

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка**  
до кваліфікаційної бакалаврської роботи

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

на тему Розробка системи очистки аспіраційних газів доменного виробництва

Виконала: студентка 3 курсу, групи 6.1830-с

Коваль В.В.

(ПІБ)



(підпис)

спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

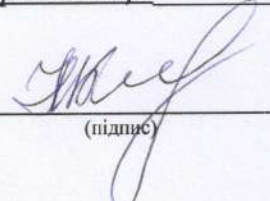
освітньо-професійна програма

Технології захисту навколишнього середовища

(шифр і назва)

Керівник Бєлоконь К.В.

(прізвище та ініціали)



(підпис)

Запоріжжя - 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

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

Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища  
(шифр і назва)

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Белоконь

« 16 » 06 2023 року

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

Коваль Василь Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекта) Розробка системи очистки аспіраційних газів доменного виробництва

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

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

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 16.06.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) об'ємна витрата газу при нормальних фізичних умовах (НФУ),  $Q'_{0z} = 849800 \text{ м}^3/\text{год}$ , температура газу перед рукавним фільтром  $t = 34,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , розрідження перед рукавним фільтром  $p_z = 2382,649 \text{ Па}$ , щільність частинок пилу  $\rho_n = 2710 \text{ кг/м}^3$ , пористість тканини  $\epsilon_m = 0,75$ , питомий опір тканини  $h_{mk} = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , барометричний тиск  $p_{бар} = 99,4 \text{ кПа}$ , запиленість газу перед фільтром  $Z_l = 0,91 \text{ г/м}^3$ .

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентаційний матеріал 11 слайдів (на 11 сторінках): титульний аркуш, план доменного цеху, розріз доменного цеху, апаратурно-технологічна схема доменного процесу, аспірація місць зливу чавуну, аеродинамічна схема газовідвідного тракту, результати аеродинамічного розрахунку (2 слайди), рукавний фільтр ФРІР – 11500, блискавкозахист будівлі газоочищення доменного цеху, висновки

### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 29.12.2022

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

(підпис)

В.В. Коваль  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

К.В. Белоконь  
(прізвище та ініціали)

## Реферат

Кваліфікаційна робота на тему «Розробка системи очистки аспіраційних газів доменного виробництва»: 112 стор., 16 табл., 19 рис., 16 джерел.

ДОМЕННА ПІЧ, АСПІРАЦІЙНА СИСТЕМА, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, СКІПОВА ЯМА, ОЧИЩЕННЯ, НЕБЕЗПЕЧНІ І ШКІДЛИВІ ФАКТОРИ.

Мета роботи – розробка аспіраційної системи очищення від ливарного двору, скіпової ями та приймальної воронки від двох доменних печей.

У першому розділі розглянуто влаштування доменної печі, доменний процес та фізико-хімічні властивості пилу у місцях його утворення.

У другому розділі розглянуто існуючі методи та схеми очищення аспіраційного повітря. Здійснено аеродинамічний розрахунок газового тракту, підібрано газоочисний апарат. Кількість газів, що відбираються, становить  $\approx 1$  млн.  $\text{м}^3/\text{год}$ ; температура газів –  $24-37$   $^{\circ}\text{C}$ ; початкова запиленість –  $0,91$   $\text{г}/\text{м}^3$ . При розрахунку отримано сумарний опір газового тракту  $5,5$   $\text{кПа}$ . Підібрано рукавний фільтр ФРІР-11500, який має пропускну здатність по очищуваному газу більше  $1$  млн.  $\text{м}^3/\text{год}$  і опір  $2-2,5$   $\text{кПа}$ . Залишкова запиленість пилогазоповітряної суміші після рукавного фільтра становить до  $20$   $\text{мг}/\text{м}^3$ . Ефективність очищення газів –  $99\%$ . На підставі одержаного опору газового тракту обраний димосос ДН-26 $\times$ 2 (4 шт).

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розглянуто небезпечні та шкідливі фактори в доменному цеху, розроблено заходи з техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки. Виконано розрахунок блискавкозахисту будівлі газоочищення доменного цеху.

## ЗМІСТ

ВСТУП . . . . .	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА . . . . .	7
1.1 Влаштування доменної печі . . . . .	7
1.2 Сировинні та допоміжні матеріали доменної плавки . . . . .	19
1.3 Доменний процес . . . . .	21
1.4 Продукти доменної плавки . . . . .	26
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА . . . . .	32
2.1 Способи очищення газів . . . . .	32
2.2 Опис аспіраційної системи . . . . .	42
2.3 Аеродинамічний розрахунок (I-VIII розрахункові ділянки) . . . . .	44
2.4 Рукавний фільтр ФРІР-11500 . . . . .	72
2.5 Аеродинамічний розрахунок (X-XIV розрахункових ділянок) . . . . .	79
2.6 Вибір димососу . . . . .	91
2.7 Характеристика аспіраційної системи . . . . .	95
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА . . . . .	97
3.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища . . . . .	97
3.2 Технічні рішення щодо виробничої санітарії . . . . .	100
3.3 Заходи з техніки безпеки . . . . .	104
3.4 Заходи пожежної безпеки . . . . .	105
3.5 Розрахунок блискавкозахисту газоочищення доменного цеху . . . . .	107
ВИСНОВКИ . . . . .	110
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ . . . . .	111

## ВСТУП

Вплив господарської діяльності на довкілля нині визначається значними обсягами викидів в атмосферне повітря, водоспоживання для промислових цілей та скидів стічних вод.

Запорізька область входить до п'ятірки найбільш техногенно навантажених регіонів України і, як наслідок, має один із найбільших рівнів забруднення атмосферного повітря. На підприємствах області налічується близько 23 тисячі джерел викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Основними забруднювачами повітря є підприємства Мінпромполітики та Мінпаливенерго – їх викиди становлять майже 92% від загальної кількості забруднюючих речовин. Неминучим наслідком промислового розвитку області останніми роками стає тенденція до збільшення викидів в атмосферу. Тому серйозними залишаються проблеми заміни застарілих технологій виробництва та обладнання, особливо у металургії, а також відсутність розробок та впровадження методів ефективного очищення великих обсягів забруднених газів та моніторингу (з використанням автоматичних датчиків) викидів забруднюючих речовин від аераційних ліхтарів основних цехів металургійних підприємств.

Одними із найбільших забруднювачів у Запоріжжі є металургійні підприємства, а саме агломераційний, доменний та мартенівський цехи.

Щороку в атмосферне повітря викидається: 78399,9 т/рік основних викидів; 7981,1 т/рік твердих частинок; 4002 т/рік з'єднання азоту; 5756,8 т/рік діоксиду та інших сполук; 58976,9 оксиду вуглецю.

Основною метою кваліфікаційної роботи є розроблення аспіраційної системи від ливарного двору, скіпової ями та приймальної воронки від двох доменних печей із урахуванням зменшення викидів в атмосферне повітря.

## РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Влаштування доменної печі

Усі доменні печі розташовані в лінію та мають загальний рудний двір та бункерну естакаду. Для обслуговування доменного цеху залізничним транспортом у цеху є залізничні колії: між печами та бункерною естакадою (постановочні шляхи шлакових ковшів; шляхи для збирання шлаку; транзитний шлях; шлях для збирання коксових дрібниць), на стороні видачі чавуну із доменної печі (постановочні шляхи для чавуновозних ковшів; шляхи для збирання чавуну; транзитний шлях; шлях для збирання колошникового пилу).

Доменні печі мають кожна свій ливарний двір, що обслуговується електромостовим краном вантажопідйомністю 20-5 тонн.

Шлакові та чавунні льотки доменних печей обслуговуються такими механізмами: свердлильною машиною з дистанційним керуванням, електрогарматою типу Е-6-050 УЗТМ, шлаковими стопорами з пневмоприводами.

Зміна сопел та фурм проводиться вручну. Для полегшення робіт при заміні фурм сопла підвішено на радіальних монорейках. Є кільцева монорейка для подачі сопел, фурм і вогнетривких мас за допомогою електротельфера.

Випуск чавуну здійснюється за графіком, в якому регламентується час початку та закінчення випуску. Виробляється дванадцять випусків на добу.

Повітря, необхідне горіння вуглецю, перед подачею в піч нагрівається до температури 1100-1150°C. Нагрівання повітря проводиться в повітрянагрівачах, що мають вигляд циліндричної вежі діаметром до 9 метрів і висотою до 50 метрів. Усередині сталевого кожуха викладається вогнетривка кладка.

Внутрішній простір повітрянагрівача поділено на камеру горіння та насадку. У камері горіння відбувається згоряння (палива) газу, а в насадці акумулюється тепло в період нагрівання повітрянагрівача, за рахунок якого нагрівається дуття, коли повітрянагрівач працює на режимі «дуття».

Робота повітрянагрівачів (переведення повітрянагрівача з «дуття» на нагрів і назад) доменних печей механізовано і проводиться без витрат ручної праці. Передбачено роботу з випарним охолодженням шиберів гарячого дуття та відсічених клапанів газових пальників повітрянагрівачів доменних печей.

Завантаження всіх доменних печей провадиться за допомогою двоколіїних похилих скіпових витягів.

Зміна скіпів всіх скіпових витягів здійснюється за допомогою спеціальних лебідок вантажопідйомністю 10 т, встановлених на рудногрейферних перевантажувачах.

На доменних печах встановлені безконусні засипні апарати [1].

Фундамент доменної печі (рис. 1.1) служить для рівномірної передачі тиску печі із завантаженим у неї сирими матеріалами на ґрунт. Фундамент ділиться на дві частини: верхню, наземну частину, яка називається пнем, і нижню, підземну, що називається підшоною.

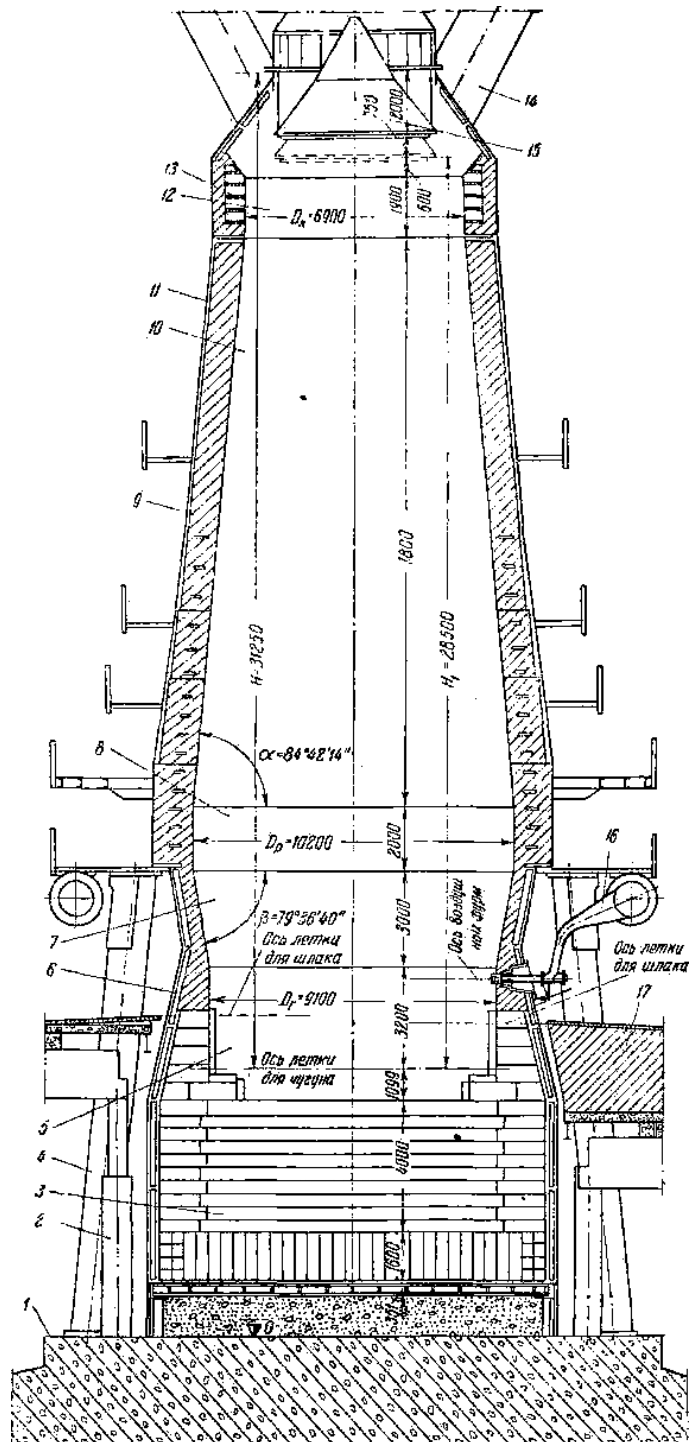
Фундамент доменної печі піддається інтенсивному тепловому впливу і тому повинен мати достатню термічну міцність, не руйнуючись і не даючи тріщин при нагріванні. Тому верхня частина фундаменту виконується із жаротривкого бетону, а нижня із звичайного.

Фундаменти сучасних доменних печей мають підшоно у вигляді восьмикутної плити завтовшки близько 4 м.

Доменна піч зовні укладена у металевий кожух, що складається з ряду циліндричних та конічних поясів.

Кожух виконується з листів звичайної маловуглецевої або низьколегованої високоміцної сталі марок 10Г2С1 або 16Г2АФ, товщина яких визначається місцем їх встановлення з урахуванням механічних умов та температурної напруги.





1 – пень; 2 – колони ливарного двору; 3 – вогнетривка кладка ляща доменної печі; 4 – вогнетривкі колони, що підтримують кладку шахти печі; 5 – металопріймач; 6 – холодильники; 7 – заплички; 8 – розпар; 9 – бічна кладка; 10 – шахта печі; 11 – кожух; 12 – колошник; 13 – металеві плити; 14 – газовідведення доменного газу; 15 – колошниковий пристрій; 16 – фурмові прилади; 17 – робочий майданчик ливарного двору

Рисунок 1.1 – Конструкція доменної печі

Залежно від розмірів печі, конструкції кожуха та марки сталі, товщина кожуха ляща та горна становить 30 – 50 мм, заплічників – 30 – 50 мм, шахти, колошника та купола печі – 22 – 45 мм. Кожух доменної печі виконується звареним.

Кожух шахти спирається на колони. Для цього його нижня частина закінчується опорним кільцем. Опорне кільце (маратор) підтримує кожух та вогнетривку кладку шахти та передає навантаження від конструкції верхньої частини печі на колони..

Вогнетривка кладка печі призначена для зменшення теплових втрат та запобігання кожуху печі від теплових та інших шкідливих впливів. Кладка печі зазнає різноманітних впливів.

Велике значення для служби вогнетривкої кладки має так званий гарнісаж – продукт взаємодії компонентів шихти та шлаку з матеріалом футерування. В результаті взаємодії утворюється рідка фаза, що застигає при зіткненні з холоднішими стінами печі. При деякій товщині гарнісажу між швидкістю його наростання та зносу настає рівновага. Наявність гарнісажу дає можливість працювати при незначній товщині футерування..

Кладка ляща постійно омивається рідким чавуном, відчуває великий гідростатичний тиск та температурну напругу. Температурні напруги призводять до переродження структури вогнетривкого матеріалу, деформацій і тріщин, що також викликає постійне руйнування кладки.

Залежно від характеру роботи кладки в різних частинах печі витікають вимоги до вогнетривкої цегли. Насамперед, цегла повинна мати достатню вогнетривкість. Цегла не повинна втрачати механічну міцність при нагріванні та розчинятися у шлаку. Важливим є точність розмірів цегли, що забезпечує отримання мінімальних розмірів швів.

Для футерування доменної печі використовується шамотна, високоглиноземна і вуглецева цегла.

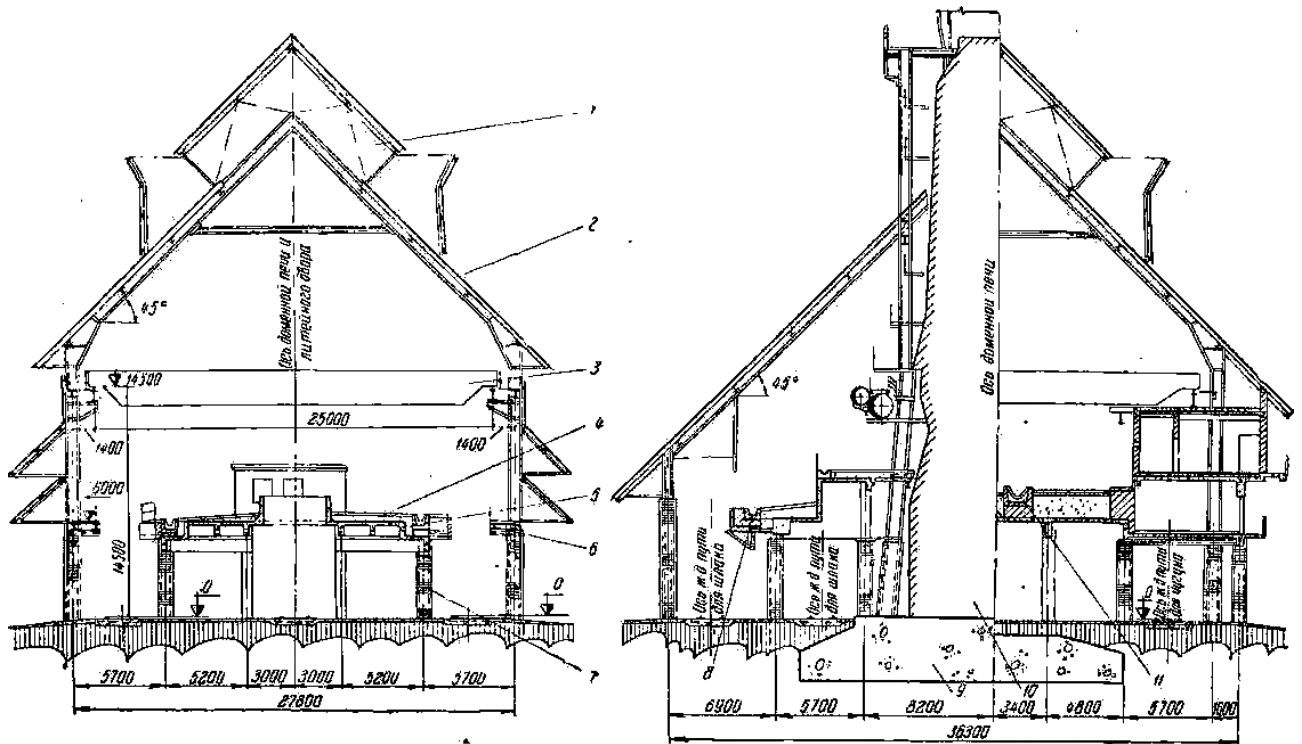
Нижня частина ляща викладається із прямокутних вуглецевих або графітованих блоків. У центрі блоки встановлюються на торець, а

периферією – на планку. Товщина швів вбирається у 2,5 мм. Периферійна частина ляща викладається з горизонтально встановлених вуглецевих блоків трапецієподібної форми, у вигляді кільцевої стінки з переміщеною товщиною. Товщина швів не перевищує 1,2 мм. Вертикальні шви в суміжних по висоті рядах блоків розташовуються в розбіг. Футерування ведеться на вуглецевій пасті, що підігрівається для зменшення в'язкості до 30 - 50 °С. Центральна частина ляща з високоглиноземистої цегли з вмістом  $Al_2O_3$  не менше 62%, ретельно розсортованої за довжиною та шириною для кожного ряду.

Горн від лещади до рівня шлакових льоток викладається з вуглецевих блоків трапецієподібної форми або маломірної вуглецевої цегли, а від рівня шлакових льоток до заплічників – шамотною цеглою, ретельно підібраною по товщині та довжині. Вуглецеві блоки, шамотна цегла укладаються горизонтально з дотриманням тих же вимог, що і при укладанні периферійної частини лещади.

Сучасний ливарний двір являє собою майданчик біля горна доменної печі, призначений для розміщення чавунних і шлакових жолобів, якими чавун і шлак з льоток горна прямують до ківшів. Ковші встановлюють під зливними шкарпетками ринв на залізничних коліях. Розміри ливарного двору визначаються площею, необхідною для розміщення жолобів.

Робочий майданчик ливарного двору виконують із залізобетонних плит, що спираються на колони. Плити зверху засипані піском, у якому укладено жолоби. Під робочим майданчиком знаходиться склад заправних матеріалів для ремонту льоток. Будівля ливарного двору (рис. 1.2) складається з металоконструкцій, що спираються на фундамент, і перекрита зверху дахом, що несе на собі аераційний ліхтар. Уздовж будівлі ливарного двору розташовані балкони для обслуговування жолобів, управління відсічними пристроями жолобів та спостереження за наповненням чавуном або шлаком.



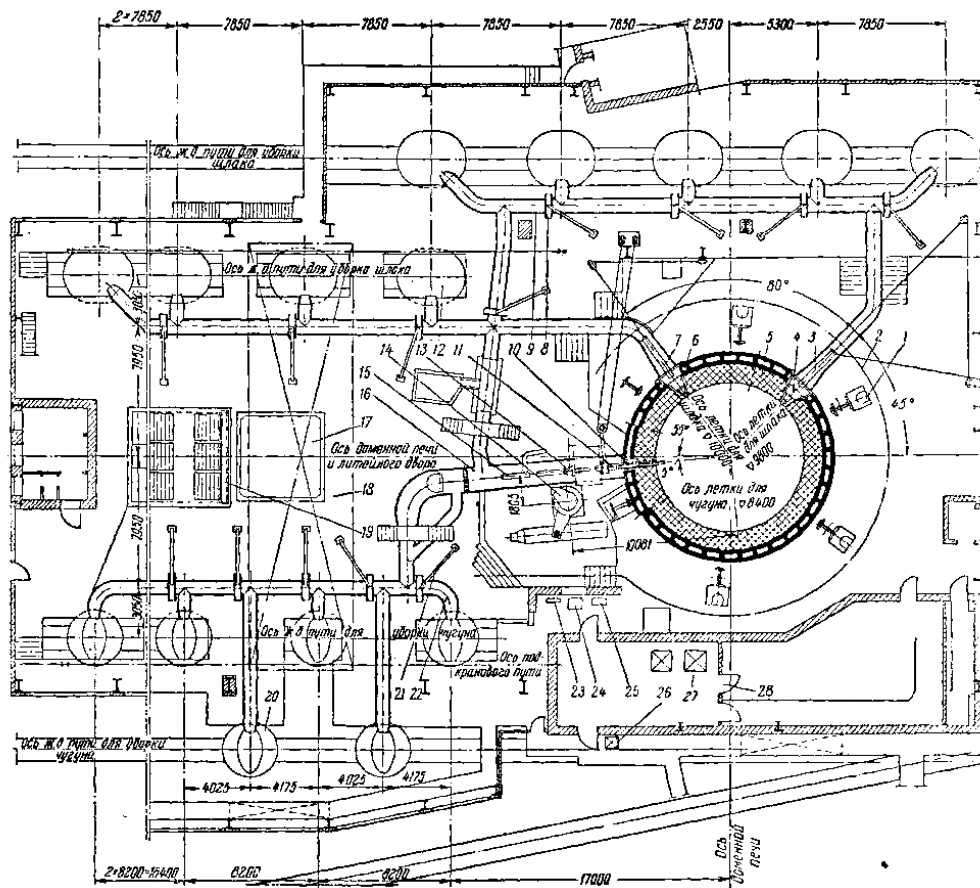
1 – аераційний ліхтар; 2 – дах; 3 – бруківка магнітно-грейферний кран; 4 – робочий майданчик; 5 – залізобетонна плита; 6 – балкон; 7 – колони; 8 – жолоб для шлаку; 9 – фундамент доменної печі; 10 – доменна піч; 11 – жолоб для чавуну.

Рисунок 1.2 – Розрізи ливарного двору доменної печі

На робочому майданчику ливарного двору (рис. 1.3), крім розливних жолобів для чавуну та шлаку, а також відсічних пристроїв, розташоване обладнання для обробки чавунної льотки (пневматичний молоток та свердлильна машина або бурмолот), для забивання чавунної льотки (пневматична або електрична) для закривання шлакових льоток (стопори).

Для обслуговування ливарного двору та проведення монтажних робіт при ремонтах двір обладнано мостовим магнітно-грейферним краном вантажопідйомністю 20 т.

На відстані 1,5 м нижче осі повітряних фурм розташований робочий майданчик горна, перекритий спеціальним будинком, який називається піддоменником. До нього примикає ливарний двір.



1 – колона шахти доменної печі; 2 – монорейка для зміни фурм фурменних приладів; 3 – установка шлакового стопора; 4 – нижня шлакова льотка; 5 – доменна піч; 6 – верхня шлакова льотка; 7 – установка шлакового стопора; 8 – відсічний пристрій для шлаку; 9 – жолоб для шлаку; 10 - чавунна льотка; 11 – встановлення пневматичного молотка; 12 – шлаковоз; 13 – свердлильна машина; 14 – електрогармата; 15 – пристрій для сушіння головного жолоба; 16 – головний жолоб для чавуну; 17 – засік для піску; 18 – бруківка магнітно-грейферний кран; 19 – контейнери з льотковою масою; 20 – чавуновоз; 21 – відсічний пристрій для чавуну; 22 – жолоб для чавуну; 23 – пульт керування пневматичним молотком; 24 – пульт керування електрогарматою; 25 – пульт управління свердлильною машиною; 26 – лебідка для управління атмосферним клапаном пиловловлювача; 27 – лебідка для керування атмосферним клапаном доменної печі; 28 – приміщення управління доменною піччю.

Рисунок 1.3 – План ливарного двору зі стаціонарними жолобами та піддоменника доменної печі

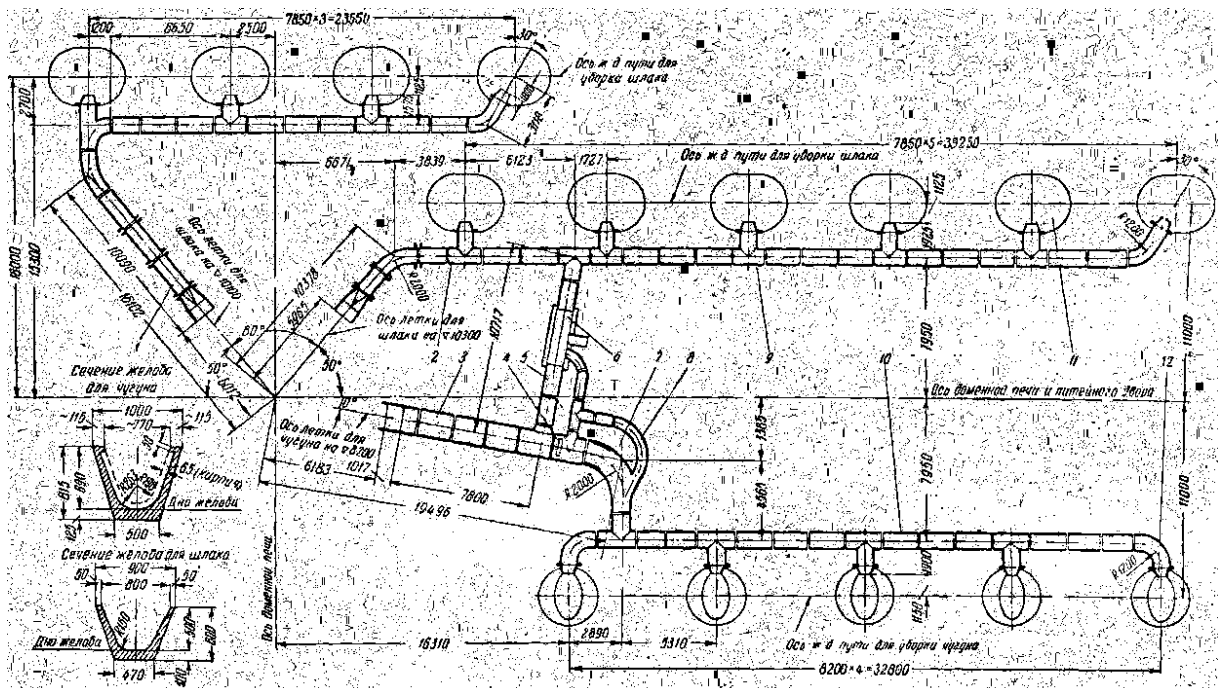
Робочий майданчик горна призначений обслуговування фурменних приладів доменної печі; її виконують також залізобетонною на колонах. Продовженням цього майданчика є робочий майданчик ливарного двору.

У піддоменнику передбачені приміщення, в яких розміщені пульти керування обладнанням чавунної льотки, контрольно-вимірювальні та сигналізуючі прилади, лебідки для керування атмосферними клапанами доменної печі та пиловловлювачів.

У деяких доменних цехах у піддоменнику встановлені також лебідки відсікаючого клапана газопроводу брудного газу пиловловлювачів та повітряно-розвантажувального клапана трубопроводу холодного дуття повітрянагрівачів.

Жолоби для чавуну та шлаку, розміщені на робочому майданчику ливарного двору, призначені для транспортування чавуну та шлаку, що випускається з відповідних льоток, у чавуновози та шлаковози, встановлені під зливними шкарпетками жолобів. На рис. 1.4 показано розташування жолобів на ливарному дворі сучасної типової доменної печі корисним об'ємом  $1513 \text{ м}^3$ . З чавунної льотки разом із чавуном виходить частина шлаку; тому головний жолоб забезпечений бічним відведенням у бік жолоба для шлаку. Поділ чавуну та шлаку відбувається за допомогою скімерної (розділової) плити, встановленої за відведенням у головному жолобі, не доходячи до його дна на 200-300 мм. Шлак, оскільки його питома вага менша, затримується плитою і відводиться бічним жолобом у бік жолоба для шлаку. У бічному жолобі передбачена пастка для чавуну. Відділення шлаку від чавуну сприяє також перевал, розташований за скімерною плитою. Призначення перевалу полягає в тому, щоб підняти рівень чавуну в жолобі настільки, щоб шлак не зміг проникнути в отвір між плитою та дном жолоба. Дно бічного жолоба розташоване вище за рівень чавуну в основному жолобі, тому чавун не може потрапити в бічний жолоб і, перейшовши перевал, прямує з головного жолоба в жолоб для чавуну. Чавун, що залишився перед перевалом, зливають по коліна в жолоб для чавуну. Якщо ж з якоїсь причини

(наприклад, при густих шлаках) чавун потрапить у бічний жолоб, він затримується в пастці, що є поглиблення в бічному жолобі. Уловлений чавун по коліну повертається в жолоб для чавуну або випускається через носок пастки в невеликий ківш. Чавун із жолоба для чавуну через зливні шкарпетки потрапляє у ковші чавуновозів, довжина яких визначає відстань між зливними шкарпетками. Шлак із шлакових льоток прямує в жолоби і через зливні шкарпетки виливається в ковші шлаковозів. Послідовний напрямок чавуну та шлаку від одного ковша до іншого забезпечується відсічними пристроями, які встановлені у зливних шкарпеток. Відсічний пристрій виконано у вигляді лопати, яка перекриває переріз ринви. Для пропуску чавуну чи шлаку його піднімають вручну за кільце. Перед випуском чавуну відсічні лопати заправляють свіжим піском, утворюючи перевали.



1, 2 – жолоби для шлаку; 3 – головний жолоб для чавуну; 4 – скімер; 5 – бічний жолоб для шлаку; 6 – пастка; 7 – перевал; 8 – коліно; 9 – зливна шкарпетка; 10 – жолоб для чавуну; 11 - шлаковіз; 12 - чавуновіз

Рисунок 1.4 – План розміщення жолобів для чавуну та шлаку типової доменної печі корисним об'ємом 1513 м<sup>3</sup>

Перетин жолобів залежить від витрати чавуну та шлаку, а також ухилу жолобів. Ухил жолобів для чавуну становить 6-7% і жолобів для шлаку 7-8%, за винятком ділянки, що безпосередньо примикає до шлакових льоток, де ухил становить 20-30%.

Жолоби виготовляють литими чавунними, з окремих частин. Жолоби для чавуну футерують вогнетривкими матеріалами. Вага жолобів на одну доменну піч сягає сотні тонн. Втрати у вигляді скрапу у жолобах становлять до 1,7% від ваги чавуну.

Після розливання чавуну та шлаку жолоби чистять та готують до нового випуску продуктів доменної плавки [1].

Чавунною льоткою називається отвір у стінці нижньої частини горна – металоприймач, розташований на висоті 600 - 1700мм від рівня ліща і призначений для періодичного випуску чавуну.

Льотковий отвір у горні послаблює кожух печі, тому в цьому місці встановлюється металева лита рама. У рамі зроблено внутрішній отвір, футерований вогнетривкою високоглиноземистою цеглою, ширина каналу 200-300 мм і висота 400-500 мм.

Шлаковою льоткою називається отвір у стінці горна, розташований на висоті 1400-1900мм від рівня чавунної льотки і призначений для періодичного випуску шлаку з доменної печі.

Повітря, необхідне горіння палива, подається в доменну піч через отвір, що у верхній частині горна – фурменній зоні. В отвір вогнетривкої кладки вставляється прилад, що складається з трьох деталей: амбразури, холодильника і фурми.

Амбразура є чавунним виливком конічної форми, що охолоджується водою, що циркулює по водопровідній трубці, залитій в її тілі. Амбразури кріпляться болтами до сталевого литого фланця.

Фурмовий холодильник виконується мідним литим із внутрішньою порожниною, в якій циркулює вода. Холодильник має конічну форму.



Дуття підводиться до фурм по кільцевому повітропроводу з внутрішнім діаметром до 1400 мм, що оперізує доменну піч і підвішений до колон печі. Кільцевий повітропровід та трубопровід гарячого дуття зварюються з стільних листів товщиною 8-12 мм.

Сопло є сталевим виливком зі стінкою товщиною 12-16 мм. Для збільшення стійкості сопел і зменшення втрат тепла їхня внутрішня поверхня футерується вогнетривкою цеглою. [2].

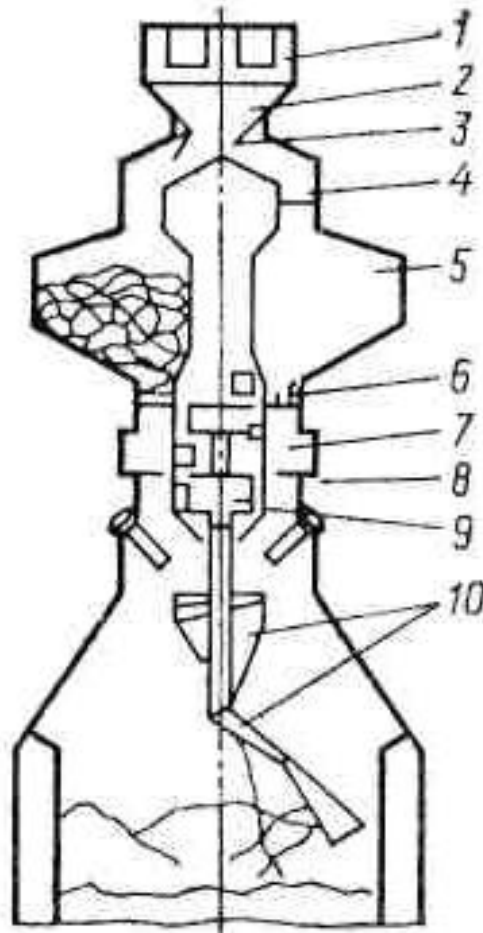
Безконусний засипний апарат складається з приймальних лійок-бункерів з клапанами, що дозують шихтових затворів та розподільників. Розподільник цього засипного апарату забезпечує розташування гребеня матеріалів, що завантажуються на будь-якій відстані від стінок і осі печі, що відповідає вимогам, що пред'являються до завантажувальних пристроїв сучасного доменного виробництва.

Засипний апарат (рис 1.5) на доменній печі №5 комбінату «Запоріжсталь» має нерухому двосхилий спрямовуючу лійку з двома заслінками над горловинами двох проміжних бункерів для шихти.

Контроль наявності матеріалів бункерах здійснюється ізотопними датчиками. Зважування їх не передбачено. Верхній та нижній газовідсікаючі клапани відокремлюють бункера від атмосфери та робочого простору печі. У верхній частині бункерів встановлені зрівняльні та запобіжні клапани. Шихтові затвори, що перекривають вивантажувальні отвори бункерів, регулюють інтенсивність висипання матеріалів. По похилих течках останні подаються у воронку розподільника, що обертається, і далі надходить на опуклу поверхню розподільного пристрою - склізу.

Для покращення окружної рівномірності розподілу робота лійки передбачена з накопиченням шихти, рівень якої контролюється ізотопним датчиком. Поверхня склізу є поверхнею конуса з кутом нахилу, що утворює до горизонту  $40^\circ$ , вісь якого поєднується з віссю печі і є віссю обертання. Максимальний радіус склізу 2,5 м. Він обертається синхронно з лійкою і може повертатися щодо вікна для регулювання радіального розподілу шихти.

Чим більше радіус склизу навпроти вікна лійки, тим далі від центру розташовується гребінь завантаженого матеріалу.



1 - головний барабан похилого конвеєра або скіп; 2 - приймальна воронка; 3 - заслінка приймальної воронки; 4 - верхній газовідсікаючий клапан; 5 - проміжний бункер; 6 - шихтовий затвор; 7 - нижній газовідсікаючий клапан; 8 - листова засувка; 9 - редуктор розподільника, що обертається; 10 - елементи розподільника, що обертається

Рисунок 1.5 - Безконусний завантажувальний пристрій

Управління розподільником ґрунтується на обертанні воронки з постійною швидкістю та підтримці заданого кутового положення склизу щодо її шляхом автоматичного регулювання швидкості його обертання.

Зміна розподілу здійснюється зміною співвідношення лійки і склізу за рахунок кута їх неузгодженості, при якому положення вершин гребенів змінюється за заданою програмою, причому перехід з однієї позиції на іншу виробляють функції часу. Особливістю конструкції апарату є обертання лійки та склізу за допомогою двох концентричних штанг. Редуктор приводу винесено за межі печі [2].

Колошникове пристрій є багатоповерхову металеву конструкцію для підтримки комплексу механізмів, призначених для завантаження шихти в доменну піч, пристроїв для їх монтажу та ремонту. У колошникове пристрій входять також газовідведення із системою клапанів.

Колошниковий майданчик служить для огляду засипного пристрою та розміщення ручної лебідки, що служить приводом для пересування монтажного візка, та електричної лебідки, що є приводом механізму підйому консольно-поворотного крана.

Другий майданчик – призначений для огляду та ремонту засипного пристрою.

Третій майданчик служить для доставки обладнання нагору печі і зміни елементів засипного пристрою, що вийшли з ладу.

Четвертий майданчик служить для встановлення та огляду балансувань, а також розміщення опорного візка.

П'ятий майданчик – майданчик атмосферних клапанів, на якому проводиться їх ремонт та обслуговування [2].

## **1.2 Сировинні та допоміжні матеріали доменної плавки**

Сирими матеріалами або шихтою доменної плавки є агломерат, руда, флюси та паливо.

Перш ніж використовувати руду як сировинний матеріал, її необхідно підготувати. Для цього руда надходить на аглофабрику, де вона піддається обробці і в доменний цех надходить як котуни.

Флюси або плавень необхідні для надання легкоплавкості порожній породі, руди та золі палива. За допомогою флюсів отримують легкоплавкий шлак і частково видаляють із металу шкідливі домішки: сірку та фосфор.

Флюси поділяються на дві групи: основні (доломіт і вапняк) та кислі (кварцити, пісковики та кремниста галька). Застосування для виплавки чавуну флюсів тієї чи іншої групи залежить від хімічного складу порожньої породи та золи. Коли порожня порода містить велику кількість кремнезему, що має кислотний характер, доменну піч завантажують основні флюси. Якщо ж у порожній породі переважають оксиди кальцію чи магнію, то шихту додають кислі флюси.

Найбільшого поширення в доменному виробництві як флюс отримав вапняк.

Паливо в доменній печі використовують для створення високої температури, в результаті якої створюються умови для плавлення руди та флюсів, а також отримання чавуну та шлаку в розплавленому стані. Крім того, паливо має мати властивість відновника. В якості палива і відновника найчастіше застосовують кокс, що отримується в коксових печах шляхом сухої перегонки - нагріву кам'яного вугілля сортів, що коксуються, до 850 - 1000° С без доступу повітря.

Перевага коксу перед іншими видами палива полягає в тому, що він характеризується великою кількістю вуглецю (83 - 87%), достатньою механічною міцністю, однорідністю шматків, малою кількістю летких речовин (1-2%), великою теплотою згоряння (понад 6000 ккал/ кг) та меншою (у порівнянні з деревним вугіллям) вартістю. Витрата коксу на 1 т передільного чавуну становить 0,6 - 0,9 т, а на 1 т ливарного - 0,7-1,1 т.

Крім сирих матеріалів, при виробництві чавуну велику роль відіграють і допоміжні матеріали: вогнетриви, повітря, вода, кисень, природний газ та пар.

Вогнетривкими матеріалами викладають (футерують) робочий простір доменних печей та повітрянагрівачів, жолоби, ковші, трубопроводи та інші

пристрої. Їхнє призначення полягає в тому, щоб зменшити теплові втрати доменної печі, оберігати кожух печі від впливу високої температури, хімічної дії газів, рідкого чавуну та шлаку.

У великих кількостях доменне виробництво споживає стиснене повітря для технологічних цілей (як дуття) і для приводу в дію різноманітних пневматичних механізмів, що працюють у доменному цеху. Витрата повітря на 1 м<sup>3</sup> обсягу доменної печі становить 2-2,4 нм<sup>3</sup>/хв.

Не менш важлива роль відводиться в доменному виробництві та воді, яка безперервно витрачається у величезних кількостях на технологічні цілі (охолодження чушок на розливальній машині, грануляцію шлаку та тонке очищення газу), а також для охолодження самої доменної печі та обслуговуючих її машин та механізмів. Витрата води на 1 т чавуну становить 20-35 м<sup>3</sup>.

Для підвищення продуктивності доменних печей застосовують дуття, збагачене киснем.

Велика економія коксу, що завантажується в доменні печі, виходить при введенні у дуття природного газу.

Пара в доменному виробництві використовують для зволоження дуття, що вводиться в горн доменних печей, що сприяє підвищенню їх продуктивності. Пара також використовують для ущільнення. Витрата пари на 1 т чавуну становить 50-100 кг.

Велика роль доменному виробництві відводиться електроенергії, витрата якої на 1 т переробного чавуну становить 5-10 кВт-год [1].

### **1.3 Доменний процес**

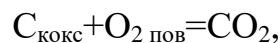
Сутність доменного процесу полягає у перетворенні заліза на рідкий чавун.

Для відновлення заліза і створення високої температури, що доходить до 1700-1900 °С, що необхідно для плавки шихти і отримання рідкого

чавуну, використовують кокс, а порожня порода за допомогою флюсів переходить в шлак.

Доменний процес заснований на взаємодії низхідного потоку шихти та висхідного потоку газів. Шихта, що завантажується зверху через колошник, під дією власної ваги поступово рухається в нижню частину печі - горн, в якому внаслідок спалювання палива звільняється об'єм печі, що безперервно заповнюється зверху плавильними матеріалами. Назустріч шихті, що опускається, подається під тиском через повітряні фурми гаряче повітря, яке, стикаючись з розпеченим до білого коксом, утворює окис вуглецю  $3I$ , що спрямовується з великою швидкістю до колошника печі.

Утворення газу окису вуглецю супроводжується виділенням величезної кількості тепла за реакціями:



і далі



Доменні гази перебувають у печі дуже недовго. Однак за цей час гази роблять велику корисну роботу. Вони прогрівають всю шихту, що знаходиться в печі, і вступають з нею у взаємодію, сприяючи утворенню чавуну та шлаку. Між шихтою та розпеченими газами на різних горизонтах печі при відповідних температурах у кілька етапів протікають фізико-хімічні процеси (рис. 1.6): розкладання плавильних матеріалів I, відновлення оксидів заліза II, знеуглерожування заліза III, плавлення чавуну та шлакоутворення IV.

Поступове розкладання плавильних матеріалів починається з їх надходження в доменну піч. У верхній частині печі температура газів, що виходять, дорівнює  $150-300^\circ\text{C}$ . Під дією цього тепла з коксу видаляється волога, а потім леткі органічні речовини; залізняк також віддає свою вологу. У цій верхній зоні, що має невисоку температуру, відбувається додаткова підготовка сирих матеріалів до плавки – їх просушування.

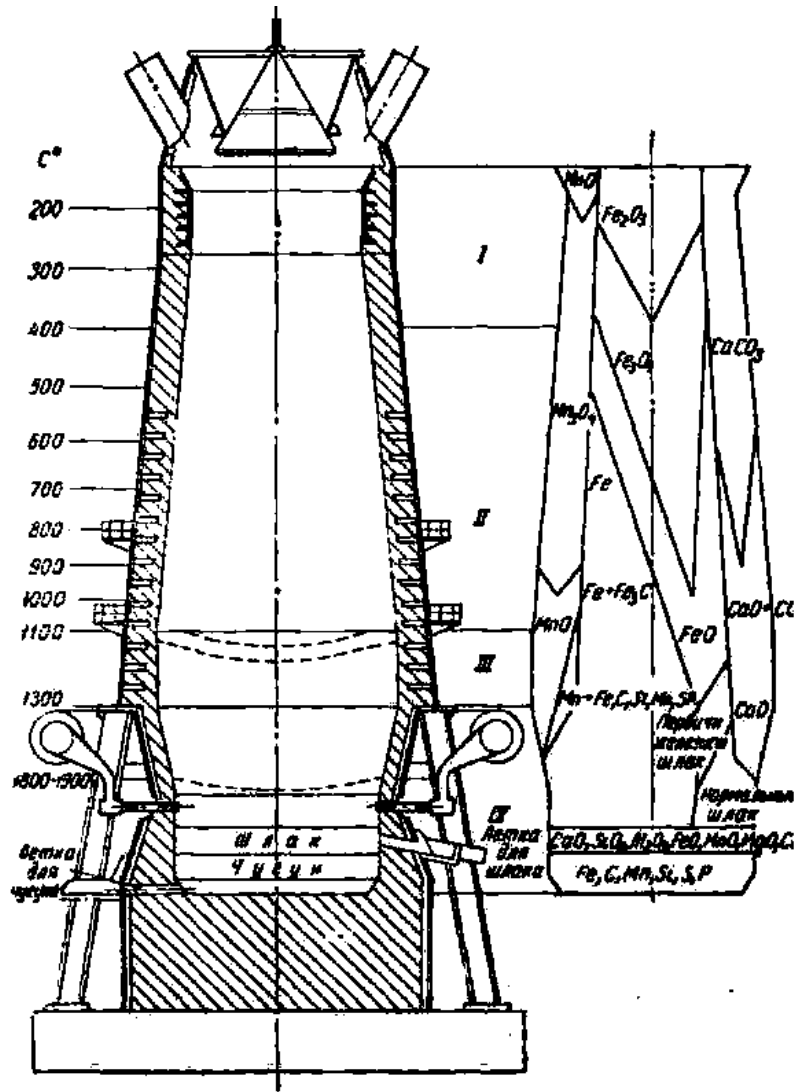
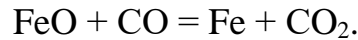
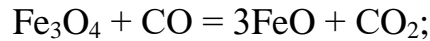
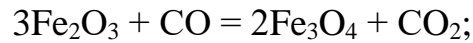


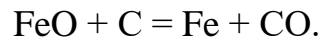
Рисунок 1.6 – Фізико-хімічні процеси в доменній печі

При подальшому просуванні шихти вниз при температурі зустрічного газу 400-450 °C починається відновлення оксидів заліза (тобто відділення кисню від заліза за допомогою вуглецю газу або коксу та частково водню). Основним відновником заліза є вуглець. Цей процес відновлення відбувається у дві стадії, у першій з яких бере участь окис вуглецю, а у другій – твердий вуглець самого коксу.

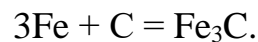
Перша стадія протікає в інтервалі температур 400 - 950 °C у шахті печі. Відновлення руди супроводжується поступовим відібранням від неї кисню в результаті з'єднання його з окисом вуглецю. Цей процес представлений наступними хімічними реакціями:



Однак окис вуглецю здатний відновити лише близько 50% закису заліза FeO. Решта FeO відновлюється в другій стадії твердим вуглецем коксу при температурах 950-1100°C. Цей процес починається в області розпару і закінчується в області заплічників доменної печі:



В результаті відновлення руди утворюється тверде губчасте залізо, температура плавлення якого 1140 ° С. При подальшому опусканні залізо починає науглерожуватися внаслідок взаємодії з вуглецем газу та коксу по реакції:



У процесі науглерожування та поступового переміщення карбїду заліза Fe<sub>3</sub>C в область високих температур, що перевищують його температуру плавлення, відбувається оплавлення шматків металу та поява перших рідких крапель. Це спостерігається при температурі 1250-1300 °С в області розпару або верхній частині заплічників.

Поряд із відновленням заліза відбувається відновлення та інших елементів шихти. Так, більшість марганцю і фосфору, взаємодіючи з окисом вуглецю чи вуглецем коксу, відновлюється і перетворюється на залізо. Відновлення більш стійких оксидів кремнію та сірки відбувається лише частково. Дуже стійкими оксидами є оксиди кальцію, магнію та алюмінію, що входять до складу порожньої породи. Ці оксиди особливо тугоплавки і не



відновлюються при взаємодії з вуглецем або окисом вуглецю, навіть при максимальних температурах у печі. Так, наприклад, температура плавлення окислу алюмінію (глинозему) дорівнює 2050°C, а максимальна температура печі досягає 1900°C. Тому для зниження температури плавлення тугоплавких сполук, їх розкладання та переведення в шлак в піч завантажують кислі або основні флюси.

Утворення рідкого шлаку в печі належить до складних фізико-хімічних процесів.

Як флюси найчастіше застосовують вапняк, який у верхній частині печі проходить випал і розкладається по реакції



внаслідок чого утворюється окис кальцію CaO.

Цей окис вступає в хімічну сполуку з глиноземом, а також частково з кремнієм та сіркою, і переводить їх у шлак. Доменний шлак включає в себе порожню породу шихти, флюси, невідновлені оксиди заліза та оксиди матеріалів футерування печі.

Велике значення шлак має склад чавуну, його температуру і забрудненість шкідливими домішками. Утворення шлаку починається приблизно в нижній частині шахти, а закінчується в області заплічників при температурі більше 1400° С.

Краплі навуглероженого заліза, що стікають у горн печі, ще не є чавуном. Під час перебування в горні сплав заліза з вуглецем зазнає хімічної зміни, що полягає в тому, що до складу сплаву починають входити й інші відновлені оксиди, що не увійшли до шлак. Чавун, що випускається з печі, містить близько 4% вуглецю, більшу частину марганцю, що надійшов у піч, всю кількість фосфору, а також кремній і сірку. Два шари, що утворилися в горні: верхній – шлак і нижній - чавун періодично випускають через шлакові і чавунні льотки [1].

## **1.4 Продукти доменної плавки**

Кінцевими продуктами доменної плавки є чавун і шлак, що випускаються з доменної печі в вогненно-рідкому вигляді, та доменний газ. Чавун, як правило, є основним продуктом доменного виробництва, а шлак та доменний газ – побічними.

Мета доменного виробництва полягає в отриманні чавуну, що є багатокомпонентним сплавом заліза з вуглецем, кремнієм, марганцем, фосфором і сіркою. Залежно від призначення чавуну і від складу шихтових матеріалів, що проплавляються, в ньому може міститися, крім того, ще хром, нікель, ванадій, титан, мідь і миш'як. Зміст основних елементів (C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Cu, As) у чавуні регламентується відповідним ДСТУ або технічними умовами.

Склад чавуну, що отримується в ході доменної плавки, визначається вимогами споживачів та можливостями доменної плавки. При цьому прагнуть підібрати склад шихтових матеріалів і технологічний режим плавки. Усі доменні чавуни за своїм призначенням поділяють на три основні види:

- передільний, призначений для подальшого переділу в сталь;
- ливарний, що використовується після переплаву в чавуноплавильних цехах для виливки чавунних виробів;
- доменні феросплави, що використовуються як розкислювачі або присадки в сталеплавильному та чавуноливарному виробництві.

## **1.5 Фізико-хімічні властивості пилу від ливарного двору**

Найбільше викидів забруднюючих речовин утворюється на ливарному дворі. З моменту початку випуску, джерелом виділень є льотки доменної печі, поблизу льотки споруджено відсмоктування, за допомогою якого відсмоктуються запилені гази. У напрямку руху чавуну від льотки відбувається взаємодія повітря з рідким металом, у результаті утворюються запилені гази.

Система аспірації забезпечує відсмоктування шкідливих виділень безпосередньо від місць їх утворення на ливарному дворі. Уловлюваний пил містить близько 83% оксидів заліза, є також графіт та ін. [1].

Максимальна запиленість аспіраційного повітря, що подається на очищення, утворюється при одночасній роботі всього технологічного обладнання ливарного двору (льотка і скіммер, жолоб чавуну, що хитається, жолоб шлаку, що хитається), скіпової ями і приймальної воронки засипного апарату (конвеєра, перевантажувального вузла). Запиленість аспіраційного повітря по газовідвідному тракту газоочищення представлені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Запиленість аспіраційного повітря по газовідвідному тракту газоочищення

Місце відбору проб	Одиниці вимірів	Значення величин	
		ДП-1	ДП-2
Льотка №1 і скіммер головного жолоба №1	г/нм <sup>3</sup>	0,21÷0,58	0,22÷0,6
Льотка №2 і скіммер головного жолоба №2	г/нм <sup>3</sup>	0,19÷0,56	0,2÷0,58
Жолоб зливу шлаку, що гойдається	г/нм <sup>3</sup>	0,15÷0,28	0,18÷0,3
Жолоб зливу чавуну, що гойдається	г/нм <sup>3</sup>	0,25÷0,61	0,25÷0,6
Перед рукавним фільтром	г/нм <sup>3</sup>	0,82÷0,94	0,84÷0,95
Скипова яма та приймальна воронка засипного апарату доменної печі	г/нм <sup>3</sup>	0,75÷0,93	0,8÷0,9
Після димососу В1.1	г/нм <sup>3</sup>	до 0,02	до 0,02
Після димососу В1.2	г/нм <sup>3</sup>	до 0,02	до 0,02
Після димососу В1.3	г/нм <sup>3</sup>	до 0,02	до 0,02
Після димососу В1.4	г/нм <sup>3</sup>	до 0,02	до 0,02

Середнє значення питомої ваги пилу, що уловлюється в системі очищення аспіраційного повітря системи аспірації ливарних дворів ДП-1,

ДП-2, скіпової ями та приймальної воронки засипного апарату становить  $2,98 \text{ г/см}^3$ .

Дисперсний склад пилу визначається від льоток, жолобів шлаку і чавуну, що гойдаються, ливарних дворів ДП-1 і ДП-2, скіпових ям і прийомних воронок засипних апаратів. Дисперсний склад пилу визначається струменевим сепаратором – імпактором, що ґрунтується на інерційному осадженні зважених частинок.

Дисперсний склад пилу від скіпових ям, приймальних воронок засипних апаратів та ливарних дворів ДП-1 та ДП-2 представлені у табл. 1.2 та 1.3 відповідно.

Таблиця 1.2 – Дисперсний склад пилу від скіпових ям та прийомних воронок засипних апаратів ДП-1, ДП-2

№ п/ч	Розмір частин, мкм	Вміст, %
1	1,3	86,0
2	1,3÷5,2	13,0
3	>5,2	1,0

Таблиця 1.3 – Дисперсний склад пилу від ливарних дворів ДП-1 і ДП-2

№ п/п	Розмір частин, мкм	Вміст, %			
		Перед газоочищенням	Льотка і скіммер	КЖЧ	КЖШ
1	0÷5	5,4	5,6	6,4	4,5
2	5÷10	12,1	8,4	18,6	10,1
3	10÷20	11,6	7,5	18,3	8,6
4	20÷40	15,2	10,0	18,4	17,2
5	40÷60	15,6	18,8	14,1	14,8
6	60÷100	21,3	25,2	10,6	24,8
7	>100	18,8	24,5	13,6	20,0

На очищення пил від ливарних дворів ДП-1 і ДП-2, скіпових ям і приймальних воронки засипних апаратів надходить переважно дрібної фракції. Залишкова запиленість пилогазоповітряної суміші становить до 20 мг/м<sup>3</sup>. Ефективність очищення становить 97,89%.

Хімічний склад пилу, уловленого у процесі очищення аспіраційного повітря ливарного двору ДП-1 і ДП-2, скіпових ям і приймальних воронки засипних апаратів переважно залежить від фізико-хімічних властивостей шихтових матеріалів, що використовуються у технологічному процесі отримання чавуну. Хімічний склад пилу, що міститься в аспіраційному повітрі ливарного двору, що надходить на очищення, представлений у табл.1.4.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад пилу, що міститься в аспіраційному повітрі ливарного двору, що надходить на очищення

Місце відбору проб	Вміст, %										
	S	C	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	ін.
Льотка і скіммер	0,94	4,12	14,24	0,35	4,85	2,32	60,87	2,35	0,08	0,75	9,13
Жолоб чавуну, що гойдається	0,18	3,01	9,96	0,22	5,06	0,49	64,75	7,1	0,03	0,25	8,95
Жолоб шлаку, що гойдається	1,41	5,81	18,0	0,52	9,21	5,53	48,26	1,62	0,11	1,03	8,5
Перед газоочищенням	0,14	4,61	12,2	0,31	6,4	1,2	60,0	6,41	0,07	0,35	8,26

Хімічний склад пилу, що міститься в аспіраційному повітрі скіпової ями та приймальної воронки засипного апарату, представлений у табл. 1.5.

Вловлена з аспіраційного повітря ливарного двору ДП-1 і ДП-2, скіпових ям і приймальних воронки засипних апаратів ДП-1, ДП-2 пил

складається в основному з  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , який є основним складником при виробництві чавуну. Пил після відповідної обробки може бути повторно використаний у виробництві чавуну.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад пилу, що міститься в аспіраційному повітрі скіпової ями та приймальної воронки засипного апарату

Найменування компонентів	$\text{SiO}_2$	$\text{FeO}$	$\text{Fe}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{MnO}$	ін.
Вміст, %	7,0	11,65	58,1	0,22	5,5	0,4	0,78	16,35

Справжня щільність пилу, що міститься в аспіраційному повітрі ливарного двору, представлена в таб. 1.6.

Таблиця 1.6 – Справжня густина пилу, що міститься в аспіраційному повітрі ливарного двору

№ п/п	Місце відбору проб	Одиниці вимірів	Значення величин
1	КЖШ	$\text{г/см}^3$	2,95
2	КЖЧ	$\text{г/см}^3$	3,09
3	Льотка та скіммер	$\text{г/см}^3$	2,8
4	Перед газоочищенням	$\text{г/см}^3$	2,98

Насипна щільність пилу, що міститься в аспіраційному повітрі ливарного двору, представлена в табл. 1.7.

При зливі чавуну та шлаку в пилогазоповітряній суміші містяться також газоподібні речовини: оксид вуглецю ( $\text{CO}$ ); оксиди азоту ( $\text{NO}+\text{NO}_2$ ); диоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ).

Середні значення концентрації газоподібних речовин наведено у табл. 1.8.

Таблиця 1.7 – Насипна щільність пилю, що міститься в аспіраційному повітрі ливарного двору

№ п/п	Місце відбору проб	Одиниці вимірів	Значення величин
1	КЖШ	г/см <sup>3</sup>	0,8
2	КЖЧ	г/см <sup>3</sup>	0,98
3	Льотка і скіммер	г/см <sup>3</sup>	0,89
4	Перед газоочищенням	г/см <sup>3</sup>	0,91

Таблиця 1.8 – Середні значення концентрації газоподібних речовин

№ п/п	Місце відбору проб	Одиниці вимірів	Найменування газоподібних речовин			
			СО	NO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
1	Льотка і скіммер	мг/м <sup>3</sup> при НФУ	80,0	6,2	0,31	12,9
2	Жолоб чавуну, що гойдається	мг/нм <sup>3</sup>	79,4	5,85	0,28	10,5
3	Жолоб шлаку, що гойдається	мг/нм <sup>3</sup>	78,9	6,1	0,295	13,9
4	Після рукавного фільтра	мг/нм <sup>3</sup>	17,13	5,19	0,259	10,2

Найбільша концентрація окису вуглецю спостерігається в момент випуску чавуну і шлаку у льоток і жолобів, що коливаються. При випуску гарячого шлаку з домни сірка реагує з киснем повітря з утворенням сірчистого газу. Сірчистий газ виділяється від шлакових льоток, жолобів і шлаковозів, що гойдаються. Розглянувши вміст шкідливих речовин в аспіраційному повітрі ливарного двору, можна зробити висновки, що викиди газоподібних речовин в атмосферу від ливарних дворів ДП-4 та ДП-5 не перевищують встановлених нормативів (СО – 87 мг/нм<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> – 14,13 мг/нм<sup>3</sup>) [3].

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Способи очищення газів

Технологічні гази та вентиляційне повітря, що видаляється місцевими відсмоктувачами, у більшості випадків містить пил або шкідливі речовини. Якщо такі гази не очищатимуть перед викидом в атмосферу, вони забруднюватимуть повітряний басейн [4, 5].

На ливарному дворі міститься в основному дрібнодисперсний пил, тому для його уловлювання необхідні газоочисні апарати з високим ступенем очищення. Такими апаратами є циклони, скрубери Вентурі, рукавні фільтри та електрофільтри.

Для сепарації частинок пилу із газового потоку в сухих апаратах використовують принципи інерції або фільтрування. У мокрих апаратах це досягається промиванням запиленого газу рідиною або осадженням частинок пилу рідинну плівку. В електрофільтрах осадження відбувається внаслідок повідомлення частинкам пилу електричного заряду. Шкідливі газоподібні компоненти вловлюють в апаратах сорбційного типу.

Найбільше викидів у доменному виробництві утворюється на рудному дворі, бункерній естакаді, ливарному дворі.

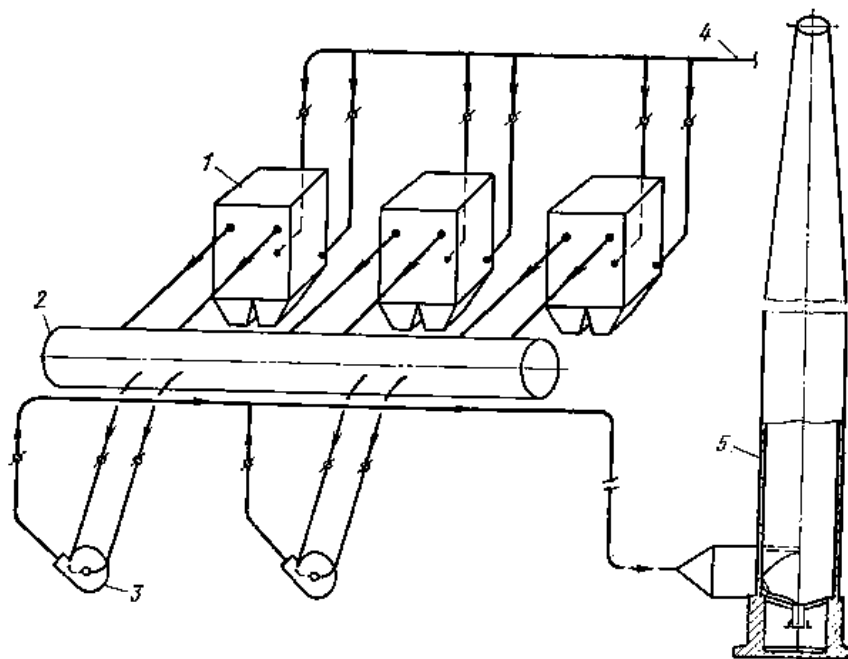
На рудному дворі пил виділяється під час розвантаження вагонів, перевантаження руди грейферними кранами, подачі руди на бункерну естакаду. Питома викид пилу на 1 т чавуну становить орієнтовно: на рудному дворі 50 кг, на бункері естакади 22 кг. Концентрація пилу на рудному дворі та бункерній естакаді може досягати 1000 мг/м<sup>3</sup>.

Пил у підбункерному приміщенні виділяється під час роботи вагон-ваг, гуркотів, лебідок та інших механізмів, а також при транспортуванні матеріалів. Крім того, пил, що вибивається через вікна та отвори для скіпів, при скіповій подачі сирих матеріалів на колошник та з труб аспіраційних систем. Найбільша кількість пилу в підбункерному приміщенні виділяється



там, де відбувається вивантаження сирих матеріалів за допомогою транспортерів, дозування вагон-вагами та подача їх у скіп. Концентрація пилу при роботі вагон-ваг становить близько  $10 \text{ г/м}^3$ .

Для очищення аспіраційного повітря підбункерних приміщень від пилу використовуються різні схеми очищення. Так, на ряді металургійних заводів знайшла застосування двоступінчаста схема з використанням як перший ступінь батарейних циклонів, встановлених до димососів, а як другий — мокрих пилоловлювачів відцентрового типу, що встановлюються після димососів перед витяжною трубою або поєднаних з нею (рис. 2.1).



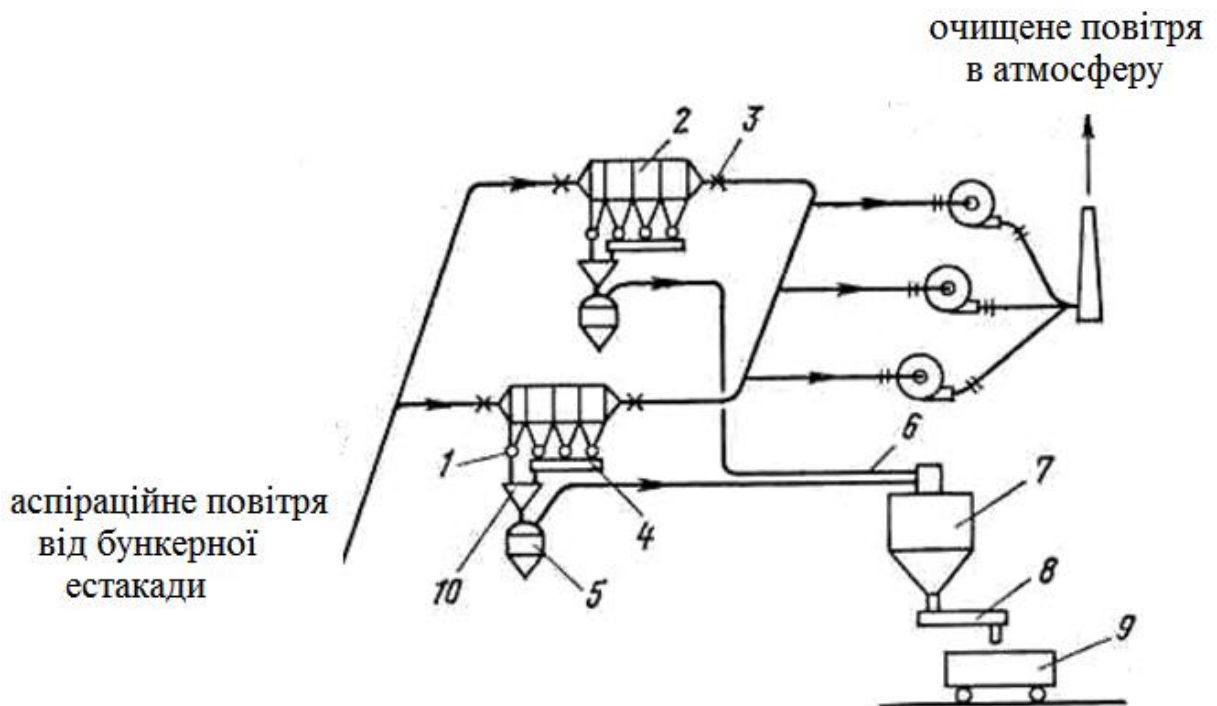
1 – батарейний циклон; 2 – колектор; 3 – димосос; 4 – від бункерної естокади; 5 – димова труба

Рисунок 2.1 – Схема очищення аспіраційного повітря підбункерного приміщення доменних печей із застосуванням батарейних циклонів

Широке застосування знаходить очищення аспіраційного повітря підбункерного приміщення в одноступінчастих схемах з Вентурі трубами і встановленими після них краплеуловителями. Пилоуловлювальні апарати при

цьому захищають антикорозійним покриттям. Шлам після труб Вентурі прямує в краплеуловлювач і через клапан-мигалку зливається в шламовий лоток, а потім самопливом надходить у шламовий відстійник доменного цеху.

На нових металургійних заводах у підбункерних приміщеннях розвантаження та транспортування сипучих матеріалів проводять у закритих розвантажувальних вузлах та закритих галереях з об'єднанням аспіраційних систем та очищенням запиленого повітря у сучасних електрофільтрах (рис. 2.2). Суха схема очищення дозволяє відмовитися від складної та громіздкої системи водопостачання та шламового господарства та створює можливість повернення уловленої пилу у виробництво.

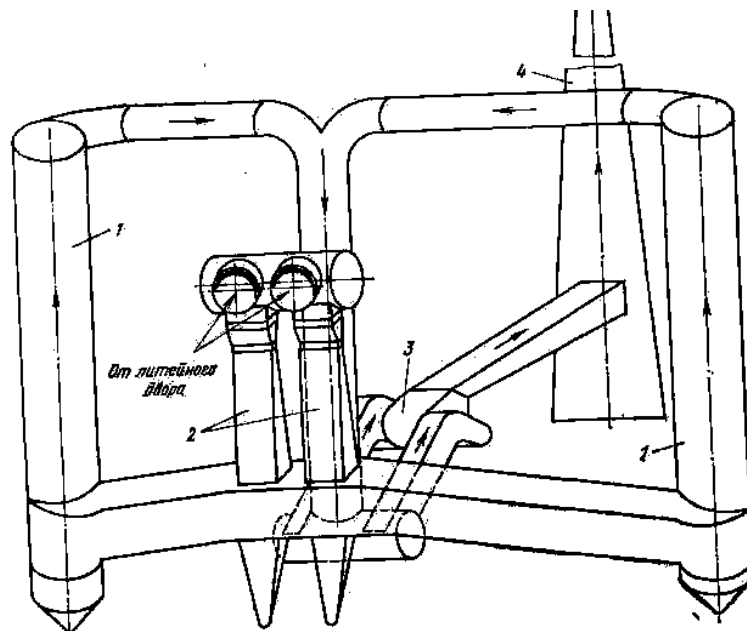


1 – живильник шлюзовий; 2 – електрофільтри УГЗ; 3 – клапани МВН;  
4 – конвеєр; 5 – камерний насос; 6 – труби пневмотранспорту; 7 – збірний бункер пилу; 8 – зволожувач пилу; 9 – залізничний вагон; 10 – проміжний бункер

Рисунок 2.2 – Схема очищення аспіраційного повітря підбункерного приміщення доменних печей із застосуванням електрофільтрів

На ливарному дворі пил та гази виділяються в основному від льоток чавуну та шлаку, жолобів та ділянок зливу та ковшів. Максимальна кількість пилу та газів викидається під час випусків чавуну та шлаку. Середня концентрація пилу (орієнтовно) у період випуску становить  $150-1500 \text{ мг/м}^3$ . Найбільш високі концентрації спостерігаються над головним жолобом та ковшем для чавуну. Пил та газы видаляються через ліхтарі будівлі, а частково за допомогою аспіраційних систем проходять очищення перед викидом в атмосферу.

На деяких металургійних заводах для очищення аспіраційних викидів ливарних цехів встановлені труби Вентурі з краплеуловлювачами (рис. 2.3).



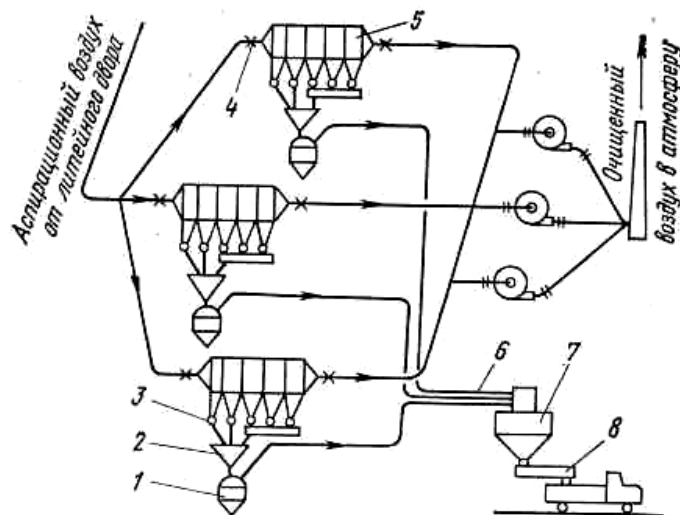
1 – скрубер-каплевіддільвач; 2 – труби Вентурі; 3 – вентилятор; 4 – димова труба

Рисунок 2.3 – Схема очищення аспіраційного повітря ливарного двору доменної печі із застосуванням труб Вентурі

Однак мокрі пиловловлювачі мають недоліки, основні з яких такі: значні витрати енергії при високих коефіцієнтах очищення; отримання уловленого продукту у вигляді шламу, що ускладнює та подорожчає його

подальше використання; необхідність організації оборотного циклу водопостачання – відстійники, що перекачують насосні, охолоджувачі тощо; корозійне зношування обладнання та газопроводів при очищенні газів, що містять агресивні компоненти; погіршення умов розсіювання пилу та шкідливих газів, що викидаються через димові труби в повітряний басейн, та ін.

Останнім часом у зв'язку зі збільшенням обсягу доменних печей там, де дозволяють виробничі площі заводів, прагнуть до того, щоб усі викиди ливарного двору об'єднати і направити на очищення в сучасні електрофільтри (рис. 2.4), що здійснюють пиловловлення з ефективністю 99% і вище що значно спрощують повернення уловленої пилу у виробничий цикл. Однак установки з використанням електрофільтрів займають великі виробничі площі, металомістки та вимагають великих капітальних витрат на спорудження. Крім того, обов'язковою умовою ефективної роботи електрофільтрів є дотримання розрахункових параметрів пилогазового потоку та режимів регенерації електродів, встановлених при налагодженні апарату.



1 – камерний насос, 2 – проміжний бункер; 3 – живильник шлюзовий; 4 – засувка; 5 – електрофільтр; 6 – пневмотранспорт; 7 – збірний бункер; 8 – зволожувач пилу

Рисунок 2.4 – Схема очищення аспіраційного повітря ливарного двору доменної печі із застосуванням електрофільтрів

Доменний, або колошниковий газ, який, як зазначалося вище, є побічним продуктом доменного виробництва, широко використовується на металургійних заводах. Температура доменного газу на виході з печі зазвичай становить 300-350°C. Склад та основні характеристики доменного газу залежать від складу шихти та ходу плавки і можуть значною мірою змінюватись. Доменний газ завжди забруднений колошниковим пилом, який є сумішшю дрібних частинок руди, коксу, агломерату, вапняку та інших матеріалів, що завантажуються в доменну піч. Пил утворюється в результаті механічного подрібнення матеріалів при їх приготуванні, транспортуванні, завантаженні та стиранні при русі в шахті печі.

Винос пилу з печі обумовлений захопленням дрібних частинок потоком газу, що проходить крізь шар шихти, а також сублімацією деяких елементів шихти в області високих температур і підмішування повітря до газопилової суміші. При роботі печей із нормальним тиском на колошнику винос пилу становить 50 - 60 г/м<sup>3</sup>, підвищуючись в окремих випадках до 100 г/м<sup>3</sup>. У разі роботи при підвищеному тиску (понад 19,6 кПа) запиленість доменного газу зменшується до 15-20 г/м<sup>3</sup>, що значною мірою пояснюється зниженням питомих обсягів та швидкостей газу в печі.

Так як доменний газ широко використовується на металургійних заводах в основному як паливо, його споживачі (кокові печі, пальники доменних повітрянагрівачів та ін) вимагають високого ступеня очищення від пилу (не більше 10 мг/м<sup>3</sup>). Останнім часом у зв'язку з широким впровадженням на заводах чорної металургії газорозширювальних станцій, які використовують енергію доменного газу для вироблення електроенергії в газових утилізаційних безкомпресорних турбінах (ГУБТ), вимоги до ефективності очищення доменного газу від пилу ще більше зросли. Крім того, економічно доцільно використовувати весь перепад тиску доменного газу в ГУБТ і у зв'язку з цим для тонкого очищення застосовувати апарати, що працюють із малою втратою тиску.

Тому все більш поширеною схемою очищення доменного газу стає

багатоступінчаста, в якій газ після печі надходить спочатку в сухий пиловловлювач (наприклад, циклон), де відбувається грубе очищення від пилу, після чого вміст пилу в газі становить 3-10 г/м<sup>3</sup>. Потім проводиться напівтонке очищення газу в апаратах мокрого типу – форсункових порожнистих скруберах і трубах Вентурі, що дозволяє очистити газ до концентрації пилу в ньому 0,6-1,6 г/м<sup>3</sup>. Тонку очищення газу здійснюють у мокрому електрофільтрі. У зв'язку з тим що за технічними умовами температура доменного газу, що надходить до ГУБТ, повинна бути 100-200°C, а в процесі мокрого очищення температура газу знижується до 30-40°C, перед подачею очищеного газу в турбіну доводиться знову його підігрівати, спалюючи для цього частина газу. Тому актуальним є вирішення проблеми сухого очищення доменного газу, за якої він надходив би до ГУБТ із необхідною температурою; тоді витрати газу на підігрів, а також необхідне для підігріву обладнання виявляться непотрібними [5].

На комбінаті «Запоріжсталь» на даний момент у доменному цеху існує кілька систем очищення.

1. Газоочищення аспіраційної системи бункерної естокади, скіпової ями та приймальної воронки засипного апарату доменної печі № 2 (рис. 2.5).
2. Установка для очищення повітря на доменній печі № 5 від місць зливу шлаку в ковші (рис. 2.6).

Запилене повітря відсмоктується вентилятором млинового типу ВМ-20А і перед викидом в атмосферу проходить очищення в двох циклонах СКЦН-34  $d = 360$  мм. Очищене повітря викидається в атмосферу через трубу  $d = 4,0$  м і  $H = 60$  м загальну із системою аспірації бункерної естокади. З бункера циклонів уловлений пил видаляється періодично шляхом місцевого включення шлюзового живильника.

Відсмоктувачі аспіраційної системи обладнані відсічними електрифікованими клапанами УМТ-2-2,5. Перемикання клапанів зблоковано з роботою жолобів, що хитаються, забезпечуючи одночасну роботу тільки одного відсмоктування.

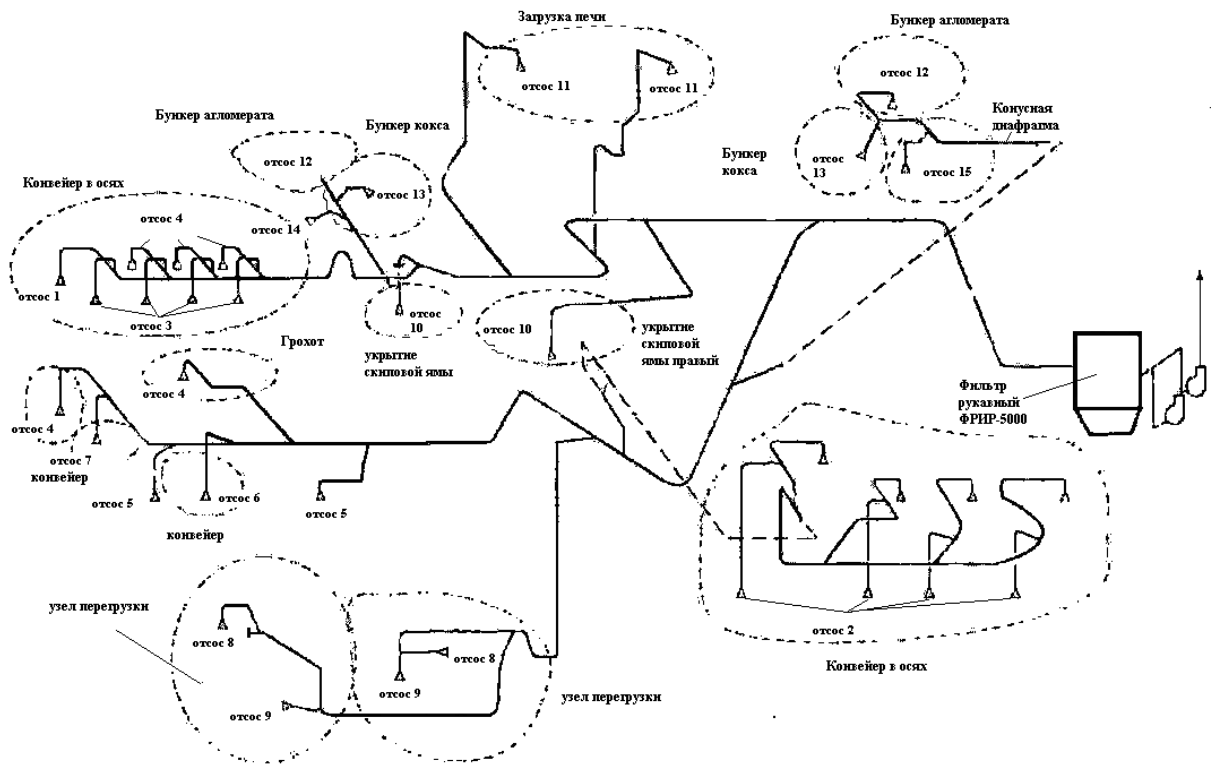


Рисунок 2.5 – Схема аспіраційної системи підбункерних приміщень, скіпової ями та приймальної воронки ДП-2.

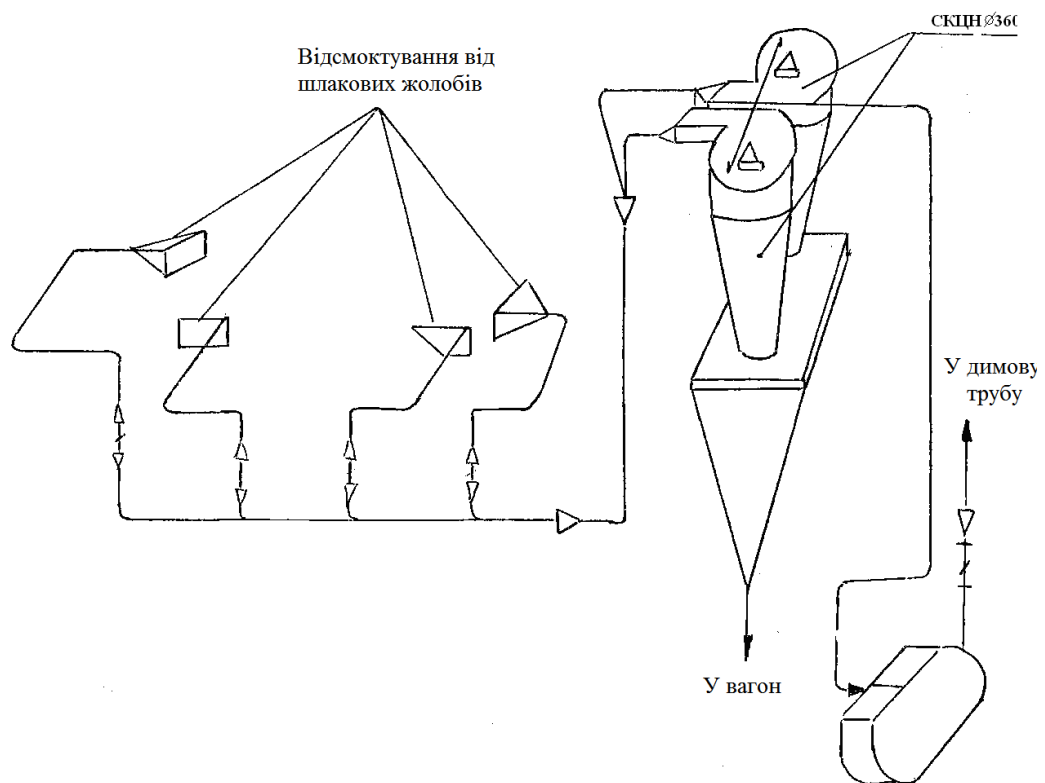


Рисунок 2.6 – Схема аспіраційної системи місць зливу шлаку

3. Аспіраційна система від укриттів технологічного обладнання підбункерного приміщення ДП-5 (рис 2.7).

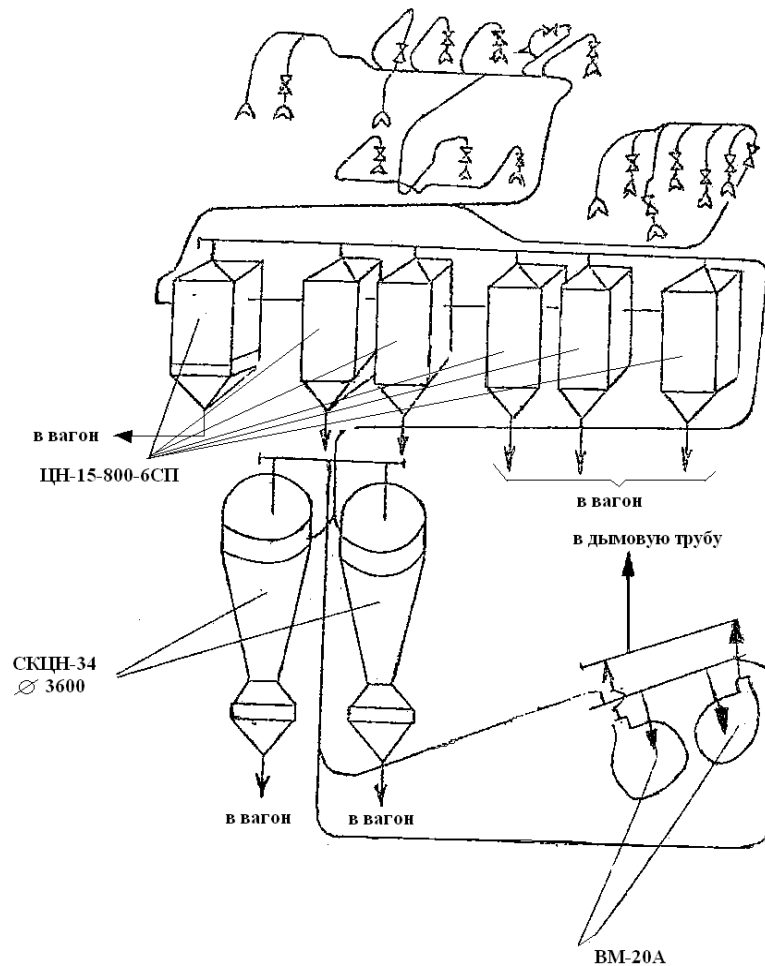


Рисунок 2.7 – Аспіраційна система від укриттів технологічного обладнання підбункерного приміщення ДП-5

Запилене повітря відсмоктується від тракту подачі шихти та проходить двоступінчасте очищення.

Як перший ступінь встановлено 6 груп циклонів ЦН-15-800-6СП в кількості 6 шт. у кожній групі.

В якості другої ступінь встановлено 2 спірально-конічні циклони СКЦН  $d = 3600$  мм. Далі очищене повітря надходить у загальний колектор від лівої та правої сторони, з якого відсмоктується млиновими вентиляторами та викидається в атмосферу через димову трубу  $d = 4,0$  м та  $H = 60$  м.



В якості відсмоктувальних пристроїв встановлено 2 млинових вентилятора (один працює, один – у резерві) типу ВМ-20А.

4. Газоочисне встановлення системи аспірації ливарних дворів ДП-2, ДП-3, скіпової ями, приймальної воронки засипного апарату конуса печі ДП-3 доменного цеху (рис. 2.8).

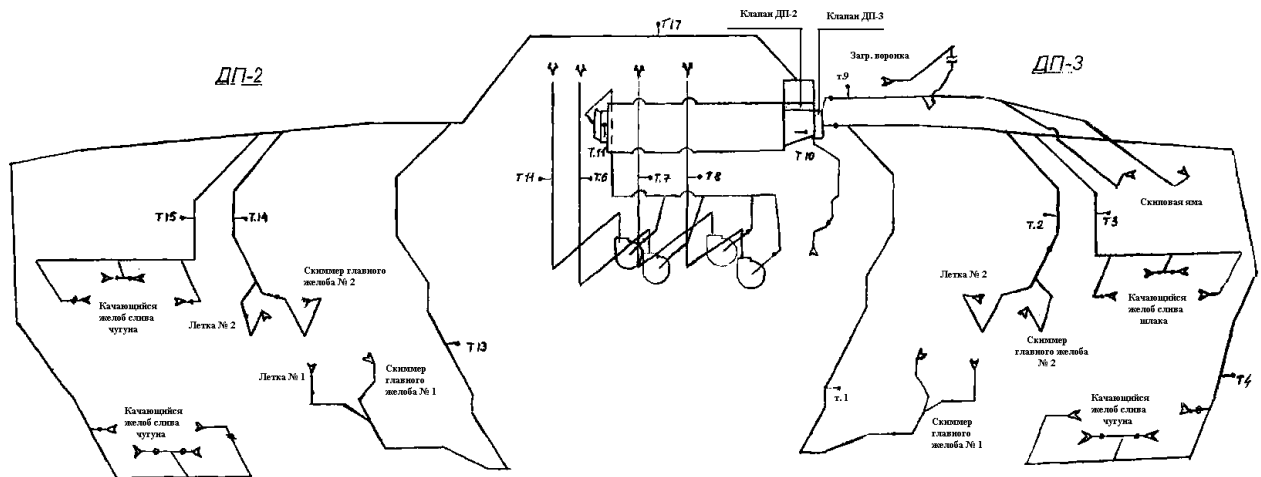


Рисунок 2.8 – Схема аспіраційної системи ливарного двору, скіпової ями та приймальної воронки засипного апарату ДП-2 і ДП-3

Розглянувши існуючі способи очищення газів, можна зробити висновки, що найбільш ефективними є очищення аспіраційного повітря в рукавному фільтрі та електрофільтрі. Аспіраційне повітря, відібране безпосередньо на ливарному дворі, в основному містить графітовий пил. Графітовий пил має високий питомий електричний опір, через який погіршується ступінь очищення в електрофільтрі, оскільки він добре вловлює пил з низьким та середнім питомим електричним опором. Також електрофільтр потребує постійного режиму роботи. Мокра система очищення має також ряд недоліків, таких як додаткове шламове господарство, уловлений пил не утилізується, надто енергоємний (10-12 кПа).

На підставі вищевикладеного в даному дипломному проекті використовується як газоочисний апарат рукавний фільтр, який має ефективність очищення від пилу 99,9 % [6].

## 2.2 Опис аспіраційної системи

Кваліфікаційною роботою аспірації ливарного двору, скіпової ями та приймальної воронки засипного апарату передбачено відбір запиленних газів від наступних місць їх утворення: лютка № 1, головний жолоб, скімер; лютка № 2, головний жолоб, скімер; качаючі жолоби та ковші чавуну; качаючі жолоби та ковші шлаку; скіпова яма; приймальна воронка засипного апарату.

Схема аспіраційної системи ливарного двору, скіпової ями та приймальної воронки засипного апарату ДП-1 та ДП-2 представлена на рис. 2.9.

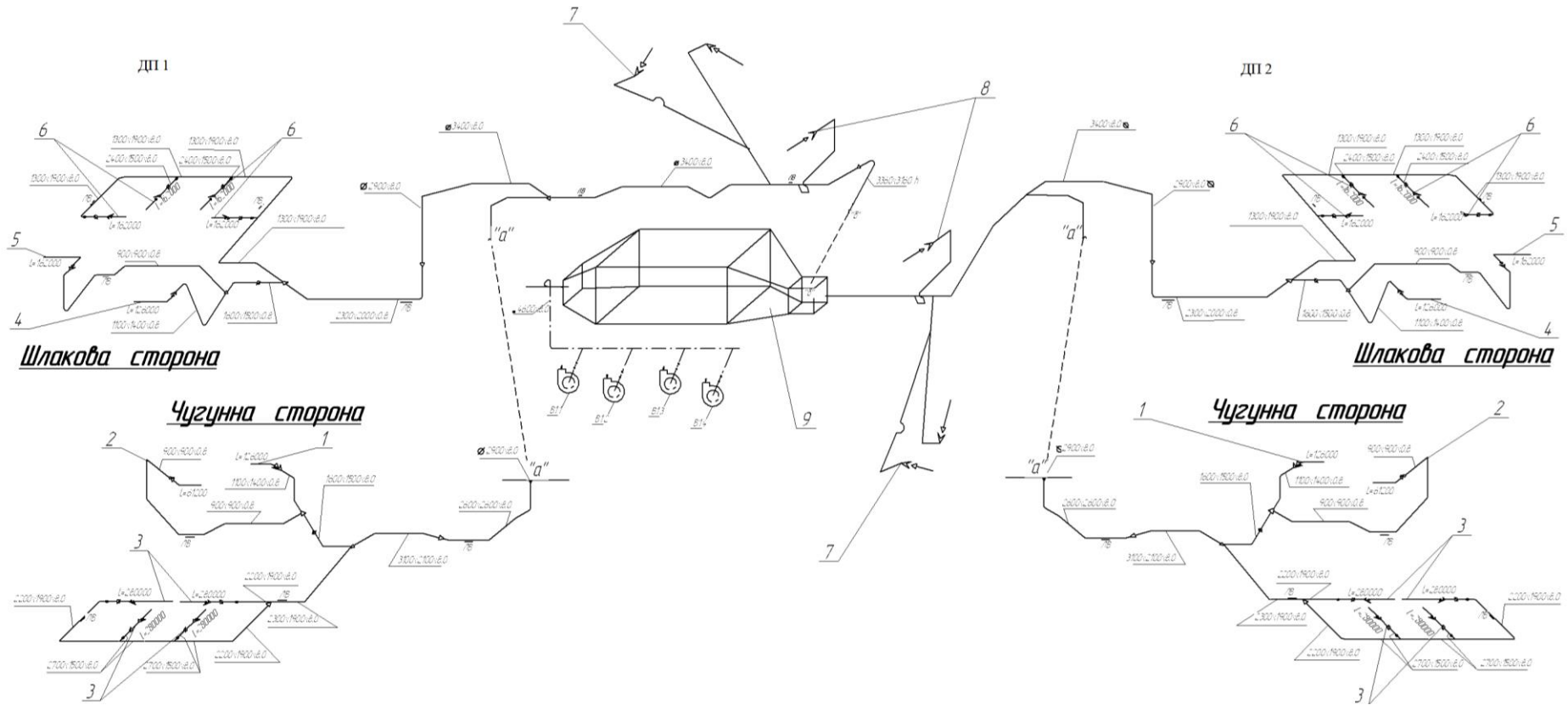
Система аспірації забезпечує відсмоктування шкідливих виділень безпосередньо від місць їх утворення на ливарному дворі. Уловлюваний пил містить близько 83% оксидів заліза, є також графіт та ін.

З моменту початку випуску, джерелом виділень є лютки доменної печі, поблизу лютки споруджено відсмоктування, за допомогою якого відсмоктовуються запилені гази. У напрямку руху чавуну від лютки відбувається взаємодія повітря з рідким металом, у результаті утворюються запилені гази.

Для запобігання виділенню запиленних газів у простір ливарного двору головний жолоб від лютки до скімера на період випуску чавуну накриваються знімними укриттями. Наприкінці головного жолоба на скімері відбувається поділ чавуну та шлаку.

Гази, що утворилися при цьому, відбираються відсмоктуванням в районі скімера. Чавун і шлак по транспортних жолобах направляється на жолоби, що качають, для чавуну і шлаку. Отвори цих жолобів укріті рухомими кришками. З качаючих жолобів продукти плавки потрапляють у чавуновозні та шлакові ковші.

Простір хитних жолобів є найбільшим джерелом газів і вимагає відсмоктувати більшу кількість газів. Відсмоктування від хитних жолобів проводиться двома забірними отворами, виконаними в стінках отвору.



1 – лъотка №1, 2 – скіммер головного жолоба; 3 – жолоби зливу чавуну, що гойдаються; 4 – лъотка №2; 5 – скіммер головного жолоба №2; 6 – жолоби зливу шлаку, що гойдаються; 7 – скіпова яма; 8 – завантажувальна воронка; 9 – рукавний фільтр

Рисунок 2.9 – Схема системи аспірації ливарного двору, скіпової ями та приймальної воронки

Приймальна воронка завантажувального пристрою та скіпова яма обладнані відповідно укриттями з аспіраційними відсмоктувачами.

Від укриттів аспіраційне повітря направляєється в два збірні газоходи (колектори):

– від скіпової ями та приймальної воронки завантажувального пристрою - до колектора Ду 1800 мм з подальшим переходом у газохід 1580×1580 мм;

– від чавунних і шлакових льоток, жолобів зливу чавуну, шлаку, скіммерів льоток, що гойдаються, - в колектор Ду 3600 мм, до вхідного колектора змінного перерізу рукавного фільтра.

За вказаними газоходами аспіраційне повітря подається на очищення рукавного фільтра. Очищений газ з фільтра по загальному газоходу направляєється в колектор роздавальний і потім на всмоктування димососів.

Викид газів в атмосферу індивідуальний для кожного з димососів через димові труби [3].

### 2.3 Аеродинамічний розрахунок (I-VIII розрахункові ділянки)

Схема газовідвідного тракту представлена на рис. 2.10. Розбиваємо тракт на розрахункові ділянки. Розрахунковим вважається ділянка, на якій витрати газу та поперечний розмір газоходу незмінні. Таких ділянок, включаючи фільтр рукав, чотирнадцять.

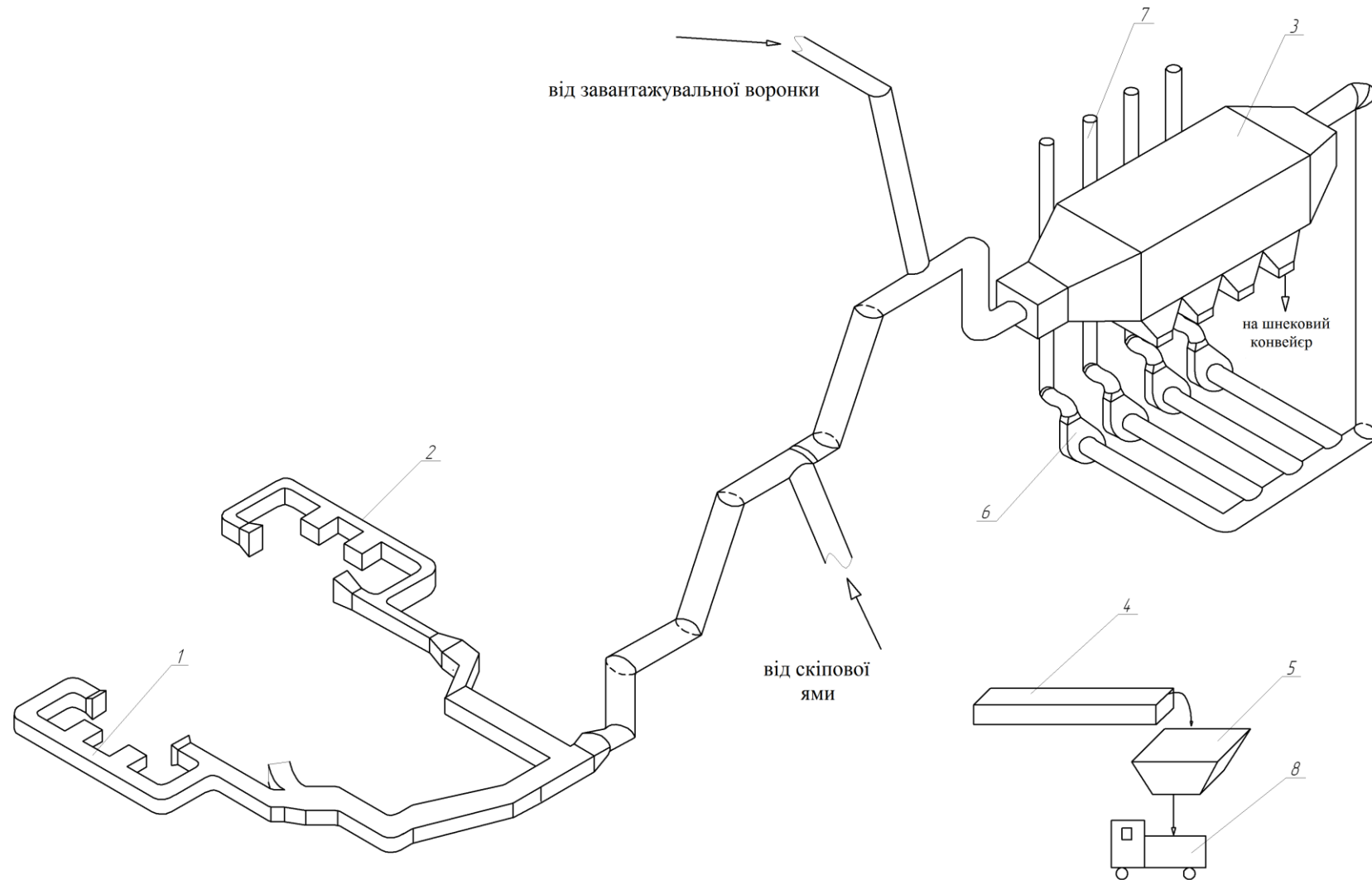
У таблиці 2.1 подано довжини ділянок.

Динамічний коефіцієнт в'язкості окремих компонентів продуктів згоряння при середній температурі на розрахунковій ділянці та динамічну в'язкість газової суміші визначаємо за формулами:

$$\eta_i = \eta_{0i} \cdot \left( \frac{273 + \tilde{n}'_i}{273 + t_a + c'_i} \right) \cdot \left( \frac{273 + t_2}{273} \right)^{1,5}, \quad (2.1)$$

де  $c'_i$  – константа Сезерленда;

$\eta_{0i}$  – динамічна в'язкість для окремих компонентів газової суміші при НФУ.



1 – чавунна сторона; 2 – шлакова сторона; 3 – рукавний фільтр; 4 – шнековий конвеєр; 5 – бункер-накопичувач; 6 – димосос; 7 – димова труба; 8 – транспортний засіб для пилу

Рисунок 2.10 – Аеродинамічна схема газовідвідного тракту

Таблиця 2.1 – Довжини розрахункових ділянок

Номер розрахункової ділянки	Розрахункова ділянка	Довжина ділянки $l_i$ , м
I	Від витяжної шахти до трійника (злиття потоків під кутом $90^0$ )	$l_1 = 4,4+8,9+6,7=20$
II	Від трійника (злиття потоків) до трійника (злиття потоків під кутом $90^0$ )	$l_2 = 8,2$
III	Від трійника (злиття потоків кутом $90^0$ ) до трійника (злиття потоків під кутом $90^0$ )	$l_3 = 5,25+10,05=15,3$
IV	Від трійника (злиття потоків) до трійника (злиття потоків під кутом $90^0$ )	$l_4 = 9,9$
V	Від трійника (злиття потоків) до трійника (злиття потоків під кутом $90^0$ )	$l_5=4,2+8+10=22,2$
VI	Від трійника зі зміною перетину (злиття потоків) до трійника (злиття потоків під кутом $90^0$ )	$l_6 = 90$
VII	Від трійника (злиття потоків) до трійника (злиття потоків під кутом $90^0$ )	$l_7 = 10$
VIII	Від трійника (злиття потоків) до трійника (злиття потоків під кутом $90^0$ )	$l_8 = 20$
IX	Рукавний фільтр	
X	Від рукавного фільтра до трійника (поділу потоку під кутом $90^0$ )	$l_{10} = 5+20+20=45$
XI	Від трійника (розподіл потоку) до трійника (розподіл потоку під кутом $90^0$ )	$l_{11}=5$
XII	Від трійника (розподіл потоку) до трійника (розподіл потоку під кутом $90^0$ )	$l_{12}=5$
XIII	Від трійника (поділ потоку) до димососу	$l_{13}=5+15+5=20$
XIV	Від димососу до димової труби	$l_{14}=5$

Молярна маса газової суміші дорівнює:

$$M = \frac{1}{100} \sum a_i \cdot M_i, \quad (2.2)$$

де  $M_i$  – молярна маса окремих компонентів газової суміші,

$a_i$  – об'ємний вміст окремих компонентів газової суміші, %.

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{100} \times (a_{O_2} \times M_{O_2} + a_{N_2} \times M_{N_2} + a_{CO} \times M_{CO} + a_{CO_2} \times M_{CO_2} + a_{H_2O} \times M_{H_2O}) = \\
 &= \frac{1}{100} (99,993 \times 29,0 + 0,0064 \times 28 + 0,0004 \times 30 + 0,00002 \times 46 + 0,0004 \times 64) = \\
 &= 29,64 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}.
 \end{aligned}$$

Динамічну в'язкість газової суміші визначаємо за виразом:

$$\frac{M}{\eta} = \sum \frac{a_i \cdot M_i}{\eta_i}.$$

Звідси:

$$\eta = \frac{M}{M/\eta}.$$

Результати розрахунку зводимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта кінематичної в'язкості на розрахункових ділянках

Номер ділянки	Середня температура а на розрахунковій ділянці, °С	$M/\eta = \sum(a_i \times M_i)/\eta \times 10^6$	Динамічний коефіцієнт в'язкості $\times 10^6$ , Па·с						суміші
			Компонентів						
			повітря	CO	NO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>		
1	24	1,577	18,39416	17,70057	18,64253	13,29174	12,63891	18,795	
2	24	1,577	18,39416	17,70057	18,64253	13,29174	12,63891	18,795	
3	24	1,577	18,39416	17,70057	18,64253	13,29174	12,63891	18,795	
4	24	1,577	18,39416	17,70057	18,64253	13,29174	12,63891	18,795	
5	33	1,543	18,79264	18,10187	19,05895	13,69571	13,02336	19,209	
6	38	1,525	19,01138	18,32226	19,28761	13,91885	13,23573	19,436	
7	37,4	1,528	18,98523	18,29591	19,26028	13,89212	13,21029	19,398	
8	34,5	1,538	18,85846	18,16818	19,12775	13,76275	13,08716	19,272	
9	34,5	1,538	18,85846	18,16818	19,12775	13,76275	13,08716	19,272	
10	23	1,580	18,34950	17,65561	18,59587	13,24667	12,59603	18,759	
11	23	1,580	18,34950	17,65561	18,59587	13,24667	12,59603	18,759	
12	23	1,580	18,34950	17,65561	18,59587	13,24667	12,59603	18,759	
13	23	1,580	18,34950	17,65561	18,59587	13,24667	12,59603	18,759	
14	23	1,580	18,34950	17,65561	18,59587	13,24667	12,59603	18,759	

Сумарні втрати тиску (енергії 1м<sup>3</sup> газу)  $\Delta p$  складаються із втрат тиску на тертя за довжиною (лінійні втрати)  $\Delta p_{mp}$  та втрат тиску на окремих місцевих опорах  $\Delta p_m$ .

$$\Delta p = \Delta p_{mp} + \Delta p_m = \sum_{i=1}^m \Delta p_{mp\ i} + \sum_{i=1}^m \Delta p_{m\ i}, \quad (2.3)$$

де  $i$  – номер розрахункової ділянки;

$m$  – кількість розрахункових ділянок;

Втрати тиску на тертя за довжиною розрахункової ділянки визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха, Па:

$$\Delta p_{mp} = \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_{ei}} \cdot \rho_{iz} \cdot \frac{v_i^2}{2}, \quad (2.4)$$

де  $\lambda_i$  – коефіцієнт гідравлічного тертя на ділянці;

$l_i$  – довжина розрахункової ділянки, м;

$d_{ei}$  – еквівалентний діаметр трубопроводу ділянки. Для круглого трубопроводу еквівалентний діаметр дорівнює діаметру трубопроводу  $d_{ei}=d_i$ ;

$\rho_{zi}$  – густина газу на ділянці, кг/м<sup>3</sup>;

$v_i$  – середня швидкість на ділянці, м/с.

Визначаємо режим руху газу на розрахункових ділянках. Для цього розраховуємо число Рейнольдса та порівнюємо отримані значення з критичним. Приймаємо значення критичного числа Рейнольдса рівним 2320 ( $Re_{кр} = 2320$ ).

Число Рейнольдса визначаємо за формулою [5]:

$$Re_i = \frac{v_i \cdot d_{ei} \cdot \rho_{zi}}{\eta_i}. \quad (2.5)$$

У разі руху газу в турбулентному режимі необхідно визначити зону (область) опору, чисельною характеристикою якої є критерій турбулентності [5]

$$Re_i \cdot \frac{k_{ei}}{d_{ei}}, \quad (2.6)$$

де  $k_{ei}$  – абсолютна еквівалентна шорсткість стінок трубопроводу.

Трубопровід чавунний новий. Для таких труб абсолютна еквівалентна шорсткість  $k_s = 0,3 \cdot 10^{-3}$  м [5].



Якщо значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{\text{Re}_i} + \frac{k_e}{d_i} \right)^{0,25}, \quad (2.7)$$

Втрати тиску на місцевих опорах визначаємо за формулою Вейсбаха, Па:

$$\Delta p_m = \sum \zeta_i \times \rho_{2i} \times \frac{v_i^2}{2}, \quad (2.8)$$

де  $\zeta_i$  – коефіцієнт місцевого опору.

Значення  $\zeta$  для окремих видів місцевих опорів приймаємо відповідно до [6]. Види місцевих опорів на розрахункових ділянках та значення коефіцієнтів місцевих опорів наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення коефіцієнтів місцевих опорів

Номер ділянки	Вид місцевого опору	Кількість опорів	Коефіцієнт місцевого опору $\zeta$
1	2	3	4
1	Дифузор $\alpha=18^\circ$	1	0,04
	Секційне коліно, $\alpha=90^\circ$	1	0,38
	Дросель-клапан $\alpha=10^\circ$ ,	1	0,3
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_1$ на расчётном участке		0,720
2	Тройник $90^0$ (слияние потоков)	1	0,55
	Суммарный коэффициент сопротивления $\sum \zeta_2$ на розрахунковій ділянці		0,55
3	Трійник $90^0$ (злиття потоків)	1	0,55
	Складове коліно $90^0$	1	0,38
	Трійник $90^0$ зі зміною перерізу (розподіл потоків)	1	0,35
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_3$ на розрахунковій ділянці		1,28

1	2	3	4
4	Трійник 90° (злиття потоків)	1	0,55
	Поворот на 125°	1	0,28
	Дифузор $\alpha=16^\circ$	1	0,04
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_4$ на розрахунковій ділянці		0,870
5	Поворот на 125°	1	0,28
	Трійник 90° (злиття потоків)	1	0,574
	Поворот на 15°	1	0,04
	Складове коліно 90°	1	0,38
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_6$ на розрахунковій ділянці		1,274
6	Дифузор	1	0,34
	Поворот 90°	2	0,5
	Поворот на 120°	2	0,575
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_7$ на розрахунковій ділянці		2,150
7	Трійник 90° (злиття потік)	1	0,566
	дифузор	1	0,34
	Поворот на 120°	2	0,575
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_8$ на розрахунковій ділянці		2,056
8	Трійник 90° (злиття потік)	1	0,593
	Поворот на 90°	1	0,5
	Вхід у рукавний фільтр	1	0,34
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_9$ на розрахунковій ділянці		1,473
10	дифузор	1	0,1
	Поворот 90°	3	0,5
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_{10}$ на розрахунковій ділянці		1,6
11	конфузор	1	0,04
	Трійник 90°(поділ потоку)	1	0,09
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_{11}$ на розрахунковій ділянці		0,13
12	конфузор	1	0,04
	Трійник 90°(поділ потоку)	1	0,43
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_{12}$ на розрахунковій ділянці		0,47
13	конфузор	1	0,04
	Трійник 90°(поділ потоку)	1	0,45
	Поворот на 90°	2	0,5
	Вхід у димосос	1	0,5
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_{13}$ на розрахунковій ділянці		1,99
14	конфузор	1	0,1
	Вхід у димову трубу	1	0,7
	Сумарний коефіцієнт опору $\sum \zeta_{14}$ на розрахунковій ділянці		0,8

Визначаємо щільність газу за нормальних фізичних умов (НФУ).

$$\rho_{0z} = \frac{1}{100} \sum a_i \cdot \rho_{oi}, \quad (2.9)$$

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

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

Склад газу за даними підприємства та щільності компонентів газової фази за нормальних фізичних умов (НФУ) [5] наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Хімічний склад газу та значення щільності  $\rho_o$  при НФУ

Компонент	Повітря	СО	NO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Об'ємний зміст, % об.	99,993	0,0064	0,00045	0,00002	0,0004
Щільність газу при НФУ, кг/м <sup>3</sup>	1,293	1,25	1,34	1,491	2,926

$$\rho_{0z} = \frac{1}{100} \cdot (99,993 \cdot 1,293 + 0,0064 \cdot 1,25 + 0,00045 \cdot 1,34 + 0,00002 \cdot 1,491 + 0,0004 \cdot 2,926) = 1,293 \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$$

**I розрахункова ділянка.** Щільність газу на розрахунковій ділянці за робочих умов дорівнює, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_{z1} = \rho_{0z} \cdot \left( \frac{273}{273 + t_{z1}^0} \right) \cdot \frac{(p_{бар} \pm p_{z1})}{101,3} = 1,293 \cdot \frac{273}{(273 + 24)} \cdot \frac{(99,4 - 0,2)}{101,3} = 1,164.$$

Витрата газу на розрахунковій ділянці за робочих умов дорівнює:

$$Q_{p1} = Q_{01} \cdot \frac{(273 + \overline{t_{z1}^0})}{273} \cdot \frac{101,3}{(p_{бар} - p_{z1})} = 80500 \cdot \frac{(273 + 24)}{273} \cdot \frac{101,3}{(99,4 - 0,2)} =$$

$$= 89430,87 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 24,842 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

На I-V ділянці приймаються розміри трубопроводу, які існують на підприємстві.

Еквівалентний діаметр розраховується за формулою:

$$d_{екв} = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (a + b)},$$

де  $a$  і  $b$  – ширина та висота трубопроводу.

$$d_{екв} = \frac{4 \cdot 2,2 \cdot 1,9}{2 \cdot (2,2 + 1,9)} = 2,04 \text{ м}.$$

Швидкість руху газу в трубопроводах брудного та чистого газу розраховується виходячи з рівняння сталості витрати:

$$v = \frac{Q}{\omega},$$

де  $Q$  – витрата газу на першій розрахунковій ділянці,  $\text{м}^3/\text{с}$

$\omega$  – площа поперечного перерізу газоходу.

Для прямокутного трубопроводу  $\omega = a \cdot b$ , де  $a$  і  $b$  – ширина та висота газопроводу.

$$v_I = \frac{22,361}{4,18} = 5,943 \text{ м/с}.$$

Розраховуємо число Рейнольдса за формулою:

$$Re_l = \frac{v_1 \cdot d_{e1} \cdot \rho_{e1}}{\eta_1} = \frac{5,943 \cdot 2,04 \cdot 1,164}{18,795 \cdot 10^{-6}} = 750838,525.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою:

$$Re_l \cdot \frac{k_e}{d_{e1}} = 750838,525 \cdot \frac{0,3 \cdot 10^{-3}}{2,04} = 110,417.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\lambda_l = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{Re_l} + \frac{k_{\text{э}}}{d_1} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{750838,525} + \frac{0,3 \cdot 10^{-3}}{2,04} \right)^{0,25} = 0,0137.$$

Втрати тиску на тертя за довжиною розрахункової ділянки визначаємо за формулою, Па:

$$\Delta p_{mp l} = \lambda_l \cdot \frac{l_1}{d_{\text{э}1}} \cdot \rho_{l \text{э}} \cdot \frac{v_1^2}{2} = 0,0137 \cdot \frac{20,0}{2,04} \cdot 0,164 \cdot \frac{(5,943)^2}{2} = 2,761.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{Ml} = \sum \zeta_1 \times \rho_{e1} \times \frac{v_1^2}{2} = 0,720 \cdot 1,164 \cdot \frac{(5,943)^2}{2} = 14,800.$$

Сумарні втрати тиску першій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{\text{ном } 1} = \Delta p_{\text{мп } 1} + \Delta p_{\text{м } 1} = 2,761 + 14,800 = 17,561.$$

**II розрахункова ділянка.** За відомими формулами визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\begin{aligned} \rho_{z2} &= \rho_{0z} \cdot \frac{273}{(273 + t_{z2}^0)} \cdot \frac{(p_{\text{бар}} - p_{z2})}{101,3} = 1,293 \cdot \frac{273}{(273 + 24)} \cdot \frac{(99,4 - 0,2 - 0,018)}{101,3} \\ &= 1,164. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{p2} &= Q_{0z} \cdot \frac{(273 + t_{z2}^0)}{273} \cdot \frac{101,3}{(p_{\text{ад}} \pm \delta_{a2})} = 161000 \cdot \frac{(273 + 24)}{273} \cdot \frac{101,3}{(99,4 - 0,2 - 0,018)} = \\ &= 172870,062 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 48,019 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \end{aligned}$$

$$v_2 = \frac{Q_{p2}}{\omega_2} = \frac{48,019}{4,18} = 11,488 \text{ м/с}.$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_2 = \frac{v_2 \times d_{z2} \times \rho_{z2}}{\eta_2} = \frac{11,488 \times 2,04 \times 1,164}{18,795 \times 10^{-6}} = 1451393,737.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою:

$$Re_2 \cdot \frac{k_e}{d_{e2}} = 1451393,737 \cdot \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,04} = 213,440.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\lambda_2 = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{\text{Re}_2} + \frac{k_e}{d_2} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{1451393,737} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,04} \right)^{0,25} = 0,0130.$$

$$\Delta p_{mp2} = \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_{3,2}} \cdot \rho_{2,2} \cdot \frac{v_2^2}{2} = 0,0130 \cdot \frac{8,2}{2,04} \cdot 1,164 \cdot \frac{(11,488)^2}{2} = 4,014.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m2} = \sum \zeta_2 \times \rho_{2,2} \times \frac{v_2^2}{2} = 0,550 \cdot 1,164 \cdot \frac{(11,488)^2}{2} = 42,245.$$

Сумарні втрати тиску на другій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{nom2} = \Delta p_{mp2} + \Delta p_{m2} = 4,014 + 42,245 = 46,259.$$

**III розрахункова ділянка.** За відомими формулами визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\rho_{2,3} = \rho_{0,2} \cdot \frac{273}{(273 + t_{2,3}^0)} \cdot \frac{(p_{бар} - p_{2,3})}{101,3} = 1,293 \cdot \frac{273}{(273 + 24)} \cdot \frac{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046)}{101,3} = 1,163.$$

$$Q_{p,3} = Q_{0,3} \cdot \frac{(273 + t_{2,3}^0)}{273} \cdot \frac{101,3}{(p_{бар} \pm p_3)} = 241500 \cdot \frac{(273 + 24)}{273} \cdot \frac{101,3}{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046)} = 261233,936 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 72,565 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$v_3 = \frac{Q_{p3}}{\omega_3} = \frac{72,565}{4,18} = 17,360 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_3 = \frac{v_3 \times d_{\text{э3}} \times \rho_{\text{э3}}}{\eta_3} = \frac{17,360 \times 2,04 \times 1,163}{18,795 \times 10^{-6}} = 2191377,877.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою :

$$Re_3 \cdot \frac{k_e}{d_{\text{э3}}} = 2191377,877 \cdot \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,04} = 322,261.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\begin{aligned} \lambda_3 &= 0,11 \cdot \left( \frac{68}{Re_3} + \frac{k_{\text{э}}}{d_3} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{2191377,877} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,04} \right)^{0,25} = \\ &= 0,0127. \end{aligned}$$

$$\Delta p_{mp3} = \lambda_3 \cdot \frac{l_3}{d_{\text{э3}}} \cdot \rho_{\text{э3}} \cdot \frac{v_3^2}{2} = 0,0127 \cdot \frac{15,3}{2,04} \cdot 1,163 \cdot \frac{(17,360)^2}{2} = 16,692.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{\text{м3}} = \sum \zeta_3 \times \rho_{\text{э3}} \times \frac{v_3^2}{2} = 1,280 \times 1,163 \times \frac{(17,360)^2}{2} = 224,315.$$



Сумарні втрати тиску на третій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{nom 3} = \Delta p_{mp 3} + \Delta p_{m 3} = 16,692 + 224,315 = 241,008.$$

**IV розрахункова ділянка.** За відомими формулами визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\rho_{z4} = \rho_{0z} \cdot \frac{273}{(273 + \overline{t_{a4}^0})} \cdot \frac{(p_{бар} - p_{z4})}{101,3} = 1,293 \cdot \frac{273}{(273 + 24)} \cdot \frac{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,241)}{101,3} = 1,201.$$

$$Q_{p4} = Q_{04} \cdot \frac{(273 + \overline{t_{a4}^0})}{273} \cdot \frac{101,3}{(p_{aаd} \pm \delta_4)} = 322000 \cdot \frac{(273 + 24)}{273} \cdot \frac{101,3}{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,241)} = 358826,101 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 99,674 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$v_4 = \frac{Q_{\delta 4}}{\omega_4} = \frac{99,674}{1,9 \cdot 2,3} = 22,809 \text{ м/с}.$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_4 = \frac{v_4 \times d_{e4} \times \rho_{z4}}{\eta_4} = \frac{22,809 \times 2,08 \times 1,201}{18,795 \times 10^{-6}} = 3031588,546.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою :

$$Re_4 \cdot \frac{k_e}{d_{з4}} = 3031588,546 \cdot \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,08} = 437,248.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\lambda_4 = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{\text{Re}_4} + \frac{k_y}{d_4} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{3031588,546} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,08} \right)^{0,25} = 0,0125.$$

$$\Delta p_{mp4} = \lambda_4 \cdot \frac{l_4}{d_{y4}} \cdot \rho_{4z} \cdot \frac{v_4^2}{2} = 0,0125 \cdot \frac{9,9}{2,08} \cdot 1,201 \cdot \frac{(22,809)^2}{2} = 18,587.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m4} = \sum \zeta_4 \times \rho_{a4} \times \frac{v_4^2}{2} = 0,870 \cdot 1,201 \cdot \frac{(22,809)^2}{2} = 271,797.$$

Сумарні втрати тиску на четвертій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{nom4} = \Delta p_{mp4} + \Delta p_{m4} = 18,587 + 271,797 = 290,384.$$

**У розрахункова ділянка.** За відомими формулами визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\rho_{z5} = \rho_{0z} \cdot \frac{273}{(273 + t_{a5}^0)} \cdot \frac{(p_{aad} - \delta_{a5})}{101,3} = 1,293 \cdot \frac{273}{(273 + 33)} \cdot$$

$$\frac{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,29)}{101,3} = 1,189.$$

$$Q_{p5} = Q_{05} \cdot \frac{(273 + t_{a5}^0)}{273} \cdot \frac{101,3}{(p_{\sigma ap} \pm p_5)} = 405100 \cdot \frac{(273 + 33)}{273} \cdot$$

$$\frac{101,3}{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,29)} = 466479,391 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 129,578 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$v_5 = \frac{Q_{p5}}{\omega_5} = \frac{129,578}{6,15} = 21,070 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_5 = \frac{v_5 \times d_{e5} \times \rho_{z5}}{\eta_5} = \frac{21,070 \times 2,5 \times 1,189}{19,209 \times 10^{-6}} = 3260480,764.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою :

$$Re_5 \cdot \frac{k_e}{d_{e5}} = 3260480,764 \cdot \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,5} = 391,258.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\begin{aligned} \lambda_5 &= 0,11 \cdot \left( \frac{68}{Re_5} + \frac{k_{\text{э}}}{d_5} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left( \frac{68}{3260480,764} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,5} \right)^{0,25} = \\ &= 0,0120. \end{aligned}$$

$$\Delta p_{mp5} = \lambda_5 \cdot \frac{l_5}{d_{\text{э}5}} \cdot \rho_{z5} \cdot \frac{v_5^2}{2} = 0,0120 \cdot \frac{22,2}{2,5} \cdot 1,189 \cdot \frac{(21,070)^2}{2} = 28,124.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m5} = \sum \zeta_5 \times \rho_{a5} \times \frac{v_5^2}{2} = 1,274 \cdot 1,189 \cdot \frac{(21,070)^2}{2} = 336,241.$$

Сумарні втрати тиску на п'ятій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{nom 5} = \Delta p_{mp 5} + \Delta p_{m 5} = 28,124 + 336,241 = 364,365.$$

**VI розрахункова ділянка.** Визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\rho_{z6} = \rho_{0z} \times \frac{273}{(273 + t_{z6}^0)} \times \frac{(p_{бар} - p_{z6})}{101,3} = 1,293 \times \frac{273}{(273 + 38)} \times$$

$$\times \frac{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,29 - 0,36)}{101,3} = 1,079.$$

$$Q_{p6} = Q_{06} \times \frac{(273 + t_{z6}^0)}{273} \times \frac{101,3}{(p_{бар} \pm p_6)} = 717300 \times \frac{(273 + 38)}{273} \times$$

$$\times \frac{101,3}{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,29 - 0,36)} = 842592,889 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 234,054 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості витрати за формулою [5], м:

$$d_6 = \sqrt{\frac{4 \times Q_{p6}}{\pi \times v_{розр}}},$$

де  $v_{расч}$  – швидкість газу у трубопроводі, м/с.

Швидкість руху газу трубопроводах брудного і чистого газу приймається не більше 15...25 м/с. Приймаємо  $v_{розр} = 25$  м/с.

$$d_6 = \sqrt{\frac{4 \times 199,25}{3,14 \times 25}} = 3,45 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний діаметр  $d_l = 3,6$  м.

Фактичну швидкість у газоході  $v_i$  визначаємо за формулою [5], м/с:

$$v_i = \frac{Q_{pi}}{\omega_i},$$

де  $\omega_i$  – площа поперечного перерізу газоходу, м<sup>2</sup>.

$$v_6 = \frac{4 \times Q_{p6}}{\pi \times d_6^2} = \frac{4 \times 234,054}{3,14 \times (3,6)^2} = 23,006 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_6 = \frac{v_6 \times d_{y6} \times \rho_{z6}}{\eta_6} = \frac{23,006 \times 3,6 \times 1,079}{19,436 \times 10^{-6}} = 4597885,697.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою:

$$Re_6 \times \frac{k_{y6}}{d_{y6}} = 4597885,697 \times \frac{0,3 \times 10^{-3}}{3,6} = 383,157.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\begin{aligned} \lambda_6 &= 0,11 \times \left( \frac{68}{Re_6} + \frac{k_e}{d_6} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{68}{4597885,697} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{3,6} \right)^{0,25} = \\ &= 0,0109. \end{aligned}$$

$$\Delta p_{mp6} = \lambda_6 \times \frac{l_6}{d_{36}} \times \rho_{6z} \times \frac{v_6^2}{2} = 0,0109 \times \frac{90}{3,6} \times 1,079 \times \frac{(23,006)^2}{2} = 77,811.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m6} = \sum \zeta_6 \times \rho_{z6} \times \frac{v_6^2}{2} = 2,150 \times 1,079 \times \frac{(23,006)^2}{2} = 613,921.$$

Сумарні втрати тиску на шостій розрахунковому ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{ном6} = \Delta p_{mp6} + \Delta p_{m6} = 77,811 + 613,921 = 691,731.$$

**VII розрахункова ділянка.** Визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\rho_{z7} = \rho_{0z} \times \frac{273}{(273 + t_{z7}^0)} \times \frac{(p_{бар} - p_{z7})}{101,3} = 1,293 \times \frac{273}{(273 + 37,4)} \times$$

$$\times \frac{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,29 - 0,36 - 0,69)}{101,3} = 1,095.$$

$$Q_{p7} = Q_{07} \times \frac{(273 + t_{z7}^0)}{273} \times \frac{101,3}{(p_{бар} \pm p_7)} = 735300 \times \frac{(273 + 37,4)}{273} \times$$

$$\times \frac{101,3}{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,29 - 0,36 - 0,69)} = 868183,691 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 241,162 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості витрати за формулою [5], м:

$$d_7 = \sqrt{\frac{4 \times Q_{p7}}{\pi \times v_{розр}}},$$

де  $v_{розр}$  – швидкість газу у трубопроводі, м/с.

Швидкість руху газу трубопроводах брудного і чистого газу приймається не більше 15...25 м/с. Приймаємо  $v_{розр} = 25$  м/с.

$$d_7 = \sqrt{\frac{4 \times 241,162}{3,14 \times 25}} = 3,51 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний діаметр  $d_l = 3,9$  м.

Фактичну швидкість у газоході  $v_l$  визначаємо за формулою [5], м/с:

$$v_i = \frac{Q_{pi}}{\omega_i},$$

де  $\omega_i$  – площа поперечного перерізу газоходу, м<sup>2</sup>.

$$v_7 = \frac{4 \times Q_{p7}}{\pi \times d_7^2} = \frac{4 \times 241,162}{3,14 \times (3,9)^2} = 20,198 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_7 = \frac{v_7 \times d_{e7} \times \rho_{e7}}{\eta_7} = \frac{20,198 \times 3,9 \times 1,095}{19,398 \times 10^{-6}} = 4446621,250.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою :

$$Re_7 \times \frac{k_e}{d_{e7}} = 4446621,250 \times \frac{0,3 \times 10^{-3}}{3,9} = 342,048.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\lambda_7 = 0,11 \times \left( \frac{68}{\text{Re}_7} + \frac{k_e}{d_7} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{68}{4446621,250} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{3,9} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,0108.$$

$$\Delta p_{mp7} = \lambda_7 \times \frac{l_7}{d_{e7}} \times \rho_{z7} \times \frac{v_7^2}{2} = 0,0108 \times \frac{10}{3,9} \times 1,095 \times \frac{(20,198)^2}{2} = 6,185.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m7} = \sum \zeta_7 \times \rho_{z7} \times \frac{v_7^2}{2} = 2,056 \times 1,095 \times \frac{(20,198)^2}{2} = 459,223.$$

Сумарні втрати тиску на сьомій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{nom7} = \Delta p_{mp7} + \Delta p_{m7} = 6,185 + 459,223 = 465,409.$$

**VIII розрахункова ділянка.** Визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\rho_{z8} = \rho_{0z} \times \frac{273}{(273 + \bar{t}_{z8}^0)} \times \frac{(p_{бар} - p_{z8})}{101,3} = 1,293 \times \frac{273}{(273 + 34,5)} \times$$

$$\times \frac{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,29 - 0,36 - 0,69 - 0,46)}{101,3} = 1,1.$$

$$Q_{p8} = Q_{08} \times \frac{(273 + \bar{t}_{z8}^0)}{273} \times \frac{101,3}{(p_{бар} \pm p_8)} = 849800 \times \frac{(273 + 34,5)}{273} \times$$

$$\times \frac{101,3}{(99,4 - 0,2 - 0,018 - 0,046 - 0,29 - 0,36 - 0,69 - 0,46)} = 998767,004 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 277,435 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$



Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості витрати за формулою [5], м:

$$d_8 = \sqrt{\frac{4 \times Q_{p8}}{\pi \times v_{розр}}},$$

де  $v_{розр}$  – швидкість газу у трубопроводі, м/с.

Швидкість руху газу трубопроводах брудного і чистого газу приймається не більше 15...25 м/с. Приймаємо  $v_{расч} = 25$  м/с.

$$d_8 = \sqrt{\frac{4 \times 277,435}{3,14 \times 25}} = 3,76 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний діаметр  $d_l = 3,9$  м.

Фактичну швидкість у газоході  $v_l$  визначаємо за формулою [5], м/с:

$$v_i = \frac{Q_{pi}}{\omega_i},$$

де  $\omega_i$  – площа поперечного перерізу газоходу, м<sup>2</sup>.

$$v_8 = \frac{4 \times Q_{p7}}{\pi \times d_8^2} = \frac{4 \times 277,435}{3,14 \times (3,9)^2} = 23,236 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_8 = \frac{v_8 \times d_{y8} \times \rho_{a8}}{\eta_8} = \frac{23,236 \times 3,9 \times 1,1}{19,272 \times 10^{-6}} = 5172397,260.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою:

$$Re_8 \times \frac{k_e}{d_{e8}} = 5172397,260 \times \frac{0,3 \times 10^{-3}}{3,9} = 397,877.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\begin{aligned} \lambda_8 &= 0,11 \times \left( \frac{68}{Re_8} + \frac{k_e}{d_8} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{68}{5172397,260} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{3,9} \right)^{0,25} = \\ &= 0,0107. \end{aligned}$$

$$\Delta p_{тр 8} = \lambda_8 \times \frac{l_8}{d_{y8}} \times \rho_{8z} \times \frac{v_8^2}{2} = 0,0107 \times \frac{20}{3,9} \times 1,1 \times \frac{(23,236)^2}{2} = 16,294.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{м8} = \sum \zeta_8 \times \rho_{8z} \times \frac{v_8^2}{2} = 0,840 \times 1,1 \times \frac{(23,236)^2}{2} = 249,439.$$

Сумарні втрати тиску на восьмій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{ном 8} = \Delta p_{тр 8} + \Delta p_{м 8} = 16,294 + 249,439 = 265,733.$$

## 2.5 Розрахунок рукавного фільтра

Вихідні дані:

– об'ємна витрата газу при нормальних фізичних

умовах ( $H\Phi Y$ ),  $Q'_{0z}$  нм<sup>3</sup>/год

849800

– температура газу перед рукавним фільтром  $t$ , °C

34,5

– розрідження перед рукавним фільтром (сума розрідження в зонті над жолобом, що коливається, і втрат тиску на I - VIII розрахункових ділянках)

$p_e$ , Па 2382,649

– щільність частинок пилу  $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup> 2710

– пористість тканини (голкопробивний поліефірний фетр волокна)

$\varepsilon_m$  0,75

– питомий опір тканини  $h_{mk}$ , Па  $3,5 \cdot 10^5$

– барометричний тиск  $p_{бар}$ , кПа 99,4

– запиленість газу перед фільтром  $Z_l$ , г/м<sup>3</sup> 0,91

Середній дисперсний склад пилу перед рукавним фільтром представлений у табл.2.5.

Таблиця 2.5 – Середній дисперсний склад пилу

Розмір частин $d$ , мкм	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60-100	>100
Вміст, %	5,4	12,1	11,6	15,2	15,6	21,3	18,8

Визначаємо середній медіанний діаметр частинок пилу  $d_m$ , мкм. Для цього за даними дисперсного складу пилу, наведеним у загальній частині, будемо функції розподілу маса матеріалу за діаметрами частинок. Функція  $D(d)$  (від німецького терміна (*Durchgang* – прохід) дорівнює вираженому у відсотках відношенню маси всіх частинок, діаметр яких менше  $d$ , у загальній масі пилоподібного матеріалу. Функція  $R(d)$  (від німецького терміна *Ruckstand* – залишок) визначається як виражене у відсотках відношення маси всіх частинок, діаметр яких більший за  $d$ , до загальної маси матеріалу. Виконуються співвідношення:

$$D+R=100\%;$$

$$D(d_{min})=0;$$

$$D(d_{max})=100\%;$$

$$R(d_{min})=100\%;$$

$$R(d_{max})=0,$$

де  $d_{min}$ ,  $d_{max}$  – найменший та найбільший діаметри частинок, що зустрічаються в даному матеріалі.

У координатній сітці, що відповідає розподілу за виправленою формулою Ромашова, відкладаємо значення функції розподілу (рис. 2.11) [5]. При  $D = R = 50\%$   $d_m = 53$  мкм.

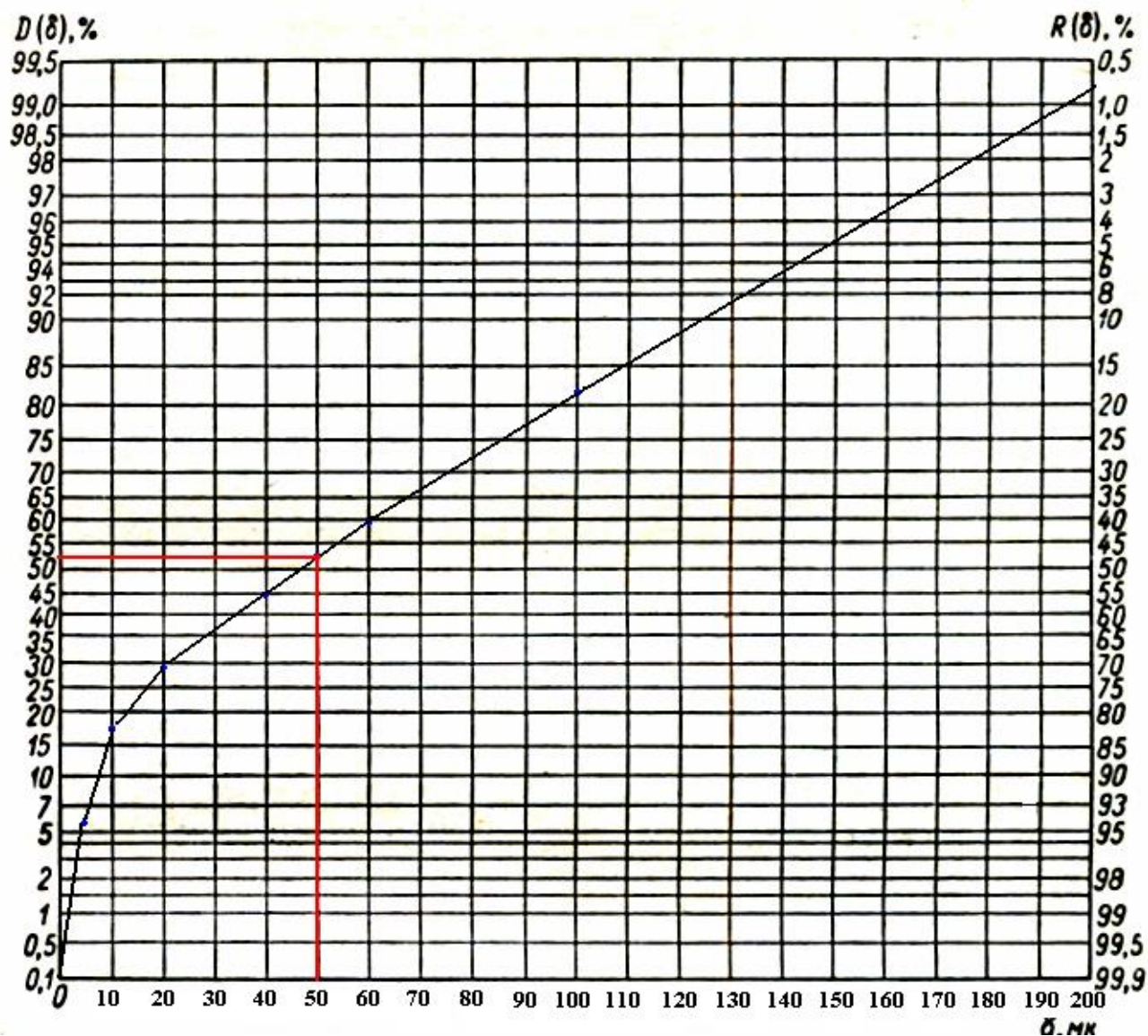


Рисунок 2.11 – Розподіл за виправленою формулою Ромашова

Пористість пилу розраховуємо за формулою:

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

де  $d_m$  – середній медіанний діаметр частинок пилу, мкм.

$$\varepsilon_n = 1 - 79 \times (53 \cdot 10^{-6})^{0,47} = 0,227.$$

Об'ємна витрата газу, що надходить на очищення в рукавний фільтр за робочих умов дорівнює, м<sup>3</sup>/год:

$$Q_p = Q_{0z} \times \frac{(273 + t_z)}{273} \times \frac{101,3}{(p_{бар} - p_z)},$$

де  $Q_{0z}$  – витрата газу за нормальних фізичних умов (НФУ), м<sup>3</sup>/год;

$t_z$  – температура газу, °С;

$p_z$  – розрідження газу перед рукавним фільтром, кПа;

$p_{бар}$  – атмосферний тиск. кПа.

$$\begin{aligned} Q_p &= 849800 \times \frac{(273 + 34,5)}{273} \times \frac{101,3}{(99,4 - 2,38)} = \\ &= 999445,771 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 16657,430 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}} = 277,624 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \end{aligned}$$

Щільність газу за робочих умов дорівнює, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_z = \rho_{0z} \times \frac{273}{(273 + t_z)} \times \frac{(p_{бар} - p_r)}{101,3},$$

де  $\rho_{0z}$  – щільність газу за нормальних фізичних умов (НФУ), кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_z = 1,293 \times \frac{273}{(273 + 34,5)} \times \frac{(99,4 - 2,38)}{101,3} = 1,099 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

Для прийнятих до встановлення рукавних фільтрів типу ФРІР питоме газове навантаження (рівне швидкості фільтрації)  $v_\phi$  складає  $0,7 \dots 1,8 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{хв}}$ .

Приймаємо  $v_\phi = 1,45 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{хв}}$ . Тоді потрібна площа фільтрації  $F_a$  дорівнює:

$$F_a = \frac{Q_p}{v_\phi} = \frac{16657,430}{1,45} = 11487,88 \text{ м}^2.$$

Приймаємо до встановлення рукавний фільтр ФРІР-11500 з площею фільтрації  $11500 \text{ м}^2$  [5].

Витрата стисненого повітря для регенерації  $Q_{0 \text{ сж.}}$  при  $H\Phi Y$  не перевищує  $1200 \text{ м}^3/\text{рік}$ . Тиск стиснутого повітря щонайменше  $0,5 \text{ МПа}$  [6]. Витрата стисненого повітря за робочих умов становить:

$$\begin{aligned} Q_{p. \text{ сж.}} &= Q_{0 \text{ сж.}} \times \frac{(273 + t_g)}{273} \times \frac{101,3}{(p_{\text{бар}} + p_{\text{сж.}})} = 1200 \times \frac{(273 + 25)}{273} \times \frac{101,3}{(99,4 + 500)} = \\ &= 221,374 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 3,690 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}}. \end{aligned}$$

Визначаємо фактичну швидкість фільтрації у рукавному фільтрі:

$$v'_\phi = \frac{Q_p + Q_{p. \text{ сж.}}}{F_a''} = \frac{16657,430 + 3,690}{11500} = 1,449 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \times \text{хв}} = 0,024 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Визначаємо коефіцієнти фільтрації  $A$  і  $B$ :

$$\begin{aligned} A &= 0,475 \times \frac{(1 - \varepsilon_n)^2}{(\varepsilon_m)^{3,24} \cdot \varepsilon_n^3 \cdot d_m^{1,77}} \cdot \\ A &= 0,475 \times \frac{(1 - 0,227)^2}{(0,75)^{3,24} \times (0,227)^3 \times (53 \times 10^{-6})^{1,77}} = 2270,208 \times 10^6; \end{aligned}$$

$$B = \frac{817 \times (1 - \varepsilon_n)}{(d_m)^2 \times \varepsilon_n^3 \times \rho_n}.$$

$$B = \frac{817 \times (1 - 0,227)}{(53 \times 10^{-6})^2 \times (0,227)^3 \times 2710} = 5641,523 \times 10^6.$$

Визначаємо гідравлічний опір тканини  $\Delta p_l$ , Па:

$$\Delta p_l = A \times v_\phi' \times \eta.$$

$$\Delta p_l = 2270,208 \times 10^6 \times 0,024 \times 19,272 \times 10^{-6} = 1056,446 \text{ (Па)}.$$

Тоді час міжрегенераційного періоду дорівнює:

$$t_p = \frac{\Delta p / (v_\phi' \times \eta) - A}{B \times v_\phi' \times Z_1},$$

де  $\Delta p$  – опір фільтра. Гідравлічний опір рукавного фільтра типу ФРІР трохи більше 3000 Па [6]. Приймаємо гідравлічний опір рукавного фільтра ФРІР-11500 рівним 2,0 кПа.

$$t_p = \frac{2000 / (0,024 \times 19,272 \times 10^{-6}) - 2270,208 \times 10^6}{5641,523 \times 10^6 \times 0,024 \times 0,91 \times 10^{-3}} = 16356,56 \text{ с} = 4,543 \text{ год.}$$

Маса пилу, що затримується 1 м<sup>2</sup> площі фільтруючої поверхні  $M_l$  дорівнює, кг:

$$M_l = Z_1 \times v_\phi' \times t_p;$$

$$M_l = 0,91 \times 10^{-3} \times 0,024 \times 16356,56 = 0,359.$$

Гідравлічний опір шару пилу  $\Delta p_2$  дорівнює, Па:

$$\Delta p_2 = B \times M_1 \times v'_\phi \times \eta;$$

$$\Delta p_2 = 5641,523 \times 10^6 \times 0,359 \times 0,024 \times 19,272 \times 10^{-6} = 942,5 \text{ (Па)}.$$

Сумарний опір тканини та шару пилу дорівнює, Па:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 = 1056,446 + 942,5 = 1998,9.$$

Ступінь очищення від пилу в рукавному фільтрі  $\eta_{oc}$  не менше 99 %. Приймаємо ступінь очищення, що дорівнює 99%. Запиленість газу на виході з апарата  $Z_2$  становить не більше, г/м<sup>3</sup>:

$$z_2 = z_1 \times (1 - \eta_{oc}) = 0,91 \times (1 - 0,99) = 0,0091.$$

Сумарний опір після рукавного фільтра:

$$\Delta p = \Delta p_{зонт} + \Delta p_{ном 1} + \Delta p_{ном 2} + \Delta p_{ном 3} + \Delta p_{ном 4} + \Delta p_{ном 5} + \Delta p_{ном 6} + \\ + \Delta p_{ном 7} + \Delta p_{ном 8} + \Delta p_{ном P\Phi}$$

$$\Delta p = 0,2 + 0,017 + 0,046 + 0,241 + 0,290 + 0,364 + 0,691 + 0,465 + 0,266 + 2,0 = 4,581 \\ \text{кПа.}$$

## 2.4 Рукавний фільтр ФРІР-11500

Рукавний фільтр з імпульсною регенерацією типу ФРІР-11500 призначений для очищення від пилу аспіраційного повітря, що відсмоктується від укриттів скіпової ями, приймальної воронки засипного апарату та ливарного двору.



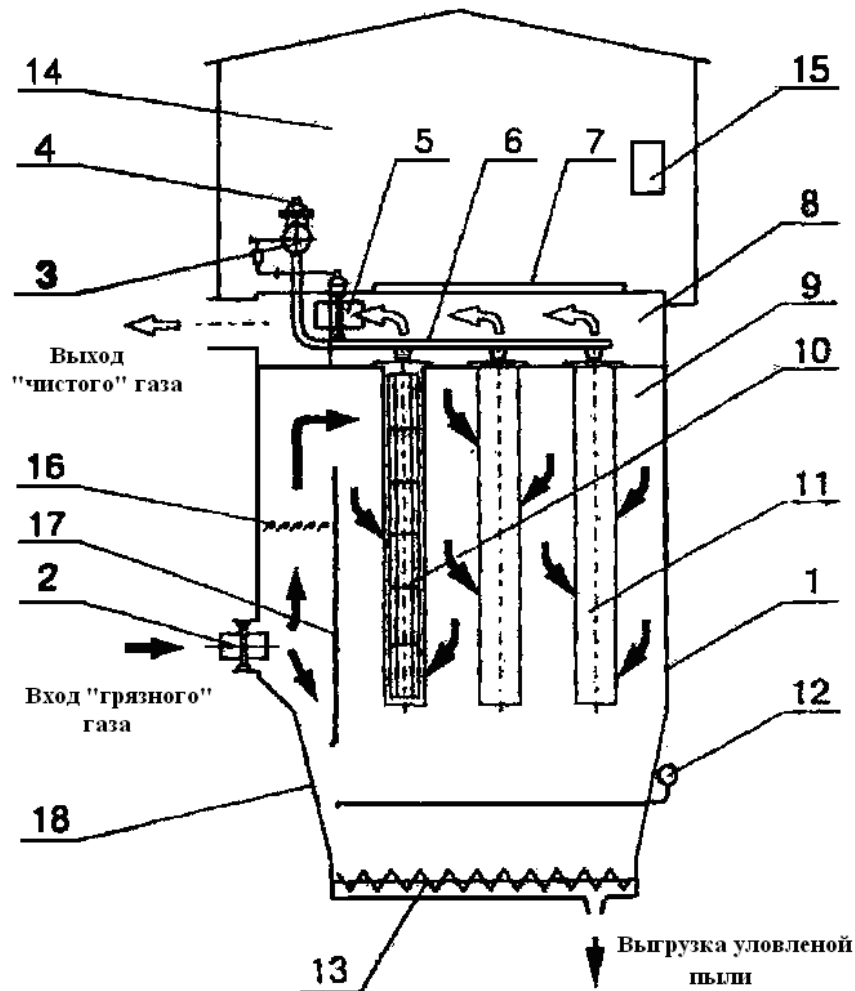
Аспіраційне повітря («брудний газ») (рис. 2.12) через вхідний патрубок і відсічний клапан (2) потрапляє всередину корпусу фільтра (1) і направляється відбійним щитом (17) через іскрогасну аеродинамічну решітку (16) у верхню частину камери «брудного» газу (9), чим забезпечується супутнє рух потоку газу, що фільтрується і обтрушується при регенерації пилу. Пил, що відокремився при відповідному русі потоку газів, виноситься в бункер (18) через щілину між відбійним щитом і стінкою бункера «брудний» газ, пройшовши рукави (11) зовні всередину, очищається від пилу і потрапляє в камеру «чистого» газу (8), далі через вихідний патрубок, газохід і тягодуттєвий пристрій прямує в димову трубу.

У міру накопичення пилу на зовнішній поверхні рукавів загальний гідравлічний опір фільтра, що відстежується пристроєм керування регенерацією (15), зростає та після досягнення заданої величини автоматично включається система регенерації фільтрувальних рукавів.

Осушене стиснене повітря з накопичувача (3), через швидкодіючий продувний клапан (4) і роздавальний колектор із соплами (6) імпульсно подається всередину рукава, який очищається як від пилу, що зібрався на зовнішній поверхні рукава у вигляді агломератів, так і частинок пилу, проникли всередину фільтрувального матеріалу.

Вловлений пил через щілинний бункер (18) і вузол вивантаження пилу (13) відводиться в систему видалення пилу.

Основні конструктивні особливості фільтра та принцип його роботи представлені на рис. 2.12. Рукавний фільтр ФРІР-11500 складається з наступних основних частин: корпус фільтра (поз. 1); відсічний клапан (поз. 2); накопичувач стисненого повітря (поз.3); продувний клапан (поз.4); відсічний клапан (поз.5); роздатковий колектор (поз.6); знімна кришка (поз. 7); камера «чистого» газу (поз. 8); камера «брудного» газу (поз.9); каркас рукава (поз. 10); фільтрувальний рукав (поз. 11); система пневмообвалення (поз. 12); вузол вивантаження пилу (поз. 13); намет фільтра (поз. 14); пристрій управління регенерацією (поз. 15); аеродинамічні ґрати (поз. 16); відбійний щит (поз. 17); бункер (поз. 18).



1 – корпус фільтра; 2 – відсічний клапан; 3 – накопичувач стисненого повітря; 4 – продувний клапан; 5 – клапан відсічний; 6 – роздавальний колектор; 7 – знімна (відкидна) кришка; 8 – камера «чистого» газу; 9 – камера «брудного» газу; 10 – каркас рукава; 11 – фільтрувальний рукав; 12 – система пневмообвалення; 13 - вузол вивантаження пилу; 14 - намет фільтра; 15 – пристрій керування регенерацією; 16 – аеродинамічні ґрати; 17 – відбійний щит; 18 – бункер.

Рисунок 2.12 – Рукавний фільтр

**Корпус фільтра** складається з опорного пояса з підвісними бункерами, вузла вивантаження пилу, системи пневмообвалення пилу, оглядових люків, відсікових клапанів «брудного газу», розподільчого газоходу та панелей огорожі. Перекриття корпусу фільтра служить блок регенерації.

Підвісні бункери виконані у вигляді усіченої піраміди з кутом нахилу бічних граней 70°. Бункери фільтра в нижній частині обладнані вузлом вивантаження пилу, а також пристроєм пневмообрушення та оглядовими люками.

**Система пневмообрушення**, що складається з накопичувача стисненого повітря та роздавального колектора, служить для запобігання зводоутворенню в бункерах. Управління системою пневмообрушення здійснюється автоматично при включенні ланцюгового трубного конвеєра. При цьому спрацьовує продувний клапан і здійснює подачу стиснутого повітря в бункер.

**Оглядовий люк бункера** призначений для можливості проникнення всередину бункера і є круглим отвіром, закритим кришкою. Кожен бункер обладнаний двома оглядовими люками.

Для можливості проникнення всередину фільтра в панелі огорожі з торця фільтра виконані два люки овальної форми з кришками.

**Клапан відсічного «брудного» газу** є замикаючим пристроєм, виконаним у вигляді поворотної заслінки. Відсічний клапан монтується в нижній частині корпусу і рухається вручну. На кожен блок камер «брудного» газу встановлюється по 4 відсікові клапани. Описана схема установки відсікових клапанів «брудного» газу дозволяє проводити заміну фільтрувальних рукавів у 1/8 частині фільтра без його зупинки.

**Блок регенерації** складається з: накопичувача стисненого повітря; клапанів продувних; дошки рукавні; клапана відсічного.

**Накопичувач стисненого повітря** виготовлений із металеві труби діаметром 324 мм та обладнаний: 16-ма патрубками з фланцями діаметром 210 мм для установки продувних клапанів; штуцером для підведення стисненого повітря; штуцером для зливу конденсату; штуцером для встановлення електроконтактного манометра; 16-ма повітропроводами подачі стисненого повітря до колектора. Об'єм накопичувача складає 0,3 м<sup>3</sup>.

**Роздатковий колектор** – труба діаметром 83 мм, в якій співвісно кожній горловині фільтрувального рукава розташовані сопла діаметром 12 мм.

Кріплення колекторів виконано за допомогою швидкокороз'ємних з'єднань.

**Рукавна дошка** виготовлена з металевого листа товщиною 4 мм з отворами  $D=139$  мм. Отвори для кріплення виконані з відбортуванням, що підвищує жорсткість конструкції та покращує умови кріплення фільтрувальних елементів.

**Відсічний клапан** «чистого» газу являє собою замикаючий пристрій, виконаний у вигляді поворотної заслінки, яка монтується в корпусі і приводиться в рух пневмоциліндром діаметром 100 мм з ходом штока, рівним 100 мм. Управління пневмоциліндром здійснюється за допомогою пневморозподільника, який у свою чергу отримує сигнал від блоку автоматики.

Відсіковий клапан обладнаний пристроєм, виконаним у вигляді стопора і що дозволяє регулювати ступінь закриття відсікового клапана.

**Фільтрувальний елемент** складається з каркаса та фільтрувального рукава. Каркас служить для запобігання хлопуванню рукава при фільтруванні. Він є металевою звареною конструкцією з поздовжніх стрижнів і опорних кілець з дроту  $D=4$ мм.

Каркас складається з верхньої, середньої та нижніх частин, що з'єднуються в єдине ціле за допомогою спеціального замкового з'єднання.

Верхня частина каркаса оснащена металевим кільцем конічної форми, що служить для ущільнення рукава фільтрувального в рукавній дошці.

Нижня частина каркаса закінчується металевим денцем. Фільтрувальний рукав виконаний у вигляді циліндра з внутрішнім діаметром 128 мм та довжиною 6230 мм. У горловину фільтрувального рукава вшито металеве кільце, з протилежного боку рукава пришите денце. Матеріалом для виготовлення фільтрувального рукава є голкопробивний поліефірний фетр з каркасом з філаментних ниток.

Стиснене, осушене і очищене від масла повітря підводиться до рукавного фільтра від магістрального трубопроводу.

Перед рукавним фільтром на трубопроводі стисненого повітря встановлений повітряний фільтр вологовідділювач для додаткового очищення стисненого повітря,

що підводиться.

Загальний трубопровід поділяється на дві гілки. Один трубопровід  $D=48$  мм через блок редукційних клапанів подає повітря на накопичувачі стисненого повітря. Інший трубопровід  $D = 33,5$  мм через встановлені індивідуальні маслорозпилювачі подає стиснене повітря на відсічні клапани.

Накопичувачі стисненого повітря можуть відключатися від мережі за допомогою запірних кульових кранів  $D_y = 40$  мм.

Блок редукційних клапанів складається з двох секцій, кожна з яких містить два редукційні клапани з пневматичним налаштуванням, з'єднаних паралельно, два кульових запірних крана  $D_y = 50$  мм і один редукційний клапан ручного налаштування, призначений для керування двома редукційними клапанами з пневматичним налаштуванням.

Отсечные клапаны могут отключаться от сети при помощи шаровых кранов  $D_y=40$  мм.

**Вузол вивантаження пилу** є пристроєм для видалення пилу з бункера і складається з жолоба, до торців якого кріпляться бічні стінки. У середині жолоба розміщений шнек, який рухається через кулачкову муфту мотором - редуктором, змонтованим на одній з бічних стінок. З обох боків шнек спирається на підшипникові вузли, закріплені у бокових стінках.

З бункерів фільтра уловлений пил вивантажується за допомогою гвинтового шнека. Для транспортування пилу з бункерів фільтра до збірного бункеру проектом передбачено «трубчастий» ланцюговий конвеєр КТЛ-16.

Трубчастим ланцюговим конвеєром уловлений пил подається в бункер-накопичувач  $D_y 5000$  м.

З бункера-накопичувача пил вивантажується у вагони та вирушає на аглофабрику [5].

#### **Проектна технічна характеристика рукавного фільтра ФРП-11500:**

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Продуктивність по газу, що очищається,<br>тис. м <sup>3</sup> /год | -1000,0 |
| 2. Площа поверхні фільтрації, м <sup>3</sup>                          | - 11500 |

3. Питоме газове навантаження, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$	- 1,45
4. Гідравлічний опір фільтра, Па (мм.вод.ст), не більше	- 2500 (250)
5. Розрідження газів перед фільтром, Па (мм.вод.ст) не більше	- 3000 (300)
6. Розрідження газів після фільтру, Па (мм.вод.ст) не більше	- 5500 (550)
7. Допустима температура газу, що очищається, $^{\circ}\text{C}$ , не більше	- 135
8. Масова концентрація пилу на вході у фільтр, $\text{г}/\text{нм}^3$	- 1,2-4,0
9. Запиленість газу на виході з фільтра, $\text{мг}/\text{нм}^3$ не більше	- 20
10. Спосіб регенерації фільтрувальних рукавів - імпульсне продування струменем повітря, що подається в напрямку, зворотному проходженню газу, що очищається.	
11. Кількість фільтрувальних рукавів	- 4608
12. Розміри фільтрувального рукава, мм	
– довжина	- 6230
– діаметр зовнішній	- 133
13. Кількість продувних клапанів, шт.	- 272
14. Тиск стисненого повітря на накопичувачі, МПа ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ) не більше	- 0,6 (6,0)
15. Витрата стисненого повітря для проведення регенерації фільтра, м/год	- 1200
16. Кількість бункерів для збирання пилу, шт.	- 8
17. Спосіб обвалення пилу в бункерах фільтра-псевдозрідження шару пилу шляхом імпульсної подачі повітря в сопла на стінці бункера	
18. Кількість секцій пневмообвалення, шт.	- 8
19. Кількість продувних клапанів на секції пневмообвалення, шт.	- 2
20. Тиск повітря в накопичувачі системи пневмообвалення, МПа ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ), не більше	- 0,6 (6,0)

21. Вивантаження пилю з пилового бункера - гвинтовий живильник	
22. Кількість гвинтових живильників, шт.	- 8
23. Максимальна здатність транспортуючого гвинтового живильника, м /год	- 18
24. Режим роботи вузла вивантаження пилю – періодичний по 2-3 години на добу (1-2 години на зміну уточнюється при налагодженні)	
25. Щільність матеріалу, що транспортується, т/м <sup>3</sup>	- 3,9
Управління процесом регенерації фільтрувальних рукавів та роботою обладнання для вивантаження пилю - за командою САУ ТП РПРФ.	
26. Габаритні розміри фільтра, мм	
– довжина	- 28720
– ширина	- 12280
– висота	- 15860

## 2.5 Аеродинамічний розрахунок (X-XIV розрахункових ділянок)

**X розрахункова ділянка.** Визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\rho_{z10} = \rho_{0z} \times \frac{273}{(273 + \overline{t_{z10}^0})} \times \frac{(p_{бар} - p_{z10})}{101,3} = 1,293 \times \frac{273}{(273 + 23)} \times \frac{(99,4 - 4,581)}{101,3} = 1,11.$$

$$Q_{p10} = Q_{010} \times \frac{(273 + \overline{t_{z10}^0})}{273} \times \frac{101,3}{(p_{бар} \pm p_{10})} = 851000 \times \frac{(273 + 23)}{273} \times \frac{101,3}{(99,4 - 4,581)} =$$

$$= 985767,054 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 273,824 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості витрати за формулою [6], м:

$$d_{10} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{p10}}{\pi \times v_{розр}}},$$

де  $v_{розр}$  – швидкість газу у трубопроводі, м/с.

Швидкість руху газу трубопроводі приймається не більше 15...20 м/с.

Приймаємо  $v_{розр} = 18$  м/с.

$$d_{10} = \sqrt{\frac{4 \times 273,824}{3,14 \times 18}} = 4,4 \text{ м.}$$

Приймаємо не стандартний діаметр  $d_{10} = 4,6$  м.

Фактичну швидкість у газоході  $v_i$  визначаємо за формулою [5], м/с:

$$v_i = \frac{Q_{pi}}{\omega_i},$$

де  $\omega_i$  – площа поперечного перерізу газоходу, м<sup>2</sup>.

$$v_{10} = \frac{4 \times Q_{p10}}{\pi \times d_{10}^2} = \frac{4 \times 273,824}{3,14 \times (4,6)^2} = 16,485 \text{ м/с}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_{10} = \frac{v_{10} \times d_{e10} \times \rho_{e10}}{\eta_{10}} = \frac{16,485 \times 4,6 \times 1,11}{18,759 \times 10^{-6}} = 4511295,698.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою :



$$Re_{10} \times \frac{k_e}{d_{e10}} = 4511295,698 \times \frac{0,3 \times 10^{-3}}{4,6} = 294,215.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\begin{aligned} \lambda_{10} &= 0,11 \times \left( \frac{68}{Re_{10}} + \frac{k_e}{d_{10}} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{68}{4511295,698} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{4,6} \right)^{0,25} = \\ &= 0,0104. \end{aligned}$$

$$\Delta p_{mp\ 10} = \lambda_{10} \times \frac{l_{10}}{d_{e10}} \times \rho_{10z} \times \frac{v_{10}^2}{2} = 0,0104 \times \frac{45}{4,6} \times 1,11 \times \frac{(16,485)^2}{2} = 15,428.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m10} = \sum \zeta_{10} \times \rho_{z10} \times \frac{v_{10}^2}{2} = 1,6 \times 1,11 \times \frac{(16,485)^2}{2} = 242,623.$$

Сумарні втрати тиску на десятій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{nom\ 10} = \Delta p_{mp\ 10} + \Delta p_{m\ 10} = 15,428 + 242,623 = 258,051.$$

**XI розрахункова ділянка.** Визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\begin{aligned} \rho_{z11} &= \rho_{0z} \times \frac{273}{(273 + t_{z11}^0)} \times \frac{(p_{бар} - p_{z11})}{101,3} = 1,293 \times \frac{273}{(273 + 23)} \times \frac{(99,4 - 4,581 - 0,258)}{101,3} \\ &= 1,113. \end{aligned}$$

$$Q_{p11} = Q_{o11} \times \frac{(273 + \overline{t_{e11}})}{273} \times \frac{101,3}{(p_{\text{бар}} \pm p_{11})} = 638250 \times \frac{(273 + 23)}{273} \times$$

$$\times \frac{101,3}{(99,4 - 4,581 - 0,258)} = 741342,869 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 205,929 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості витрати за формулою [5], м:

$$d_{11} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{p11}}{\pi \times v_{\text{розр}}}},$$

де  $v_{\text{розр}}$  – швидкість газу у трубопроводі, м/с.

Швидкість руху газу трубопроводі приймається не більше 15...20 м/с.

Приймаємо  $v_{\text{розр}} = 18$  м/с.

$$d_{11} = \sqrt{\frac{4 \times 205,929}{3,14 \times 18}} = 3,82 \text{ м.}$$

Приймаємо не стандартний діаметр  $d_{11} = 4,0$  м.

Фактичну швидкість у газоході  $v_i$  визначаємо за формулою [5], м/с:

$$v_i = \frac{Q_{pi}}{\omega_i},$$

де  $\omega_i$  – площа поперечного перерізу газоходу, м<sup>2</sup>.

$$v_{11} = \frac{4 \times Q_{p11}}{\pi \times d_{11}^2} = \frac{4 \times 205,929}{3,14 \times (4,0)^2} = 16,396 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_{11} = \frac{v_{11} \times d_{e11} \times \rho_{e11}}{\eta_{11}} = \frac{16,396 \times 4,0 \times 1,113}{18,759 \times 10^{-6}} = 3891198,465.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою :

$$Re_{11} \times \frac{k_e}{d_{e11}} = 3891198,465 \times \frac{0,3 \times 10^{-3}}{4,0} = 291,840.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\begin{aligned} \lambda_{11} &= 0,11 \times \left( \frac{68}{Re_{11}} + \frac{k_e}{d_{11}} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{68}{3891198,465} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{4,0} \right)^{0,25} = \\ &= 0,0108. \end{aligned}$$

$$\Delta p_{mp\ 11} = \lambda_{11} \times \frac{l_{11}}{d_{e11}} \times \rho_{11} \times \frac{v_{11}^2}{2} = 0,0108 \times \frac{5}{4,0} \times 1,113 \times \frac{(16,396)^2}{2} = 2,020.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m11} = \sum \zeta_{11} \times \rho_{a11} \times \frac{v_{11}^2}{2} = 0,13 \times 1,113 \times \frac{(16,396)^2}{2} = 19,448.$$

Сумарні втрати тиску на одинадцятій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{ном\ 11} = \Delta p_{mp\ 11} + \Delta p_{m11} = 2,020 + 19,448 = 21,468.$$

**ХІІ розрахункова ділянка.** Визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\rho_{e12} = \rho_{0e} \times \frac{273}{(273 + t_{a12}^0)} \times \frac{(p_{\text{бар}} - p_{e12})}{101,3} = 1,293 \times \frac{273}{(273 + 23)} \times \\ \times \frac{(99,4 - 4,581 - 0,258 - 0,21)}{101,3} = 1,113.$$

$$Q_{p12} = Q_{012} \times \frac{(273 + t_{e12}^0)}{273} \times \frac{101,3}{(p_{\text{бар}} \pm p_{12})} = 425500 \times \frac{(273 + 23)}{273} \times \\ \times \frac{101,3}{(99,4 - 4,581 - 0,258 - 0,21)} = 494340,809 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 137,317 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості витрати за формулою [5], м:

$$d_{12} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{p12}}{\pi \times v_{\text{розр}}}},$$

де  $v_{\text{розр}}$  – швидкість газу у трубопроводі, м/с.

Швидкість руху газу трубопроводі приймається не більше 15...20 м/с. Приймаємо  $v_{\text{розр}} = 18$  м/с.

$$d_{12} = \sqrt{\frac{4 \times 137,317}{3,14 \times 18}} = 3,12 \text{ м.}$$

Приймаємо не стандартний діаметр  $d_{12} = 3,2$  м.

Фактичну швидкість у газозоді  $v_1$  визначаємо за формулою [5], м/с:

$$v_i = \frac{Q_{pi}}{\omega_i},$$

де  $\omega_i$  – площа поперечного перерізу газоходу, м<sup>2</sup>.

$$v_{12} = \frac{4 \times Q_{p12}}{\pi \times d_{12}^2} = \frac{4 \times 137,317}{3,14 \times (3,2)^2} = 17,083 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_{12} = \frac{v_{12} \times d_{e12} \times \rho_{e12}}{\eta_{12}} = \frac{17,083 \times 3,2 \times 1,113}{18,759 \times 10^{-6}} = 3243393,187.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою :

$$Re_{12} \times \frac{k_e}{d_{e12}} = 3243393,187 \times \frac{0,3 \times 10^{-3}}{3,2} = 304,068.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\lambda_{12} = 0,11 \times \left( \frac{68}{Re_{12}} + \frac{k_e}{d_{12}} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{68}{3243393,187} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{3,2} \right)^{0,25} = 0,0114.$$

$$\begin{aligned} \Delta p_{mp\ 12} &= \lambda_{12} \times \frac{l_{12}}{d_{y12}} \times \rho_{12\ z} \times \frac{v_{12}^2}{2} = 0,0114 \times \frac{5}{3,2} \times 1,113 \times \frac{(17,083)^2}{2} = \\ &= 2,893. \end{aligned}$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m12} = \sum \zeta_{12} \times \rho_{a12} \times \frac{v_{12}^2}{2} = 0,47 \times 1,113 \times \frac{(17,083)^2}{2} = 76,329.$$

Сумарні втрати тиску на дванадцятій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{nom 12} = \Delta p_{mp 12} + \Delta p_{m 12} = 2,893 + 76,329 = 79,222.$$

**ХІІІ розрахункова ділянка.** Визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці:

$$\rho_{e 13} = \rho_{0 e} \times \frac{273}{(273 + t_{e13}^0)} \times \frac{(p_{бар} - p_{e13})}{101,3} = 1,293 \times \frac{273}{(273 + 23)} \times \frac{(99,4 - 4,581 - 0,258 - 0,79)}{101,3} = 1,112.$$

$$Q_{p 13} = Q_{0 13} \times \frac{(273 + t_{e13}^0)}{273} \times \frac{101,3}{(p_{бар} \pm p_{13})} = 212750 \times \frac{(273 + 23)}{273} \times \frac{101,3}{(99,4 - 4,581 - 0,258 - 0,79)} = 247377,703 \frac{m^3}{ч} = 68,716 \frac{m^3}{с}.$$

Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості витрати за формулою [5], м:

$$d_{13} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{p 13}}{\pi \times v_{розр}}},$$

де  $v_{розр}$  – швидкість газу у трубопроводі, м/с.

Швидкість руху газу трубопроводі приймається не більше 15...20 м/с.  
 Приймаємо  $v_{розр} = 18$  м/с.

$$d_{13} = \sqrt{\frac{4 \times 68,716}{3,14 \times 18}} = 2,21 \text{ м.}$$

Приймаємо нестандартний діаметр  $d_{13} = 2,2$  м.

Фактичну швидкість у газоході  $v_1$  визначаємо за формулою [5], м/с:

$$v_i = \frac{Q_{pi}}{\omega_i},$$

де  $\omega_i$  – площа поперечного перерізу газоходу, м<sup>2</sup>.

$$v_{13} = \frac{4 \times Q_{p13}}{\pi \times d_{13}^2} = \frac{4 \times 68,716}{3,14 \times (2,2)^2} = 18,086 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_{13} = \frac{v_{13} \times d_{e13} \times \rho_{e13}}{\eta_{13}} = \frac{18,086 \times 2,2 \times 1,112}{18,759 \times 10^{-6}} = 2358632,678.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже, режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою :

$$Re_{13} \times \frac{k_e}{d_{e13}} = 2358632,678 \times \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,2} = 321,632.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\lambda_{13} = 0,11 \times \left( \frac{68}{\text{Re}_{13}} + \frac{k_e}{d_{13}} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{68}{2358632,678} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,2} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,0125.$$

$$\Delta p_{mp\ 13} = \lambda_{13} \times \frac{l_{13}}{d_{y13}} \times \rho_{13\ z} \times \frac{v_{13}^2}{2} = 0,0125 \times \frac{20}{2,2} \times 1,112 \times \frac{(18,086)^2}{2} =$$

$$= 20,667.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m13} = \sum \zeta_{13} \times \rho_{a13} \times \frac{v_{13}^2}{2} = 1,99 \times 1,112 \times \frac{(18,086)^2}{2} = 361,920.$$

Сумарні втрати тиску на тринадцятій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{nom\ 13} = \Delta p_{mp\ 13} + \Delta p_{m\ 13} = 20,667 + 361,920 = 382,587.$$

Сумарні втрати на X-XIII розрахункових ділянках:

$$\Delta p = \sum_{i=1}^m \Delta p_{mp\ i} + \sum_{i=1}^m \Delta p_{m\ i} = \Delta p_{nom\ 10} + \Delta p_{nom\ 11} + \Delta p_{nom\ 12} +$$

$$+ \Delta p_{nom\ 13} = 258,051 + 21,468 + 79,222 + 382,587 = 741,328 \text{ Па}$$

Сумарні втрати на I-XIII ділянках:

$$\Delta p = \sum_{i=1}^m \Delta p_{mp\ i} + \sum_{i=1}^m \Delta p_{m\ i} = \Delta p_{nom\ 1-9} + \Delta p_{nom\ 10-13} = 4581 + 741,328 = 5323 \text{ Па} =$$

$$= 5,323 \text{ кПа}.$$



**XIV розрахункова ділянка.** Визначаємо щільність, витрата за робочих умов, швидкість газу в трубопроводі, втрати тиску на ділянці після димососу:

$$\rho_{z14} = \rho_{0z} \times \frac{273}{(273 + t_{z14}^0)} \times \frac{(p_{бар} + (p_{z дим} \cdot 9,81 - \sum \Delta p_{1-13}))}{101,3} = 1,293 \times$$

$$\times \frac{273}{(273 + 23)} \times \frac{(99,4 + ((555 \cdot 9,81) / 1000 - 5,323))}{101,3} = 1,166.$$

$$Q_{p14} = Q_{014} \times \frac{(273 + t_{z14}^0)}{273} \times \frac{101,3}{(p_{бар} + (p_{z дим} \cdot 9,81 - \sum \Delta p_{1-13}))} = 212750 \times$$

$$\frac{(273 + 23)}{273} \times \frac{101,3}{(99,4 + ((555 \cdot 9,81) / 1000 - 4,581 - 0,741 - 2))} = 235846,487 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} =$$

$$= 65,513 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Діаметр трубопроводу на розрахунковій ділянці визначаємо з рівняння сталості витрати за формулою [5], м:

$$d_{14} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{p14}}{\pi \times v_{розр}}},$$

де  $v_{розр}$  – швидкість газу у трубопроводі, м/с.

Швидкість руху газу трубопроводі приймається не більше 15...20 м/с. Приймаємо  $v_{розр} = 20$  м/с.

$$d_{14} = \sqrt{\frac{4 \times 65,513}{3,14 \times 20}} = 2,04 \text{ м.}$$

Приймаємо нестандартний діаметр  $d_{14} = 2,0$  м.

Фактичну швидкість у газоході  $v_l$  визначаємо за формулою[6], м/с:

$$v_i = \frac{Q_{pi}}{\omega_i},$$

де  $\omega_i$  – площа поперечного перерізу газоходу, м<sup>2</sup>.

$$v_{14} = \frac{4 \times Q_{p14}}{\pi \times d_{14}^2} = \frac{4 \times 65,513}{3,14 \times (2,0)^2} = 20,864 \text{ м/с.}$$

Розраховуємо число Рейнольдса:

$$Re_{14} = \frac{v_{14} \times d_{y14} \times \rho_{a14}}{\eta_{14}} = \frac{20,864 \times 2,0 \times 1,166}{18,759 \times 10^{-6}} = 2593680,260.$$

Значення числа Рейнольдса більше критичного, отже режим руху газу турбулентний.

Визначаємо критерій зони турбулентності за формулою:

$$Re_{14} \times \frac{k_e}{d_{e14}} = 2593680,260 \times \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,0} = 389,052.$$

Так як значення критерію зони турбулентності знаходиться в межах від 10 до 500, рух відбувається в зоні змішаного опору, для якої справедлива формула Альтшуля:

$$\begin{aligned} \lambda_{14} &= 0,11 \times \left( \frac{68}{Re_{14}} + \frac{k_y}{d_{14}} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left( \frac{68}{2593680,260} + \frac{0,3 \times 10^{-3}}{2,0} \right)^{0,25} = \\ &= 0,0127. \end{aligned}$$

$$\Delta p_{mp\ 14} = \lambda_{14} \times \frac{l_{14}}{d_{y14}} \times \rho_{14z} \times \frac{v_{14}^2}{2} = 0,0127 \times \frac{5}{2,0} \times 1,166 \times \frac{(20,864)^2}{2} = 8,058.$$

Втрати тиску на місцевих опорах рівні, Па:

$$\Delta p_{m14} = \sum \zeta_{13} \times \rho_{z13} \times \frac{v_{13}^2}{2} = 0,8 \times 1,166 \times \frac{(20,864)^2}{2} = 203,027.$$

Сумарні втрати тиску на чотирнадцятій розрахунковій ділянці рівні, Па:

$$\Delta p_{nom\ 14} = \Delta p_{mp\ 14} + \Delta p_{m\ 14} = 8,058 + 203,027 = 211,085$$

Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.6, 2.7.

## 2.6 Вибір димососу

Димосос вибираємо на основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту. Продуктивність димососу  $Q_d$  приймаємо із запасом 10% [6] незалежно від температури газів, але з поправкою на барометричний тиск  $p_{бар} = 99,4$  кПа:

$$Q_d = 1,1 \times Q_p \times \frac{101,3}{p_{бар}}$$

На тринадцятій розрахунковій ділянці, де встановлюємо димосос,  $Q_p = 68,716 \text{ м}^3/\text{с} = 247377,703 \text{ м}^3/\text{год}$  за робочих умов.

$$Q_{\dot{a}} = 1,1 \times 247377,703 \times \frac{101,3}{99,4} = 277316,876 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таблиця 2.6 – Параметри газового потоку

Розрахункова ділянка	Середня температура, $t^0, ^\circ\text{C}$	Щільність газу $\rho_g, \text{кг/м}^3$	Динамічна в'язкість $\eta \times 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$	Витрата газу при НФУ $Q_0', \text{м}^3/\text{год}$	Витрата газу за робочих умов $Q_p, \text{м}^3/\text{год}$	Швидкість газу $v, \text{м/с}$	Число Рейнольдса $Re$	Критерій зони турбулентності $Re \times \frac{k}{e}$
I ділянка	24	1,164	18,795	80500	89430,87	5,943	750838,525	110,417
II ділянка	24	1,164	18,795	161000	172870,062	11,488	1451393,737	213,440
III ділянка	24	1,163	18,795	241500	261233,936	17,360	2191377,877	322,261
IV ділянка	24	1,201	18,795	322000	358826,101	22,809	3031588,546	437,248
V ділянка	33	1,189	19,209	405100	466479,391	21,070	3260480,764	391,258
VI ділянка	38	1,079	19,436	717300	842592,889	23,006	4597885,697	383,157
VII ділянка	37,4	1,095	19,398	735300	868183,691	20,198	4446621,250	342,048
VIII ділянка	34,5	1,1	19,272	849800	998767,004	23,236	5172397,206	397,877
IX ділянка	34,5	1,099	19,272	851000	999667,145	-	-	-
X ділянка	23	1,116	18,759	851000	985767,054	16,485	4511295,698	294,215
XI ділянка	23	1,113	18,759	638250	741342,869	16,396	3891198,465	291,840
XII ділянка	23	1,113	18,759	425500	494340,809	17,083	3243393,187	304,068
XIII ділянка	23	1,112	18,759	212750	247377,703	18,086	2358632,678	321,632
XIV ділянка	23	1,166	18,759	212750	235846,487	20,864	2593680,260	389,052

Таблиця 2.7 – Результати аеродинамічного розрахунку газового тракту

Розрахункова ділянка	Витрата газу при ДФУ $Q_p$ , м <sup>3</sup> /с	Довжина ділянки $l$ , м	Діаметр газоходу $d$ , м	Коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda$	Коефіцієнт місцевого опору $\zeta$	Втрати тиску на тертя за довжиною $p_{тр}$ , Па	Втрати тиску на місцевих опорах $p_m$ , Па	Сумарні втрати тиску $p_{ном}$ , Па
								200
I ділянка	24,824	20	2,2x1,9	0,0137	0,720	2,761	14,800	17,561
II ділянка	48,019	8,2	2,2x1,9	0,0130	0,550	4,014	42,245	46,259
III ділянка	72,565	15,3	2,2x1,9	0,0127	1,280	16,692	224,315	241,008
IV ділянка	99,674	9,9	2,3x1,9	0,0125	0,870	18,587	271,797	290,384
V ділянка	129,578	22,2	3,1x2,1	0,0120	1,274	28,124	336,241	364,365
VI ділянка	234,054	90	3,6	0,0109	2,150	77,811	613,921	691,731
VII ділянка	241,162	10	3,9	0,0108	2,056	6,185	459,223	465,409
VIII ділянка	277,435	20	3,9	0,0107	0,840	16,294	249,439	265,733
IX ділянка	277,685	-	-	-	0	0	0	1998,9
X ділянка	273,824	45	4,6	0,0104	1,6	15,428	242,623	258,051
XI ділянка	205,929	5	4,0	0,0108	0,13	2,020	19,448	21,468
XII ділянка	137,317	5	3,2	0,0114	0,47	2,893	76,329	79,222
XIII ділянка	68,716	20	2,2	0,0125	1,99	20,667	361,920	382,587
XIV ділянка	65,513	5	2	0,0127	0,8	8,058	203,027	211,085
Сумарний опір газівідвідного тракту	-	-	-	-	-	219,533	3115,329	5533,762

Тиск (розрідження), що створюється димососом, приведений до умов каталогу [6], за яким вибирається димосос  $\Delta p_{кат}$ , приймається рівним:

$$\Delta p_{кат} = 1,2 \times \Delta p_p \times K,$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу;

$\Delta p_p$  – сумарний опір газовідвідного тракту, отриманий внаслідок аеродинамічного розрахунку;

$K$  – коефіцієнт перерахунку.

$$K = \frac{(273 + t_2) \cdot 101,3 \cdot \rho_{ог}}{(273 + t_{кат}) \cdot p_{бар} \cdot \rho_{ов}}.$$

Щільність газу за нормальних фізичних умов визначена у пункті 2.5. Вона рівна  $\rho_{ог} = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>;  $t_{кат} = 200$  °С [6].

Середня температура газу на тринадцятій розрахунковій ділянці  $\bar{t}_2 = 23$ °С.

$$K = \frac{(273 + 23) \cdot 101,3 \cdot 1,293}{(273 + 200) \cdot 99,4 \cdot 1,293} = 0,638.$$

$$\Delta p_{кат} = 1,2 \times 5323 \times 0,638 = 4075 \text{ Па} = 4,075 \text{ мм вод. ст.}$$

Приймаємо до встановлення димосос ДН–26×2 [6] з такими характеристиками:

- витрата газу  $Q_{кат} = 280000$  м<sup>3</sup>/час = 77,78 м<sup>3</sup>/с;
- тиск, що створюється (розрідження) 555 мм в. ст. = 5444,55 Па;
- коефіцієнт корисної дії  $\eta = 0,77$ ;
- число обертів  $n = 745$  об/хв.

Потужність димососу визначаємо за формулою, кВт:

$$N = \frac{Q_{кат} \times P_{кат}}{\eta_{кат} \times K} \times 10^{-3}.$$

$$N = \frac{77,78 \times 4073}{0,77 \times 0,638} \times 10^{-3} = 645,18 \text{ (кВт)}.$$

Димосос комплектується двигуном АДО-1000-8У1. Потужність електродвигуна 1000 квт. Напруга у мережі 6000 В.

Усього таких димососів 4, які встановлені на паралельних ділянках перед димарем.

## 2.7 Характеристика аспіраційної системи

Кваліфікаційною роботою передбачено два варіанти відсмоктування:

I варіант – при працюючих відсмоктуваннях від скімера і льотки №1;

II варіант – при працюючих відсмоктуваннях від скімера і льотки №2.

Зазначені варіанти відсмоктування мають три режими роботи.

**1-й режим.** У роботі димосос В 1.1., що забезпечує відсмоктування від скіпової ями та приймальної воронки засипного апарату. Обсяг аспіраційного повітря, що надходить на очищення становить 260 тис. м<sup>3</sup>/год.

**2-й режим.** У роботі димососи 1.1.; У 1.2; У 1.3, що забезпечують відсмоктування від скіпової ями і приймальної воронки засипного апарату, відсмоктування від відповідної льотки №1 і №2, скімера і відсмоктування від укриття одного з жолобів зливу чавуну, що хитається (в залежності від напрямку зливу чавуну в ківш). Загальний обсяг аспіраційного повітря, що надходить на очищення згідно з роботою, становить 760 тис. м<sup>3</sup>/год.

**3-й режим.** У роботі димососи 1.1; У 1.2; В 1.3; У 1,4, що забезпечують додатково до перерахованих у режимі №2 відсмоктувачів, відсмоктування від укриття одного з двох жолобів, що хитається, зливу шлаку (в залежності від напрямку зливу шлаку в ківш). Загальний обсяг аспіраційного повітря, що надходить на очищення згідно з роботою, становить 840 тис м<sup>3</sup> /год.

Після закінчення розливання відключаються димососи В1.2; В1.3; В1.4 і залишається у роботі димосос В 1.1.

Уловлений і накопичений у бункерах рукавного фільтра пил за допомогою трубчастих конвеєрів подається в бункер-накопичувач, а потім на встановлення в пункти повторного використання.



### **3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

#### **3.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища**

Виплавка чавуну в доменних печах потребує суворого дотримання правил техніки безпеки. Повна безпека праці людини у виробничих умовах визначається трьома факторами: безпекою виробничого обладнання, безпекою виробничого процесу та безпекою трудового процесу. Ці три складові безпеки праці тісно пов'язані між собою.

Величезний вплив на безпеку праці загалом надає безпека виробничого обладнання. Будь-яке порушення технологічного процесу завжди може бути пов'язане з можливістю прориву, викиду або виплеску розплавленого металу або шлаку, розпечених шихтових матеріалів [7]. У виробництві чавуну найнебезпечнішими з погляду травматизму є виробничі ділянки.

Висока температура, при якій ведеться плавка, відносно велика теплопровідність вогнетривкого матеріалу, що застосовується для кладки печей, наявність металевої арматури (двері, люки та ін.), які стикаються безпосередньо з нагрітими частинами печей, обумовлюють високу температуру зовнішніх поверхонь. Це створює несприятливі умови праці робітників, які обслуговують печі. Підвищена небезпека травматизму виникає при зливі металу та шлаку з печі [7].

При автоматизації та механізації багатьох процесів можна значно полегшити працю робітників, а також виключити багато потенційних небезпек на виробництві. У цеху 60% робіт механізовано.

Окремі операції доменного процесу супроводжуються шкідливими виробничими факторами: виділенням великої кількості тепла та пилу, підвищеним рівнем шуму.

Так як доменний цех – це гарячий цех, то через наявність великої кількості надлишкового тепла відбувається значне підвищення температури

повітря. Неприятливий вплив високих температур повітря посилюється впливом тепла, що випромінюється. Джерелами теплових випромінювань є: розплавлений чавун та шлак, нагріта до високої температури вогнетривка футеровка внутрішнього простору печі та поверхня розплавленого шлаку, вплив яких проявляється при відкритих вікнах печі. Робочі доменні цехи періодично піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях в залежності від розмірів та температури джерел випромінювання та відстані складає близько  $560 \text{ Вт/м}^2$  [8]. Підвищений тепловий вплив на організм людини призводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може спричинити порушення теплового балансу організму [9].

Шкідливим чинником є наявність високої концентрації пилу повітря робочої зони, її концентрація сягає  $16\text{-}19 \text{ мг/м}^3$ . Доменний пил фіброгенної дії. Такий пил може шкідливо впливати на організм людини, дратуючи шкіру, очі, ясна, вуха. Проникаючи у легені, пил може спричинити специфічні професійні захворювання. Гранично допустима концентрація пилу повітря робочої зони виробничих приміщень становить  $4 \text{ мг/м}^3$ .

Найбільш ефективними засобами боротьби з пилом є механізація виробничих процесів та герметизація операцій. Також необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, зокрема респіратор ШБ-2 «пелюстка».

У доменному цеху є такі шкідливі виробничі чинники, як шум і вібрація. Це зумовлено пересуванням великогабаритних машин та механізмів, падінням великих матеріалів з висоти, горінням металу в печі тощо.

Шум визначають як звук, що оцінюється негативно і завдає шкоди здоров'ю. Прояв шкідливого впливу шуму на організм людини дуже різноманітний. Все це знижує працездатність людини та її продуктивність, якість та безпеку праці. На робочому місці фактичне значення шуму досягає  $86 \text{ дБА}$  [10].

Вібрація, що є в доменному цеху, на горнового діє незначно, і не перевищує нормативного значення.

Оцінка факторів виробничого та трудового процесу для горнового доменного цеху представлена у таблиці 3.1.

Умови праці робочому місці горнового ставляться до шкідливим і важким. Робоче місце має в наявності один виробничий фактор 1-го ступеня, два фактори 2-го ступеня та один фактор 3-го ступеня небезпеки. Категорія важкості праці третя.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу  
Професія горновий

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Норматив. Значення (ПДК, ПДУ)	Фактичне значення	III клас Шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> 2 клас небезпеки марганцю оксиди 3 клас небезпеки азоту діоксид ангідрид сірчистий вуглецю оксид	0,3  2,0 10,0 20,0	0,28  1,6 6,8 13,5				
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4	18,5		4,6 p		80
3	Вібрація (загальна та локальна), дБ						
4	Шум, дБА	80	86	6			80
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
7	Мікроклімат у приміщенні в теплий період року						
	- Температура повітря, °C	15...26	37			10	90
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2...0,6	0,45	1,5			90
	- відносна вологість повітря, %	<75	44				
	- інфрачервоне випромінювання,	140	560		560		90
8	Тяжкість праці	3	3				

### 3.2 Технічні рішення щодо виробничої санітарії

**Опалення та вентиляція.** Важливе значення для нормальної життєдіяльності людини має наявність чистого повітря необхідного хімічного складу та температури, вологості та швидкості руху. На підтримку цих параметрів відповідно до нормативних документів направлено заходи щодо опалення та вентиляції доменного цеху.

Опалення основних виробничих приміщень передбачається повітряне, поєднане із припливною вентиляцією. Приплив здійснюється великими установками, розташованими групами. У приміщеннях невеликої висоти з великою кількістю обладнання, роздача повітря здійснюється повітророзподільчими насадками безпосередньо у робочу зону.

Внаслідок виділення великої кількості надлишкового тепла в доменному цеху потрібен значний повітрообмін, особливо влітку.

За застосуванням способом переміщення повітря розрізняють природну та механічну (штучну) вентиляцію. При змішаній вентиляції поєднується природна та механічна вентиляція у різних варіантах.

Природна вентиляція здійснюється завдяки різниці температур повітря в приміщенні та поза ним (тепловий натиск) та впливу вітру (вітровий напір). Для аерації зазвичай влаштовують отвори в поздовжніх стінах будівлі: нижній ряд (для припливу повітря у теплий період року) – на рівні не більше 1,8 м; верхній ряд (для припливу повітря взимку та влітку) – на рівні не менше 4 м. На покрівлі будівлі встановлюють аераційний ліхтар.

Механічна вентиляція в доменному цеху здійснюється за допомогою великих, централізованих вентиляційних установок [11].

**Освітлення.** Одним із важливих параметрів виробничої обстановки є раціональне освітлення. Незадовільне висвітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці і може спричинити нещасні випадки та захворювання очей. Розрізняють природне та штучне освітлення.

Природне освітлення у приміщенні створюється сонячним світлом через

світлові отвори, і поділяється на бічне (через отвори в стінах), верхнє (через світлові отвори в аераційних ліхтарях), комбіноване (одночасно через світлові отвори в стінах та аераційних ліхтарях).

Основний показник – коефіцієнт природної освітленості (КПО) – відношення природної освітленості, створюваної в певній точці заданої площини всередині приміщення світлом піднебіння безпосередньо або після відбиття ( $E_B$ ), до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості створюваної світлом повністю відкритого небосхилу ( $E_H$ ).

Нормоване значення КПО. ( $e_n$ ) з урахуванням характеру зорової роботи та світлового клімату в районі розташування будівлі визначається за формулою [12]:

$$e_n = e \cdot m \cdot c,$$

де  $e$  – значення К.П.О. (%), визначається з урахуванням характеру зорової роботи;

$m$  – коефіцієнт світлового клімату Територія заводу знаходиться у VI поясі світлового клімату,  $m = 0,9$  [10];

$c$  – коефіцієнт сонячного клімату,  $c = 0,85$ ,

$$e_n = 0,3 \cdot 0,9 \cdot 0,85 = 0,23.$$

Штучне освітлення необхідне проведення робіт у темний час доби чи місцях без достатнього природного висвітлення.

Штучне освітлення характеризується номінальними значеннями напруги, потужності, світлового потоку, лінійними розмірами.

У гарячих цехах особливістю є наявність у полі зору працюючих предметів, що самосвітяться (полум'я, розплавленого і нагрітого металу і шлаку). Яскравість полум'я розплавлених металу і шлаку зазвичай значно вища за яскравість навколишнього фону і шкідлива для очей. Умови роботи вимагають розгляду поверхонь, що світяться, для спостереження за ходом

процесу, визначення на око температури, якості металу і шлаку та ін. послідовного образу, утруднити розрізнення інших предметів.

Для забезпечення ясного розрізнення після фіксації очима поверхонь, що світяться, необхідно створювати певну яскравість поля адаптації (тобто забезпечити певний рівень освітленості навколишнього фону), уникати різкої відмінності на робочих поверхнях і в полі зору, що оточує робочі поверхні.

У відповідності з цим для робіт з предметами, що самосвітяться (VII розряд) встановлена мінімальна загальна освітленість лампами розжарювання 150 лк. Застосування голих ламп не дозволяється. Для освітлення застосовуються освітлювальні прилади (поєднання лампи з освітлювальною арматурою).

У доменному цеху використовують лампи розжарювання НГД 127-100 (напруга на лампі 127 В, потужність 100 Вт), світильник «Універсаль». Їхній коефіцієнт запасу становить  $K = 1,3$ .

Аварійне освітлення влаштовують із незалежним джерелом живлення. Аварійне освітлення для продовження робіт створює на робочих поверхнях освітленість не менше 5% прийнятих норм для загального освітлення. Для евакуації людей аварійне освітлення створює освітленість на підлозі основних проходів і сходах у приміщеннях не менше 0,5 лк і на відкритих територіях не менше 0,2 лк [10].

**Виробничий шум, виробнича вібрація.** У цеху використовується найрізноманітніше обладнання, експлуатація якого супроводжується інтенсивним шумом, що значно погіршує умови праці. Майже у будь-якому технологічному процесі виникають небажані вібрації. Серед усіх видів механічних впливів для технічних об'єктів найнебезпечніша вібрація. Знакозмінні напруги, викликані вібрацією, сприяють накопиченню пошкоджень у матеріалах, появі тріщин та руйнуванню. Найчастіше і досить швидко руйнація об'єкта настає за вібраційних впливів за умов резонансу. Вібрація викликає також і відмови у роботі машин, приладів [10].

Вібрація – це складний коливальний процес, що виникає при

періодичному зміщенні центру ваги якогось тіла від положення рівноваги. При частоті більше 16...20 Гц вібрація супроводжується шумом.

Людина починає відчувати вібрацію при коливальній швидкості, приблизно  $1 \times 10^{-4}$  м/с, а при швидкості 1 м/с виникають болючі відчуття. У виробничих умовах тривалий вплив вібрації призводить до різних порушень здоров'я людини і, зрештою, до вібраційної хвороби. Вібрація в доменному цеху незначна та періодична, тому засобів захисту від неї не передбачено.

Шум визначають як звук, що оцінюється негативно і завдає шкоди здоров'ю. Прояв шкідливого впливу шуму на організм людини дуже різноманітний.

Тривале вплив інтенсивного шуму (понад 80дБ) на слух людини призводить до його часткової або повної втрати.

Дія шуму на організм людини не обмежується впливом на орган слуху. Через волокна слухових нервів подразнення шумом передається в центральну та вегетативну нервову систему, а через них впливає на внутрішні органи, призводячи до значних змін у функціональному стані організму, впливає на психологічний стан людини, викликаючи почуття занепокоєння та роздратування.

Правильна організація праці та відпочинку у галасливих приміщеннях сприяє профілактиці професійних захворювань. Не допускається вплив вібрації та шуму протягом понад 50-60% робочого часу [10].

**Виробничі випромінювання.** Джерелами інтенсивних теплових випромінювань є: розплавлений чавун і шлак, нагріта до високої температури вогнетривка футерування внутрішнього простору печі та поверхня розплавленого шлаку, вплив яких проявляється при відкритих вікнах печі.

Теплові впливи на організм людини можуть бути причиною швидкої втоми, зниження працездатності, ослаблення опірності організму до шкідливих впливів, різних захворювань: теплового виснаження, теплового удару, судом, катаракти очей.

Для видалення надлишків тепла використовують аерацію та вентиляцію,

всі джерела виділення тепла піддають ізоляції. Поширеним способом захисту від опромінення є екранування, розрізняють екрани відбиття, поглинання та тепловідведення.

Спецодяг робітників повинен бути незаймистим, стійким до впливу теплового випромінювання, міцним і повітропроникним.

Організм людини виділяє значну кількість води, особливо при інтенсивному тепловому випромінюванні, що спричиняє згущення крові, порушення діяльності серцево-судинної системи, харчування тканин та органів. Для підтримки нормальної життєдіяльності необхідно регулярне поповнення втрат води. Разом із водою (потім) організм втрачає до 1% мінеральних солей та вітаміни. Ця втрата має бути відшкодована. Для відновлення порушеного водного балансу в організмі робітників постачають підсоленою (0,5% кухонної солі) газованою водою з розрахунку 4-5 дм на людину за зміну [10].

### **3.3 Заходи з техніки безпеки**

Перед початком роботи на ділянці, що проектується, необхідно перевірити справність обладнання, інструменту, огорож, захисного заземлення, вентиляції. Під час роботи необхідно дотримуватися всіх правил використання технологічного обладнання, дотримуватися правил безпечної експлуатації транспортних засобів, вантажопідйомних механізмів, дотримуватися вказівок щодо безпечного утримання робочого місця.

В аварійних ситуаціях необхідно неухильно виконувати всі правила, що регламентують поведінку персоналу при виникненні аварій та ситуацій, які можуть призвести до аварій та нещасних випадків.

Ділянка повинна бути оснащена необхідними запобіжними плакатами, обладнання повинне мати відповідне забарвлення, повинна бути виконана розмітка проїжджої частини проїздів.

Сама ділянка має бути спланована відповідно до вимог техніки безпеки, а саме дотримання: ширини проходів, проїздів, мінімальна відстань між



обладнанням. Всі ці відстані повинні бути не менш допустимими [13].

Під електробезпекою розуміється система організаційних заходів та технічних засобів, які забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статистичної електрики.

В умовах доменного цеху найбільшу небезпеку становить вплив електричного струму та електричної дуги.

Ураження людини електричним струмом можливе при попаданні його в зону дії електричної дуги або включення в електричний ланцюг електроустановки. Тому в електроустановках напругою вище 1000 В передбачають заходи, що унеможливають дотик або небезпечне наближення до струмоведучих частин.

З урахуванням середовища у виробничих приміщеннях доменного цеху його можна віднести до особливо небезпечних приміщень для ураження електричним струмом. Тут присутні такі фактори: підвищена температура повітря, струмопровідна підлога, можливість одночасного дотику до металевих конструкцій електричного обладнання та металевих конструкцій, з'єднаних із землею.

З урахуванням зазначеного вище, зробимо вибір електромережі для живлення доменного цеху. За технологічними вимогами вибираємо трьохфазну чотирипровідну мережу із ізольованою нейтраллю. Така мережа безпечніша за умови дотику до фазного проводу в період нормального режиму роботи мережі.

Для забезпечення надійної та безпечної роботи електроустановок справний стан ізоляції є однією з головних умов. У доменному цеху є захисне занулення, як засіб захисту від електричного струму [14].

### **3.4 Заходи пожежної безпеки**

Головну пожежну небезпеку в доменному цеху становлять вибухи газу, а також вибухи металу та шлаку. Для цих явищ характерно те, що вони на

відміну від звичайних пожеж становлять безпосередню небезпеку

життя працюючих. Можливість звичайних пожеж у доменному цеху відносно невелика, так як у зв'язку з високотемпературними технологічними процесами, що застосовуються, всі елементи будівель виконані з вогнетривких матеріалів.

Також, разом з доменним газом з печі виноситься значна кількість пилу, що утворився внаслідок випаровування сирих матеріалів та конденсації парів летких речовин. Колошниковий пил самозаймистий, що нерідко призводять до вибухів газу в пиловловлювачах і газопроводах брудного газу [15].

Щоб запобігти загорянню та вибухам у процесі експлуатації будівель та технологічних установок, необхідно вживати відповідних заходів ще на стадії проектування. Оскільки найбільша небезпека створюється при розвитку пожежі та вибуху у виробничому приміщенні, розробку профілактичних заходів зазвичай починають із визначення категорії приміщень за рівнем вибухопожежонебезпеки. Залежно від характеристики використовуваних речовин та особливостей технологічного процесу відповідно до СНіП II-90-81 «Виробничі будинки промислових підприємств». Норми проектування виробництва поділяються за вибуховою, вибухопожежною та пожежною небезпекою на шість категорій.: А, Б, В, Г, Д, Е.

Виходячи із СНіП II-90-81 та характеристик вибухопожежонебезпечності речовин, можна провести категорювання ділянок та пристроїв доменного виробництва за вибуховою, вибухопожежною та пожежною небезпекою. До категорії А належить апаратура, заповнена коксовим чи природним газом. До категорії Б слід віднести систему газоочищення доменного газу, міжконусний простір колошника, а також установки для вдування вугільного пилу, відділення кульових млинів, де готують пил, розподільно-дозувальні відділення. До категорії Р відносять ливарний двір, тобто. ділянки виробництва з обробки вогнетривких речовин у гарячому або розплавленому стані та супроводжуються випромінюванням тепла та виділенням полум'я та іскор.

Усі кабельні та інші електротехнічні приміщення обладнані

автоматичною пожежною сигналізацією. Приймальні станції цієї сигналізації зазвичай встановлюють на пультах керування печами або у чергового в машинному залі.

Важливе значення задля забезпечення пожежної безпеки мають чистота території, справність устаткування, шляхи евакуації працюючих. Головною та необхідною вимогою для забезпечення пожежної безпеки є безумовне та точне виконання персоналом вимог щодо експлуатації обладнання, інструкції з технології та техніки безпеки, дотримання трудової дисципліни.

У доменному цеху найзручніша в експлуатації установка газового пожежогасіння з тросовим пуском. Установки газового гасіння досить ефективні під час придушення пожеж, особливо у початковій стадії розвитку.

Норми первинних засобів пожежогасіння в доменному виробництві на одну домну передбачають один пінний вогнегасник, шість вогнегасників ВВ-5 або ВВ-8, чотири ящики з піском [16].

### **3.5 Розрахунок блискавкозахисту газоочищення доменного цеху**

Схема будівлі газоочищення доменного цеху представлена на рисунку 3.1. Розміри будівлі:  $b = 30$  м,  $a = 10$  м,  $H = 15$  м. Відстань від будівлі до димової труби  $c = 6$  м, висота димової труби  $H = 50$  м, діаметр димової труби  $d = 2$  м. Тип зони захисту – Б. Значить зона захисту має надійність 95 %.

Вибираємо тип блискавковідводу: так як будівля газоочищення доменного цеху має невелику довжину  $b = 30$  м, то приймемо для захисту одиночний стрижневий блискавковідвід, встановлений на щоглі димової труби, що розташовується на поздовжній осі будівлі на краю гирла труби, і перевіримо, чи буде забезпечено блискавкозахист будівлі.

Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу висотою  $h$  являє собою круговий конус, вершина якого знаходиться на висоті  $h_0 < h$ . На рівні землі зона захисту утворює коло радіусом  $r_0$ . горизонтальний розріз зони захисту на висоті будівлі  $h_x$ , що захищається, являє собою коло радіусом  $r_x$ .

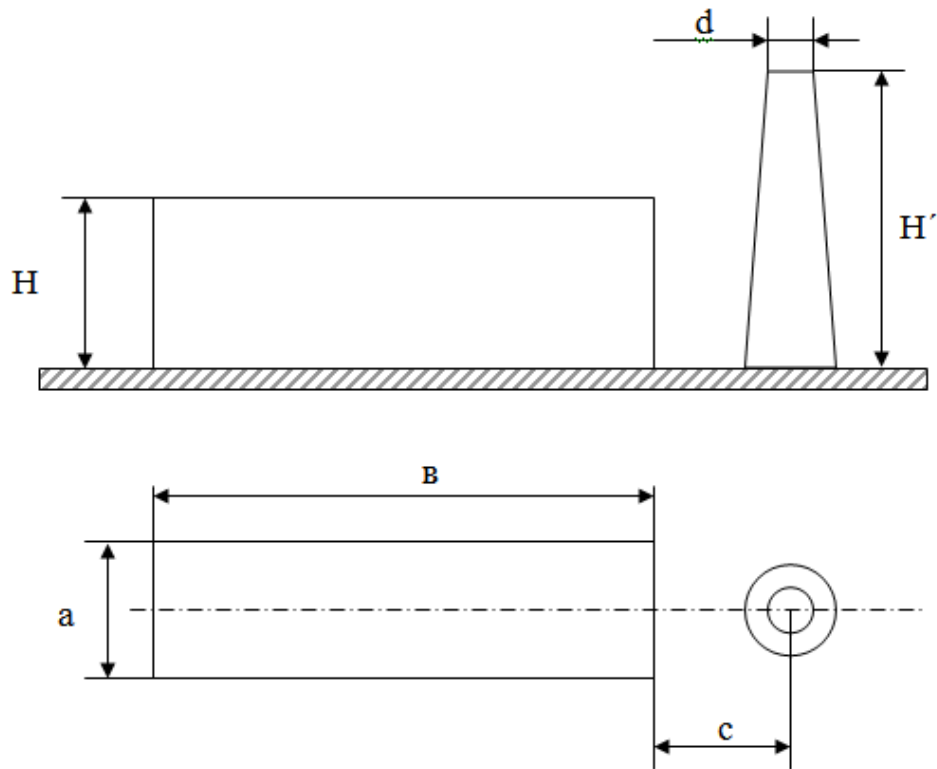


Рисунок 3.1 – Схема будівлі доменного газоочищення

Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу висотою  $h \leq 150$  м для зони захисту Б має такі габаритні розміри:

$$h_o = 0,92 \cdot h;$$

$$r_o = 1,5 \cdot h;$$

$$r_x = 1,5 \cdot (h - h_x / 0,92).$$

Для зони Б висоту одиночного стрижневого відведення блискавки при відомих значеннях  $h_x$  і  $r_x$  можна визначити за формулою:

$$h = (r_x + 1,63 h_x) / 1,5.$$

Прийmemo, що на висоті димаря  $H' = h_x' = 50$  м, радіус зони захисту становить  $r_x' = d/2 = 2/2 = 1$  м, тоді висота блискавковідводу:

$$h = (1 + 1,63 \cdot 50) / 1,5 = 55 \text{ м.}$$

$$h_0 = 0,92 \cdot 55 = 50,6 \text{ м;}$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 55 = 82,5 \text{ м.}$$

Перевіримо знаходження будівлі у зоні захисту на висоті  $h_x = H = 15$  м. Для цього визначимо радіус зони захисту блискавковідводу на цій висоті  $r_x$ . Радіус зони захисту на висоті  $h_x$  має бути із запасом 2 м від краю будівлі, не менше  $r$ :

$$r = d / 2 + c + b + 2 = 2 / 2 + 6 + 30 + 2 = 39 \text{ м.}$$

$$r_x = 1,5(55 - 15 / 0,92) = 58 \text{ м} > 39 \text{ м.}$$

Отже будинок входить у зону захисту одиночного стрижневого блискавковідводу, тобто вибраний стрижневий блискавковідвід забезпечить необхідний блискавкозахист будинку доменного газоочищення.

## ВИСНОВКИ

1. У загальній частині кваліфікаційної роботи було розглянуто влаштування доменної печі, призначення ливарного двору, сировинні матеріали для виплавки чавуну, фізико-хімічні властивості пилогазоповітряної суміші.

2 У другому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто існуючі схеми очищення аспіраційного повітря, розроблено схему системи аспірації від ливарного двору, скіпової ями та приймальної воронки ДП-1 та ДП-2, здійснено аеродинамічний розрахунок газового тракту. Кількість газів, що відбираються, становить  $\approx 1$  млн.  $\text{м}^3/\text{год}$ ; температура газів – 24-37 °С; початкова запиленість – 0,91  $\text{г}/\text{м}^3$ . При розрахунку отримано сумарний опір газового тракту 5,5 кПа.

3. На підставі кількості газів, що відбираються, обрано рукавний фільтр ФРІР-11500, який має пропускну здатність по очищуваному газу більше 1 млн.  $\text{м}^3/\text{год}$  і опір 2-2,5 кПа. Залишкова запиленість пилогазоповітряної суміші після рукавного фільтра становить до 20  $\text{мг}/\text{м}^3$ . Ефективність очищення газів – 99%. На підставі одержаного опору газового тракту обраний димосос ДН-26×2 (4 шт).

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

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посібник. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с.
2. Самойленко Н.М., Аверченко В.І., Байрачний В.Б. Системи технологій та промислова екологія. Ч. І. Металургійний та енергетичний комплекс : навч. посіб. Харків : НТУ «ХП», Лідер, 2020. 212 с.
3. Глущенко О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Пилеуловлювання та очищення промислових викидів». Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012 111 с.
4. Іваненко О.І. Методичні вказівки до виконання самостійної роботи з курсу «Технологія та обладнання захисту атмосфери» для студентів напрямку підготовки: 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування, 2012. 13 с.
5. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. Засоби очищення газових викидів. Навчальний посібник. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 207 с.
6. Благодатний В.В., Магась Н.І., Харитонов Ю.М. Апарати для очищення повітря від забруднень : методичні вказівки. Миколаїв : НУК 2019. 52 с.
7. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : УАД, 2006. 336 с.
8. Зеркалов Д.В. Безпека життєдіяльності та охорона праці. Монографія. Київ : Основа, 2015. 978 с.
9. Сокурєнко В.В., Бандурка О.М., Бортник С.М. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник. Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
10. Сакун М.М., Москалюк І.В. Основи охорони праці. Навчально-методичний посібник. Херсон : «Южполиграфсервис», 2013. 67 с.
11. Зеркалов Д.В. Наукові основи охорони праці. Київ : «Основа», 2015. 934 с.
12. Запорожець О.І., Протоєрейський О.С., Франчук Г.М., Боровик І.М. Основи охорони праці. Підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с.

13. Панченко С.В., Акімов О.І., Бабаєв М.М. Електробезпека: підручник. Харків : УкрДУЗТ, 2018. 295 с.

14. Янчик О.Г., Райко В.Ф., Устинова Н.Д., Котлярова С.В., Ільїнська О.І. Організація електробезпеки в професійній діяльності: навчальний посібник для студентів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів із спеціальності 263 Цивільна безпека. Харків : НТУ «ХПІ», 2022. 304 с.

15. Рожков А.П. Пожежна безпека: навчальний посібник. Київ : Пожінформтехніка, 1999. 256 с

16. Білим П.А. Основи пожежної безпеки : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 Цивільна безпека. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 45 с.