), світильник «Універсаль». УПМ: питома потужність «Універсаль» 16 Вт/м<sup>2</sup> [16].

### **4.2.3 Санітарно-побутові приміщення**

До побутових відносяться приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб трудящих під час перебування їх на роботі: приміщення для прийому їжі, вбиральні, душові, убиральні, вмивальні, курильні, пральні, кімнати особистої гігієни жінок, обігріву працюючих і питного водопостачання. Робочих забезпечують газованою підсоленою водою (0,5% солі) з розрахунку 4 – 5дм<sup>3</sup> на одну людину в зміну. Відстань від робочих місць до питних установок не більше 75 м [13].

Доменний процес відноситься до II групи виробничих процесів. Побутові приміщення, якими робітники користуються в неробочий час (вбиральні, вмивальні, душові, пункти прийому їжі і ін.) розміщуються поза цехом. Побутові приміщення розміщують якомога ближче до робочих місць. Оскільки в цеху повітря забруднене, то побутові приміщення розташовуються з навітряного боку цехи, вони повинні мати ізольований вхід і розташовуються так, щоб не потрібно було проходити через виробничі приміщення з шкідливими виділеннями.

### **4.2.4 Виробничий шум, виробнича вібрація**

Джерелами постійних шумових навантажень є віброживильники, пластинчасті конвеєри, коксові грохоти, вентиляційні установки, мотор-генератори машинних залів, витоки повітря.

Розробка заходів щодо боротьби з виробничим шумом повинна починатися на стадії проектування технологічних процесів і машин, розробки плану виробничого приміщення і генерального плану підприємства, а також технологічної послідовності операцій. З метою зниження дії шуму на горнового пропонується звукоізоляція пульта управління електрогарматою.



#### **4.2.5 Виробничі (теплові) випромінювання**

Захист від інфрачервоного випромінювання досягається захистом часом, відстанню, теплоізоляцією гарячих поверхонь, екрануванням джерел випромінювання і робочих місць, застосуванням повітряного душирования. Для захисту горнового від теплового випромінювання пропонується екранування рухомим тепловідбивним екраном. Екран не тільки захищає від теплових випромінювань, але і оберігає від іскр і виплесків розплавленого металу і шлаку.

#### **4.3 Заходи щодо техніки електробезпеки**

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

На деяких ділянках доменного цеху при виконанні робіт виникає необхідність вживання переносних освітлювальних приладів, ручного електрифікованого інструменту. При користуванні такими приладами людина може виявитися під напругою, якщо вона доторкнеться безпосередньо до струмопровідних частин або частин, що виявилися під напругою в слідстві пробією ізоляції. Тому для забезпечення безпеки при користуванні переносними світильниками місцевого і ремонтного освітлення, приладами, переносним електроінструментом у приміщеннях ливарного двору рекомендується номінальна напруга 12 В.

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

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

При напрузі вище 1000В застосовують: трьохдротяну з ізолюваною нейтраллю схему трифазних мереж при напрузі до 35 кВ включно. При напрузі до 1000 В в доменному цеху застосовують чотиридротяну із заземленою нейтраллю схему мереж трифазного струму (напругою 380/220 В). При цьому в чотиридротяній мережі заземлення нейтралі джерела струму (генератора, трансформатора) здійснюють з'єднанням її із заземлювачем безпосередньо або через малий опір (наприклад, через трансформатор струму), і тому таку мережу прийнято називати мережею з глухозаземленою нейтраллю. Оскільки електричні мережі, вживані в доменному цеху, мають достатньо велику довжину, і як наслідок цього, важко забезпечити їх надійну експлуатацію (зокрема ізоляцію), то використання інших схем мереж (окрім розглянутої вище) виключається [15].

Безпека експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок забезпечується наступними захисними заходами: застосуванням ізоляції, недоступністю струмопровідних частин, блокуваннями безпеки, методами орієнтації, застосуванням малої напруги, ізоляцією електричних мереж від землі, компенсацією ємкісною складовою

струму замикання на землю, вирівнюванням потенціалів і застосуванням ізолюючих майданчиків. Небезпека поразки струмом при випадковій появі робочої напруги на корпусі електроустаткування може бути ліквідований шляхом швидкого відключення пошкодженої установки від мережі. Для цієї мети використовують занулення. Разом із зануленням в трифазних чотиридротяних мережах з глухозаземленою нейтраллю, як міра захисту людини від поразки електричним струмом, використовують пристрої захисного відключення (УЗО).

#### **4.4 Заходи пожежної безпеки**

У доменному виробництві питання забезпечення пожежної безпеки мають особливе значення, оскільки доменна пекти є одним з основних агрегатів і розлад ходу доменних печей відіб'ється на всіх подальших переділах.

Причина виникнення пожежі різноманітні: недоліки в будівельних конструкціях, спорудах, плануванні приміщень, пристрої комунікацій, дефекти устаткування, порушення режимів технологічних процесів, неправильне проведення робіт, необережність і недбалість персоналу.

Одним з джерел утворення вибухонебезпечних сумішей є міжконусний простір доменної печі. Для попередження утворення вибухонебезпечних сумішей в міжконусному просторі доменної печі в нього направляють пар або інертний газ. подача пари або інертного газу блокується із завантажувальним пристроєм, щоб без подачі пари або газу в міжконусний простір механізм завантаження не працював.

Щоб уникнути займання в цеху необхідно, перш ніж вдувати в доменну піч пилоподібне паливо або мазут, переконатися в справності відсікаючої і замочної апаратури і контрольно-вимірювальних приладів.

Горючі гази, що знаходяться в трубопроводах і устаткуванні, створюють вибухопожежонебезпечні ділянки в доменному цеху. Найбільш

вірогідні місця загоряння газу – нещільність в з'єднаннях, погано провітрювані приміщення, де знаходиться апаратура під тиском; газові тракти з горючим газом, при попаданні в яких повітря (зважаючи на зниження тиску або припинення подачі газу) утворюється вибухонебезпечна суміш.

Небезпеку, в плані займання, представляють ділянки шихтоподачі. Кокс є пожежонебезпечною речовиною, тому підбункерне приміщення є пожежонебезпечним. Кокс, агломерат, шихта і інші матеріали, вживані для виплавки чавуну, транспортуються за допомогою транспортних стрічок. Щоб уникнути загоряння транспортних стрічок не допускається приймати неохоложені шихтові матеріали з температурою вище 100°C (навіть найменше вогнище горіння в замкнутому об'ємі галереї дуже швидко розвивається до розмірів великої пожежі).

Ливарний двір, на якому тверді, рідкі, газоподібні речовини спалюються як паливо і утилізуються шляхом спалювання, не відносяться по їх електроустаткуванню до вибухо- і пожежонебезпечних зон. Ділянка шихтоподачі, де відбувається розвантаження, зберігання і дозування шихти, що подається в доменну піч: залізовмісних матеріалів, коксу, вапняку і добавок відносяться до пожароопасной зони класу П Па. Підбункерне приміщення відноситься до В Па вибухонебезпечній зоні.

Доменний цех (ливарний двір) відноситься до категорії Г вибухопожежної безпеки. Ливарний двір доменного цеху відноситься до I ступеню вогнестійкості будівель категорій Г і виконується з негорючих матеріалів, то в застосуванні протипожежних стін, перегородок немає необхідності [17].

Велике значення на ливарному дворі доменного цеху мають ступінь автоматизації систем сигналізації про пожежу і особливе впровадження швидкодіючих автоматичних систем пожежогасіння.

Доменний цех характеризується наявністю великої кількості приміщень з різними видами електроустаткування (щитове приміщення,

будівля управління піччю, приміщення приладів КВП і А, кабельні приміщення і ін.), тому для гасіння пожеж в цих приміщеннях широке вживання отримали установки пінно-повітряного пожежогасіння. Норми первинних засобів пожежогасіння в доменному виробництві на одну домну передбачають: один пінний вогнегасник ВХП-10, шість вогнегасників ВВ-5 або ВВ-8, чотири ящики з піском [18].

#### 4.5 Розрахунок установки вуглекислотного пожежогасіння

Потрібно визначити масу основного запасу діоксиду вуглецю для гасіння складу паливно-мастильних матеріалів об'ємом  $V = 350 \text{ м}^3$ . Категорія приміщення – А. Визначити також секундну витрату вуглекислоти і діаметр отвору насадки.

Маса основного запасу вуглекислоти розраховується за формулою, кг:

$$m = k_1 k_2 [k_3 (A_1 + 30A_2) + 0,7V], \quad (4.1)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує витoki через нещільність в запірній арматурі,  $k_1 = 1,1$ ;

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

$k_3$  – коефіцієнт, що враховує витік через нещільність в огорожувальних конструкціях, приймається рівним  $0,2 \text{ кг/м}^2$ ;

$A_1$  – сумарна площа огорожувальних конструкцій, через які можливі витoki, площа віконних і дверних отворів приміщення, що захищається,  $A_1 = 18 \text{ м}^2$ ;

$A_2$  – площа постійно відкритих отворів, для даного об'єму приміщення  $A_2 = 6 \text{ м}^2$  [17].

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

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

$$n = m / 25 = 313 / 25 = 12,5 \text{ шт.} \quad (4.2)$$

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

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

Середній за час подачі тиск вуглекислоти, МПа:

$$P_M = 0,5(P_1 + P_2), \quad (4.3)$$

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

$P_2$  – тиск в кінці випуску розрахункової кількості діоксиду вуглецю, МПа, який визначається за графіком [17] залежно від відносної маси вуглекислоти  $m_4$ :

$$m_4 = (m_5 - m) / m_5 = (350 - 313) / 350 = 0,106 \text{ кг.} \quad (4.4)$$

За графіком знаходимо  $P_2 = 1,5$  МПа.

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

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

$$A_2 / A_1 = 6 / 18 = 0,333. \quad (4.5)$$

При співвідношенні  $A_2 / A_1 \geq 0,03$  приймаємо час подачі діоксиду вуглецю в приміщення, що захищається,  $\tau = 40$  с [17].

Середня витрата вуглекислоти через насадку, кг/с:

$$Q = m/\tau = 313/40 = 7,825 \text{ кг/с.} \quad (4.6)$$

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

$$Q = 4100 \cdot \mu \cdot k_5 \cdot A_3 \cdot \exp(0,88P'), \quad (4.7)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати через насадку, приймаємо рівним 0,95;

$k_5$  – коефіцієнт, що залежить від тиску;

$A_3$  – площа горловини насадки, м<sup>2</sup>;

$P'$  – середній тиск в магістральному трубопроводі, розташованому в приміщенні, що захищається, МПа.

$$P' = P_m - \Delta P, \quad (4.8)$$

де  $\Delta P$  – втрати тиску в магістралі підведення вуглекислоти. Приймаємо  $\Delta P=0,35$  МПа.

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

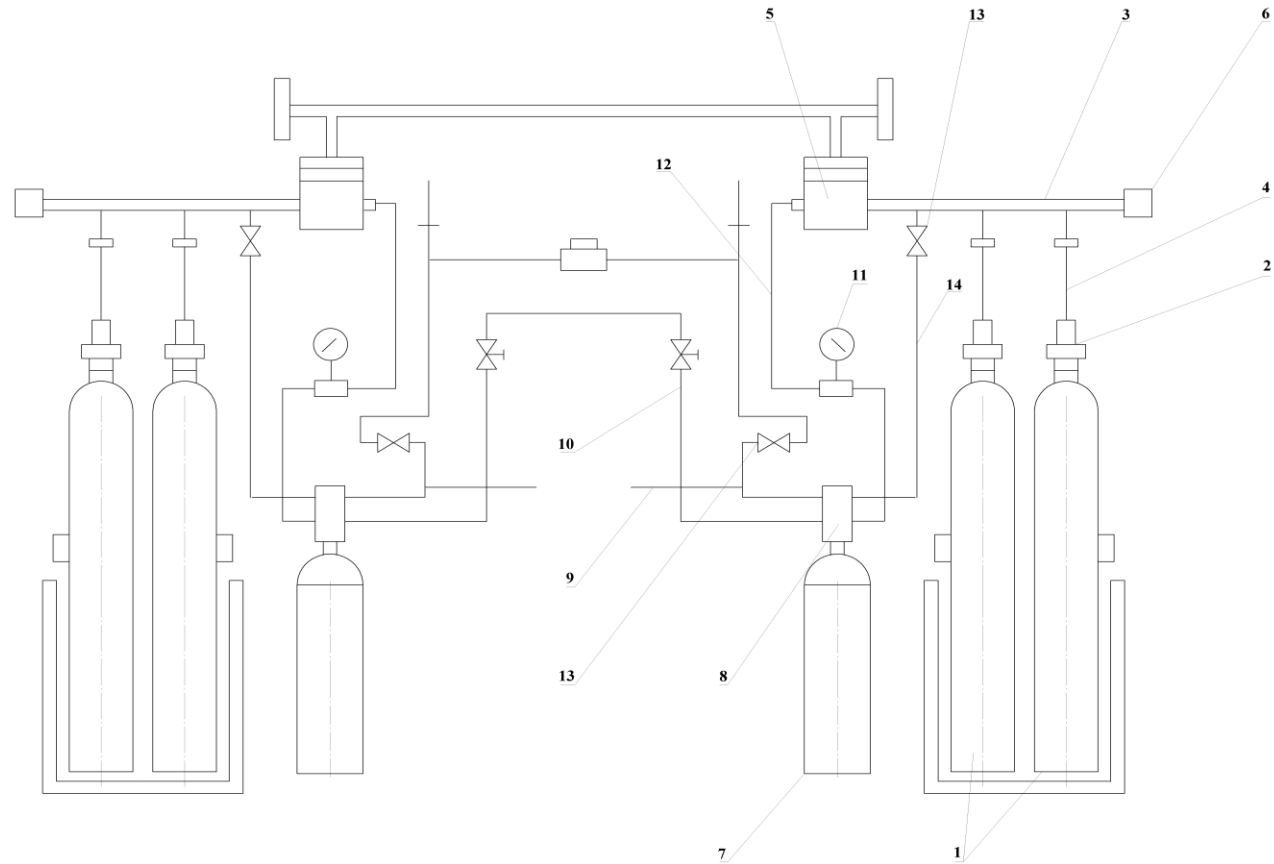
$$k_5 = 0,93 + 0,03/(1,025 - 0,5P') = 0,93 + 0,03/(1,025 - 0,5 \cdot 1,45) = 1,03; \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} A_3 &= Q/4100\mu k_5 \exp(0,88P') = 7,825/4100 \cdot 0,95 \cdot 1,03 \exp(0,88 \cdot 1,45) = \\ &= 0,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 5,5 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

Діаметр горловини насадки, см:

$$d_o = \sqrt{\frac{4A_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,5}{3,14}} = 2,65 \text{ см.} \quad (4.10)$$

На рисунку 4.1 представлена схема вуглекислотного пожежогасіння.



1 – балони з вуглекислотою; 2 – випускна голівка; 3 – секційний колектор; 4 – мідні трубки; 5 – запорний клапан; 6 – секційний запобіжник; 7 – пусковий повітряний балон; 8 – запірно-пускова голівка; 9 – трубка для подачі повітря; 10 – трубка для підкачки стислого повітря; 11 – електроконтактний манометр; 12 – трубопровід до запірного клапану; 13 – зворотний клапан; 14 – пусковий трубопровід.

Рисунок 4.1 – Схема вуглекислотного пожежогасіння.



## ВИСНОВКИ

1. У дипломному проєкті розглянуто обладнання доменного цеху, причини, джерела утворення та виділення шкідливих речовин, характеристику пилогазових викидів ливарного двору доменного виробництва, кількість та склад викидів.

2. Ливарний двір доменної печі є джерелом неорганізованого пилоутворення доменного виробництва. Запилені гази на ливарному дворі виділяються, в основному, у чавунних і шлакових льоток, жолобів зливу чавуну і шлаку, чавуновозних і шлаковозних ковшів. Максимальна кількість пилу і газів виділяється під час випусків чавуну і шлаку. Загальне виділення пилу з поверхні жолобів і ковшів складає 400-700 г/т чавуну. Середня концентрація пилу в період випуску складає 150-1500 мг/м<sup>3</sup>. Максимальні концентрації спостерігаються над головним жолобом і ковшом для чавуну. Усереднена концентрація пилу, що виділяється на ливарному дворі, - 4 г/м<sup>3</sup>.

3. З метою зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу від ливарного двору розроблена система уловлювання і очищення газів, що передбачає укриття жолобів, по яких рухається чавун і шлак при їх випуску, відсмоктування газів від них, а також від льоток та скіммерів. Очищення пилогазових викидів пропонується виконувати рукавному фільтрі ФРІР-5700. Рукавний фільтр працює з фільтрувальними рукавами виготовленими з поліефірного іглопробивного полотна з каркасом з філаментних ниток. Тривалість періоду фільтрування між двома регенераціями  $t_p \approx 37 \text{хв.} 37 \text{сек.}$  Ефективність рукавного фільтру, при прийнятій залишковій запиленості газу  $z_2 = 20 \text{ мг/м}^3$ , складає  $\eta = 99,5 \%$ . Очищений газ з фільтру по загальному газоходу прямує в розподільчий колектор і потім до димососів. За результатами аеродинамічного розрахунку газового тракту системи газоочищення, опір якого склав 3,66 кПа, вибрано два димососа типа ДН-26×2.

4. В результаті запропонованих заходів можливо отримати річний економічний ефект у розмірі 3687,588 тис. грн. Додаткові капітальні вкладення підприємство окупить за 3,9 років. Коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень за результатами розрахунку склав 0,26, що вище нормативного. Таким чином, запропоновані заходи є економічно ефективними і доцільними.

5. У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» виконано розрахунок установки вуглекислотного пожежогасіння для гасіння складу паливно-мастильних матеріалів. Визначено масу основного запасу діоксиду вуглецю, яка складає 313 кг. Розрахункове число балонів складає 14 шт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гаврилко С.О. Теорія і технологія сталеплавильного виробництва. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 120 с.
2. Гребенник В.М., Иванченко Ф.К., Павленко Б.А. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование конверторных и мартеновских цехов. Київ : Высшая школа, 1990. 288 с.
3. Гаврилко С.О. Основи проектування металургійних цехів. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401 «Металургія чорних металів». Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 92 с.
4. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна. К. : Вища школа, 1988. 351с.
5. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1. Калуга : Издательство Н. Бочкаревой, 2003. 917 с.
6. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справ. изд. К. : Металлургия, 1986. 544 с.
7. Денисов С.И. Улавливание и утилизация пылей и газов: Учебное пособие К. : Высшая школа, 1992. 333 с.
8. Теверовский Б.З. Расчеты устройств для очистки промышленных газов от пыли: Учебное пособие. К. : УМК ВО, 1991. 92 с.
9. Павлюк Ю.С. Методичні вказівки до розрахунку газового тракту газоочисної системи в курсових проектах і дипломному проектуванні для студентів денної та заочної форми навчання. Запоріжжя, 2002. 21с.
10. Брук А.Д. Дымососы газоочистных сооружений. К. : Машиностроение, 1984. 144с.
11. Иващенко О.В. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА. Запоріжжя, 2004. 32 с.

12. Тарасов В.К. Безпека технологічних процесів і устаткування. Запоріжжя, ЗДІА, 2008. 164с.
13. Геврик Є.О. Охорона праці: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.
14. Ткачук К.Н. Филипчук В.Л., Каштанов С.Ф. Виробнича санітарія. Рівне : НУВГП, 2012. 443 с.
15. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. Основи охорони праці. Київ : Основа, 2006. 448 с.
16. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник. Львів, Афіша, 2000 352с.
17. Рожков А. П. Пожарная безопасность на производстве. К.: Охрана
18. Правила пожежної безпеки в Україні. Київ : Основа, 2002. 352 с.

## ДОДАТКИ

Додаток А

### Публікації

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні  
Запорізька міська рада  
Запорізька обласна державна адміністрація  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Національний університет «Києво-Могилянська Академія»  
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
Київський національний університет будівництва і архітектури  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
Національний транспортний університет

## МАТЕРІАЛИ

II ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА  
УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ  
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА  
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»

**18-20 жовтня 2022 року**

Запоріжжя

2022

2

2. R.J. Banu, S. Kavitha, R.Y. Kannah, M.D. Kumar, A.E. Atabani, G. Kumar, Royse, D.J. (2014). A global perspective on the high five Agaricus, Pleurotus, Lentinula, Auricularia and Flammulina. Proceedings of the 8th International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products (ICMBMPS) (pp. 19–22).

3. A.S. Fernandes, F.V.C. Mello, S. Thode Filho, R.M. Carpes, J.G. Honório, M.R.C. Marques, E.R.A. Ferraz Impacts of discarded coffee waste on human and environmental health Ecotoxicology and Environmental Safety, 141 (2017), pp. 30–36 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.011>.

4. Cohen L., Persky Y., & Hadar R. (2002). Biotechnological applications and potential of wood degrading mushrooms of the genus Pleurotus, 58(5), 582–594. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-0930-y>.

5. Saha B.C. Alpha-L-arabinofuranosidases: Biochemistry, Molecular Biology and Application in Biotechnology [Текст] / B.C. Saha // Biotechnol. Adv. – 2000. – P. 403–423.

УДК 669.162.252.468

Міхайлов Д.С., магістрант 2 курсу, Коваль В.В., студент 3 курсу  
Науковий керівник – к.т.н., доцент Белоконь К.В.

## **ПРОЕКТ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ АСПРАЦІЙНИХ ГАЗІВ ЛИВАРНОГО ДВОРУ ДОМЕННОГО ЦЕХУ**

*Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Мета доменного виробництва полягає в здобутті чавуну із залізняку шляхом їх переробки в доменних печах. Основний продукт доменного процесу - чавун прямує в сталеплавильні печі. Доменним процесом є сукупність механічних, фізичних явищ, що протікають в працюючій доменній печі. Доменний цех включає доменні печі, відділення приймальних бункерів (бункерну естакаду), систему подачі шихти до завантажувального пристрою печі, ливарний двір, повітрянагрівачі з газопроводами, систему газоочистки, відділення розливання чавуну, склад холодного чавуну, систему придоменної грануляції шлаку, а також відділення приготування вогнетривких мас і ремонту чавуновозних ковшів і повітродувну станцію.

Доменний процес є відновним процесом, оскільки його суть полягає у відновленні оксидів заліза до металу. Сировиною доменної плавки є паливо, залізни і марганцеві руди і флюси. Паливом для доменної плавки служить кокс, що отримується з кам'яного вугілля. Його роль полягає в забезпеченні процесу паливом і відновною енергією. Крім того, кокс розпушує стовп шихтових матеріалів і полегшує проходження газового потоку в шихті доменної печі.

Робота доменного виробництва пов'язана з виділенням газів, що містять пил і різні газоподібні компоненти, що шкідливо діють на організм людини. Ливарний двір доменної печі є джерелом неорганізованого пилоутворення

доменного виробництва. Запилені гази на ливарному дворі виділяються, в основному, у чавунних і шлакових льоток, жолобів зливу чавуну і шлаку, чавуновозних і шлаковозних ковшів. Максимальна кількість пилу і газів виділяється під час випусків чавуну і шлаку. Загальне виділення пилу з поверхні жолобів і ковшів складає 400-700 г/т чавуну. Середня концентрація пилу в період випуску складає 150-1500 мг/м<sup>3</sup>. Максимальні концентрації спостерігаються над головним жолобом і ковшом для чавуну. Усереднена концентрація пилу, що виділяється на ливарному дворі, - 4 г/м<sup>3</sup> [1-4].

З метою зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу від ливарного двору і поліпшення умов праці на доменній печі розроблена система уловлювання і очищення газів, що передбачає укриття жолобів, по яких рухається чавун і шлак при їх випуску, відсмоктування газів від них, а також від льоток та скіммерів. Очищення пилогазових викидів пропонується виконувати рукавному фільтрі ФРІР-5700. Рукавний фільтр працює з фільтрувальними рукавами виготовленими з поліефірного іглопробивного полотна з каркасом з філаментних ниток. Тривалість періоду фільтрування між двома регенераціями  $t_p \approx 37 \text{ хв. } 37 \text{ сек.}$  Ефективність рукавного фільтру, при прийнятій залишковій запиленості газу  $z_2 = 20 \text{ мг/м}^3$ , складає  $\eta = 99,5 \%$ . Очищений газ з фільтру по загальному газоходу прямує в розподільчий колектор і потім до димососів. За результатами аеродинамічного розрахунку газового тракту системи газоочищення, опір якого склав 3,66 кПа, вибрано два димососа типа ДН-26×2.

#### Список використаних джерел

1. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. 917 с.
2. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справ. изд. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
3. Старк С.Б. Газоочистные аппараты и установки на металлургическом производстве. М.: Металлургия, 1990. 400 с.
4. Денисов С.И. Улавливание и утилизация пылей и газов: Учебн. пособие К.: Высшая шк., 1992. 333 с.

УДК 669.162.252

Морозова Д.М., бакалавр 3 курсу, Моїсєєва Н.Г., магістрантка 2 курсу  
Науковий керівник – к.т.н., доцент Румянцев В.Р.

#### ЕКОЛОГІЧНА СИТУАЦІЯ ТА РАДІАЦІЙНА НЕБЕЗПЕКА В УКРАЇНІ ПІД ЧАС ВІЙНИ

*Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Із усіх видів людської діяльності війна найгірше впливає на довкілля: з одного боку військові дії негативно позначаються на довколишньому

<b>Литвиненко О.В., Барабаш О.В.</b> Розроблення етапів реалізації стратегії ресурсоефективного та чистого виробництва.....	405
<b>Макас А.М., Крусір Г.В.</b> Оцінка впливу субстратів з високим вмістом кавового шламу на жирнокислотний склад грибів <i>Pleurotus</i> .....	407
<b>Міхайлов Д.С., Коваль В.В., Белоконь К.В.</b> Проект системи очистки аспіраційних газів ливарного двору доменного цеху.....	409
<b>Морозова Д.М., Моїсєєва Н.Г., Румянцев В.Р.</b> Екологічна ситуація та радіаційна небезпека в Україні під час війни.....	410
<b>Покшевницька Т.В., Лук'янова В.В.</b> Оцінка впливу на довкілля реконструкції водозабору «Тернопільський» КП «Тернопільводоканал».	411
<b>Савченко К.О., Сіденко І.В., Манідіна Є.А.</b> Вплив воєнних дій на стан довкілля України.....	414
<b>Соколова Т.І., Соколова В.І. Крусір Г.В.</b> Удосконалення біотехнології переробки харчових відходів в готельно-ресторанному комплексі.....	416
<b>Сухий В.М., Хованець А.В., Мадані М.М.</b> Біотехнологія одержання екологічних продуктів з вторинної сировини.....	418
<b>Тетерін А.В., Кожемякін Г.Б.</b> Проект системи очищення газів міксерного відділення з утилізацією вловлених продуктів.....	420
<b>Цирулик Р.В., Самілик М.М.</b> Важливість комплексної переробки рослинної сировини регіонального значення.....	421
<b>Шокун Є.С., Петренко В.В., Румянцев В.Р.</b> Цивільний захист населення від вибухонебезпечних предметів у військовий час.....	423