Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні
( назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри )

# Кваліфікаційна робота

на тему *«Розробка системи сухого очищення пилогазових викидів агломераційного виробництва»*

Виконав: студент ___2__ курсу, групи *8.1833-з*_____

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

спеціалізації
_____
(шифр і назва)
___*Ю.А. Матузко*_____
_
Керівник *доцент, к.ф.-м. н. Вагін А.В.*_____

Рецензент *доцент, к.т.н. Бєлоконь К.В.*_____
(

Запоріжжя
2024

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

Кафедра _____*металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*_____

Рівень вищої освіти _____*другий магістерський рівень*_____
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність ___*183 Технології захисту навколишнього середовища*_____
(шифр і назва)

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

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

«____» _____ 2024 року

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

_____*Матузко Юрій Анатолійович*_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) *«Розробка системи сухого очищення пилогазових викидів агломераційного виробництва»*_____

керівник роботи_____*Вагін Андрій Вікторович*_____*к.ф.-м.н., доцент*____
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *"__"*_____ 2024 року *№* _____

2. Строк подання студентом роботи _____*06.12.2024*_____

3. Вихідні дані до роботи *розробити систему сухого очищення пилогазових викидів агломераційного виробництва*_____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *вступ, характеристика агломераційного цеху, екологія агломераційного виробництва, охорона праці та техногенна безпека, економічна частина, висновки, перелік джерел посилань.*_____

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

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата завдання прийняв |
|---|---|---|
| *Розділ 1* | *Вагін А.В., доцент* | |
| *Розділ 2* | *Вагін А.В., доцент* | |
| *Розділ 3* | *Вагін А.В., доцент* | |
| *Розділ 4* | *Вагін А.В., доцент* | |
| *Нормоконтроль* | *Вагін А.В., доцент* | |

7. Дата видачі завдання_____

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| *1* | *Вступ* | | |
| *2* | *Розділ 1* | | |
| *3* | *Розділ 2* | | |
| *4* | *Розділ 3* | | |
| *5* | *Розділ 4* | | |
| *6* | *Презентація* | | |

**Студент** _____ *Юрій МАТУЗКО*

**Керівник роботи** _____ *Андрій ВАГІН*

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер _____ *Андрій ВАГІН*

# Реферат

Кваліфікаційна робота: 101 стор., 18 табл., 17 рис., 15 джерел.

АГЛОМЕРАЦІЙНА МАШИНА, АГЛОМЕРАТ, ЕКОЛОГІЯ, ЦИКЛОН, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР ФРІР, ОХОРОНА ПРАЦІ, ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА, ЕКОНОМІКА.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему сухого очищення пилогазових викидів агломераційного виробництва.

У кваліфікаційній роботі розглянуто пристрій і основне устаткування агломераційного цеху. Розглянуті питання щодо екології агломераційного виробництва. Проаналізовано існуючі способи й апарати газоочищення пилогазових викидів агломераційних машин і виконано розрахунок газоочисної системи. Пропонується наступна схема: з колектора газ поступає на першу ступінь очищення – в шість циклонів марки СЦН-50, потім на другу ступінь очищення – рукавний фільтр ФРІР-3800. Середня ступінь вловлювання агломераційного пилу з відхідних газів агломашини в циклоні СЦН-50 - 91,56%, отже концентрація пилу в газі на виході з циклону складе 0,675 г/м$^3$. Рукавний фільтр працює з рукавами, виконаними з оксалонової тканини, термостійкість якої складає 180...220$^o$С. Тривалість періоду фільтрування між двома регенераціями близько 11 годин. При ефективності рукавного фільтру 98%, залишкова запиленість дорівнює 0,014 г/м$^3$. За результатами розрахунку газовідвідного тракту системи газоочищення, опір якого склав 12976 Па, вибрано два паралельно розміщених димотягів ДЦ-25х2. Розроблені заходи щодо техніки безпеки, виробничої санітарії, електробезпеки агломераційного цеху і протипожежної техніки. Наведено основні положення по організації праці агломераційного цеху; виконаний розрахунок капітальних вкладень і експлуатаційних витрат та собівартості однієї тонни агломерату.

**Зміст**

ВСТУП . . . . . 6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ЦЕХУ . . . 8
1.1 Улаштування агломераційної фабрики . . . . . 8
1.2 Характеристика основного технологічного устаткування агломераційного цеху . . . . . 14
2 ЕКОЛОГІЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА . . . 31
2.1 Характеристика пилогазових викидів агломераційного виробництва 31
2.2 Огляд існуючих способів очищення технологічних викидів агломераційного виробництва . . . . . 34
2.3 Вибір і обґрунтування апаратурно-технологічної схеми очищення технологічних газів агломераційного виробництва . . . . 42
2.4 Розрахунок газоочисного устаткування і газоочисного тракту системи очищення . . . . . 48
2.4.1 Розрахунок циклону типа СЦН-50 . . . . . 48
2.4.2 Розрахунок рукавного фільтру типа ФРІР . . . . 52
2.4.3 Аеродинамічний розрахунок газового тракту газоочисної системи 57
2.4.4 Розрахунок параметрів димаря . . . . . 67
2.4.5 Вибір тягодуттьового пристрою . . . . . 69
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА . . . . 71
3.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища . . . . . 71
3.2 Технічні рішення по виробничій санітарії . . . . . 74
3.3 Заходи щодо техніки електробезпеки . . . . . 80
3.4 Заходи пожежної безпеки . . . . . 82
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА . . . . . 85
4.1 Структура управління і організація в цеху . . . . . 85
4.2 Техніко-економічне обґрунтування дипломного проекту . . 90
4.3 Основні показники роботи цеху . . . . . 95
ВИСНОВКИ . . . . . 98
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ . . . . . 101

# ВСТУП

Агломераційне виробництво, що почало розвиватися у другій половині XIX століття, отримало широке поширення у чорній металургії для огрудкування пилуватих залізних руд та їх концентратів.

Агломерація являє собою процес спікання суміші пилуватих руд з подрібненим паливом у тверді пористі грудки (агломерат).

Як відомо, показники роботи доменної печі в значній мірі залежать від ситового складу завантажувальної залізної руди, коксу та інших шихтових матеріалів. Коефіцієнт використання корисного об’єму доменної печі знаходиться у прямій залежності від змісту заліза в рудній частині шихти та від величини і міцності грудків. Тому велике значення у доменному виробництві має підготовка сировинних матеріалів до плавки.

Сучасними методами такої підготовки є: сортировка і дроблення залізних руд на рудопідготовчих фабриках; збагачення залізних руд на збагачувальних фабриках; усереднення усіх сировинних матеріалів на рудниках і складах; агломерація пилуватих усереднених залізних руд та їх концентратів на агломераційних фабриках. Подальший розвиток виробництва високоякісного офлюсованого агломерату потрібно для збільшення продуктивності доменних печей.

Сучасне агломераційне виробництво є складною системою різних апаратів, що діють в різних режимах і виконують різні функції [1].

У ході агломерації з шихти можуть бути видалені багато шкідливих домішок, у тому числі і сірка. Ця сторона процесу може в окремих випадках вважатися за найбільш важливу, оскільки переробка сірчистої руди в доменній печі пов'язана з погіршенням техніко-економічних показників плавки. Виявляється вигідним подрібнювати кускувату сірчисту руду і знов піддавати її окускуванню шляхом агломерації, видаляючи при цьому з руди велику частину сірки [2].

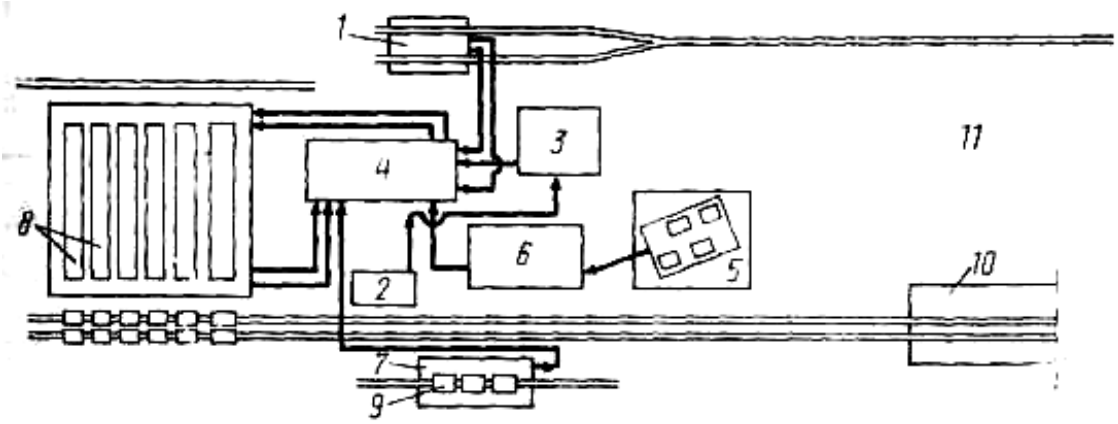
В результаті інтенсифікації процесу спікання агломерату, збільшення корисної потужності тягодуттьового пристрою і продуктивності агломераційних машин зростають об'єми технологічних пилогазових викидів. Тому завданням кваліфікаційної роботи є розробка високоефективного очисного устаткування для агломераційних пилогазових викидів.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ЦЕХУ

## 1.1 Улаштування агломераційної фабрики

Сучасна агломераційна фабрика являє собою складний комплекс споруджень, механізмів і машин, що забезпечують підготовку руди і концентратів до спікання, власне агломерацію й обробку готового агломерату (рис. 1.1). Агломераційна фабрика складається з наступних відділень:

1) Приймальне або рудне відділення.
2) Шихтове відділення.
3) Відділення дроблення і обжигу вапняку.
4) Відділення агломерації і гарячого повернення.
5) Відділення очищення технологічних газів.
6) Оборотний цикл.
7) Вапнякова ділянка.




1 - бункера для прийому руди; 2 - бункера для прийому коксу; 3 - корпус для дроблення коксу; 4 - шихтові бункера; 5 - приймальні воронки для вапняку; 6 - корпус для дроблення вапняку; 7 - бункера для прийому колошникового пилу; 8 - агломераційні машини; 9 - вагони агломерату; 10 - бункера доменного цеху; 11 - рудний двір

Рисунок 1.1 - Схема розміщення ділянок аглофабрики

Улаштування агломераційного цеху в цілому залежить від його продуктивності, а отже від технологічної характеристики і власне кількості агломераційних машин, необхідних для забезпечення необхідної потрібності агломерату.

В таблиці 1.1 приводиться технічна характеристика спікальної машини конвеєрного (стрічкового) типу АКМ1-75.

Таблиця 1.1 - Характеристика спікальної машини типу АКМ1-75

| Показники | Площа спікання машини, 75 м$^2$ |
|---|---|
| 1. Продуктивність, т/год | 75 - 150 |
| 2. Швидкість руху візків, м/хв | 1,5-4,5 |
| 3. Довжина робочої поверхні машини, м | 30,0 |
| 4. Ширина робочої поверхні, м | 2,5 |
| 5. Максимальна висота шару шихти, м | 0,30 – 0,5 |
| 6. Тиск води у шлангах ущільнення, кг/см$^2$ | 0,35 – 0,85 |
| 7. Величина розриву між візками, мм | 100 – 150 |
| 8. Потужність електродвигуна, КВт:<br>• приводу машини<br>• живильників<br>• смазочної станції САГ – 100-200 | <br>13,1<br>3,1<br>0,8 |
| 9. Загальна вага машини без електродвигуна, т | 410,0 |
| 10. Габарити спікальної машини:<br>• довжина, м<br>• ширина, м<br>• висота, м | <br>46,5<br>7,38<br>8,8 |

Складом сировини для агломераційної фабрики служить рудний двір, обладнаний грейферними кранами. Рудне відділення має в своєму складі для руди і концентрату 16 бункерів об'ємом по 45 м$^3$ кожен; для коксової дрібниці і штибу – 12 бункерів об'ємом по 45 м$^3$ кожен; для колошникового пилу – 12 бункерів об'ємом по 45 м$^3$ кожен [2].

Необхідні для одержання агломерату залізна руда й концентрат доставляються з рудного двору й надходять у шістнадцять бункерів обсягом 45м$^3$ кожний. Коксовий дріб'язок, штиб і колошниковий пил надходять відповідно у дванадцять бункерів такого ж обсягу. Бункера розміщені у два ряди й обладнані тарілчастими живильниками. Руда поступає на два збірних конвеєра шириною 800 мм і передається по рудному тракту в шихтове відділення.

Колошниковий пил поступає з доменного цеху в хоперах і розміщується в приймальних бункерах. Звідси за допомогою системи транспортерів пил доставляється в бункери шихтового відділення.

Вживаний як паливо коксовий відсів (коксовий дріб'язок) подається в приймальні бункери цеху. Антрацитний штиб системою транспортерів подається в корпус дроблення коксу, де дробитися в 6-ти чотирьохвалкових дробарках, що забезпечують крупність часток палива до 3мм. Подрібнені дробарками антрацитні штиб і коксова дрібниця системою конвеєрів передаються в шихтове відділення, де розвантажуються в коксові бункери.

Суміш звичайного і доломітизованого вапняку з штабелю рудного двору за допомогою пластинчастих живильників і системи транспортерів прямує у вапняно-дробильне відділення аглоцеху, де завантажується в приймальні бункери молоткастих дробарок. Для дроблення вапняку на аглофабриці застосовується три молоткові дробарки продуктивністю 150...200 т/годину й дванадцять грохотів, які повністю забезпечують споживи фабрики у вапняку фракцією до 3 мм. Після дроблення весь вапняк транспортерами поступає в бункери, звідки подається для розсівання на 12 грохотів НГД-2 з осередком в нижньому ситі грохоту 3х3 мм. Після відсіву на грохотах вапняк подається в бункери шихтового відділення.

Уздовж рудного двору знаходиться приймальна траншея, в яку матеріали розвантажуються пересувним вагоноперекидачами.

Для кращого усереднювання матеріалу застосовується використання двох штабелів. В штабель у відповідних пропорціях закладають концентрати

з вапном, руду і інші залізовмісні матеріали.

Здрібнені матеріали подаються транспортерами в шихтове відділення, що складається із 32 бункерів корисним обсягом 175м$^3$ кожний, обладнаних лотковими віброживильниками. За допомогою ваг і живильників проводиться дозування по масі компонентів шихти, виходячи з їхніх фізико-хімічних властивостей і вимог, пропонованих до агломерату.

Шихтове відділення, у технологічному потоці якого працює конвеєрна машина КМ-14 для випалення вапняку площею випалення 14м$^2$. В резерві знаходяться 2 вапняно-випалювальних печі ОПР-1, 2 площею випалення по 10 м$^2$ кожна.

Вапняно-дробильне відділення має в своєму складі 3 молоткастих дробарки продуктивністю 150 - 200 т\год для дроблення вапняку і 12 грохотів.

Коксо-дробильне відділення має в своєму складі 6 чотирьохвалкових дробарок.

Дозовані шихтові матеріали подаються на два паралельні збірні конвеєри й доставляються в корпус спікання. Завантаження шихтою бункерів агломашини здійснюються автострілами. Обсяг кожного бункера 36 м$^3$.

Усі компоненти у строгому масовому співвідношенні направляються в барабанні змішувачі шихти діаметром 2,5 м і завдовжки 7,5 м, що обертаються із швидкістю 8 об/хв, де частково зволожуються й ретельно перемішуються. Потім шихтові матеріали подають на додаткове зволоження й окомкування в барабанний огрудковувач. При зволоженні пилинки злипаються в невеликі (0,5...1,5 мм) грудочки й газопроникність спікаємого шару значно збільшується. Гарна газопроникність і огрудкованість шихти досягається при змішуванні зі зволоженням (додається 7...9 % води від маси шихти). Шихта стає зернистою й пухкою.

З огрудкувального барабана аглошихта надходить у проміжний бункер і завантажується на агломераційну машину АКМ1-75. Рівень шихти

підтримується постійним, що забезпечує безперебійне й рівномірне надходження шихти на стрічку агломашини.

Розглянемо схему устрою агломераційного цеху, який пропонується даним дипломним проектом (рис. 1.2). Бункера *3* для компонентів шихти заповнюються зверху через ґрати *2* реверсивним стрічковим конвейєром *1*. Бункер звороту заповнюється конвейєром *28.* Дозування компонентів шихти на збірний конвейєр шихти *5* ведуться за допомогою вагових стрічкових дозаторів *4.*

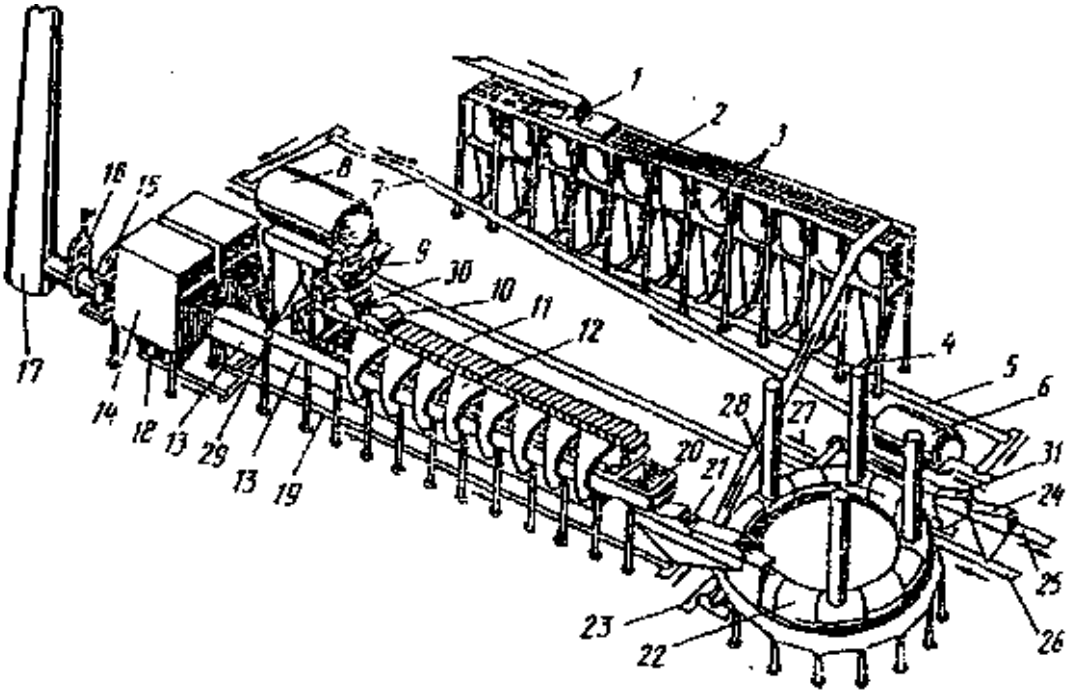



Рисунок 1.2 - Схема будови агломераційної фабрики

Швидкість руху конвейєра визначає масу видаваного на збірний конвейєр компонента шихти. Ця швидкість може регулюватися з центрального пульта керування шихтовим відділенням, тому що маса рами і конвейєру кожного дозатора і маса руди, що лежить на конвейєрі фіксується спеціальною масозмірювальною системою, змонтованою на месдозах, що забезпечують точність зважування руди до *2* %.

Змішування злегка зволоженої шихти здійснюється у обертовому барабанному змішувачі *6*, потім шихта по конвейєру *7* направляється до барабану-огрудковувачу *8*.

Змішана й огрудкована шихта з бункеру *9* укладається живильником *30* на агломераційну стрічку *11*. Попередньо живильником *29* на колосникові ґрати укладається постіль, подана до стрічки конвейєром *26*. Палети із шихтою проходять над вакуум-камерами *12*. Над головною частиною стрічки встановлений запальний горн *10*. Гази, що відходять, по збірному газопроводу *13* відводяться до пиловловлювачів *14*.

Для очищення відхідних газів пропонується застосувати на першій ступіні циклони СЦН-50, а на другій – рукавний фільтр ФРІР. Запиленість відхідних газів при цьому вдасться знизити до 0,20/м$^3$. Це вирішує проблему захисту навколишнього середовища від викидів пилу і різко підвищує стійкість лопаток ротора ексгаустера *15*.

Між ексгаустером і димарем *17* встановлюють головний шибер *16* за допомогою якого може бути відрегульовано режим роботи ексгаустера**.** Регулювання вакууму на кожній вакуум-камері може бути проведено за допомогою спеціальних дросельних клапанів.

Готовий пиріг агломерату падає з палет у валкову дробарку *20*, після чого на грохотах *21* від подрібненого продукту відокремлюють гарячий зворот. Придатний агломерат прохолоджується в охолоджувачі чашового типу *22 і* далі конвейєром *23* направляється на грохоти *24* холодного агломерату. Після виділення постілі на грохоті *24* придатний агломерат конвейєром *25* транспортується в доменний цех, а зворот конвейєрами *27* і *28* - у бункер звороту. До гарячого звороту з грохоту *21* і холодного звороту з грохоту *31* додають пил і просип (конвейєри *18, 19*).

У круглих секційних (чашових) охолоджувачах агломерат завантажується зверху в спеціальні камери - секції, змонтовані на обертовій рамі. Через бокові жалюзійні ґрати продувається повітря. Кожна секція

охолоджувача знизу має люк, що відкривається автоматично при вивантаженні холодного агломерату із секції.

Час перебування агломерату на охолоджувачі звичайно складає 40 - 60 хв. при витраті повітря на 1 т агломерату 5000 - 6000 $м^3$. При цьому агломерат охолоджується до 100 °С, що дозволяє потім транспортувати його в доменний цех гумовими конвейєрами. [6]

## 1.2 Характеристика основного технологічного устаткування агломераційного цеху

Процес виробництва офлюсованого агломерату складається з наступних етапів: приготування шихти, змішування, зволоження і окомкування готової шихти, завантаження шихти на агломераційну стрічку, запалення шихти, спікання шихти, відсів повернення і транспортування його в шихтове відділення, вантаження агломерату в хопери і контроль його якості. При виробництві агломерату застосовують наступне устаткування [2]:

1) Конвеєри. Транспортування матеріалів здійснюється стрічковими конвеєрами різної довгі. Конвеєр складається з рами з роликоопорами, приводного і хвостового барабанів, стрічки, натягача. Привід стрічки здійснюється за допомогою електродвигуна з'єднаного із знижуючим редуктором. Для шихтових трактів продуктивність конвеєрів складає 1200т/год, для рудних — 500 т/год.

2) Живильники. Для видачі шихтових матеріалів з бункерів застосовуються тарілчасті живильники, продуктивністю 200 т/год, а також електровібраційні живильники продуктивністю 40 і 200 т/год [5].

3) Дробарки для дроблення вапняку, коксику і агломерату. Дроблення вапняку проводиться в 3 молоткових дробарках. Дроблення палива проводиться в 6 чотирьохвалкових дробарках, продуктивністю 16 т/год і одній молоткастій дробарці, продуктивністю 100 т/год.

4) Печі для випалення вапняку. Для приготування вапняку

використовуються стрічкова обпалювальна машина КМ-14 і обпалювальна машина ОПР.

5) Грохоти для відсіву вапняку і агломерату. Для фракційного відсіву вапняку застосовують вібраційні грохоти, кількість яких 12 штук.

6) Змішувачі шихти. Змішування агломераційної шихти проводиться змішувачами барабанного типу — як шнековими, так і безшнековими. Живлення аглострічки проводять барабанними живильниками в комбінації з маятниковими, при цьому завантаження виходить більш рівномірним [3].

7) Горн для запалення шихти. Для запалення верхнього шару шихти служить запальний горн, що складається з каркаса, виконаного з листового металу, внизу якого встановлена лита рама, службовка опорою для футерівки. Внутрішня частина каркаса футерована вогнетривкою цеглиною. У пазах нижньої плоскості встановлені холодильники, які охолоджуються проточною водою. Паливом для запалення шихти служить природний газ.

8) Агломераційні машини типу АКМ1-75 у кількості 2-х штук.

9) Пристрою для уловлювання пилу. Очищення газу від пилу здійснюється сухим способом. Грубе очищення проводиться в газоході (колекторі), в який врізається стояки вакуум-камер. Очищення колектора від пилу здійснюється за допомогою пило-мішків, забезпечених затворами. Вторинний цикл очищення проводиться в циклонах сухого типу СЦН-50. Третя стадія здійснюється в рукавному фільтру ФРІР.

10) Ексгаустер.

Підготовка сировини до спікання є одній з основних операцій, що визначають продуктивність агломераційної машини.

Усереднювання шихтових матеріалів має на меті зниження коливань хімічного складу і фізичних властивостей, завантажувального агломерату в доменну піч, так як коливання хімічного складу шихтових матеріалів значно погіршує роботу доменних печей.

Компоненти агломераційної шихти поступають на фабрику в шматках різної великої. Підготовка матеріалів по величині зводиться, перш за все, до

зменшення розміру шматка. Такі матеріали, як залізорудний концентрат, колошниковий пил, окалина і ін., не потребують дроблення і подрібнення, оскільки розмір цих матеріалів не перевищує 2 мм.

Якнайкращі показники процесу досягаються при величині палива і вапняку не більше 3 мм. Зміст класу більше 3 мм. не повинно перевищувати 6%. Дроблення - процес зменшення розміру шматків твердого матеріалу до певної величини. Подрібнення твердого палива для агломерації здійснюють в чотирьохвалковій дробарці. Для розділення шихтових матеріалів на класи по величині проводять грохочення. При грохоченні утворюються два продукти: нижній, проходить через стінку грохоту (<3мм), і верхній, такий, що залишається на сітці (>12 мм). Основною робочою частиною грохоту є сито, що розділяє матеріал по величині на класи [3].

Зволоження колошникового пилу здійснюється в *пиловловлювачах* доменної печі. Охолоджування і зволоження колошникового пилу є важливою операцією, поліпшуючою санітарно-гігієнічні умови праці на фабриці.

Змішування і окомкування шихти є визначальною операцією, що впливає на продуктивність і якість агломерату. При підготовці агломераційної шихти матеріали зволожуються. Призначення змішування, зволоження і окомкування шихти — отримання однорідної суміші всіх шихтових компонентів з високою газопроникністю в процесі спікання. Раціональне зволоження забезпечує утворення малих грудочок, що також підвищує газопроникність шару.

Змішування, зволоження і окомкування шихти проводиться по одностадійній схемі в змішувачів, розташованих над агломашинами. Для змішування і окомкования шихти призначений барабан змішувача, з кутом нахилу барабана 1,5° (рис. 1.4). Бандажі бочки барабана змішувача спираються на опорні і наполегливі ролики. Обертання барабана здійснюється за допомогою приводу, сполученого із зубчатим вінцем.

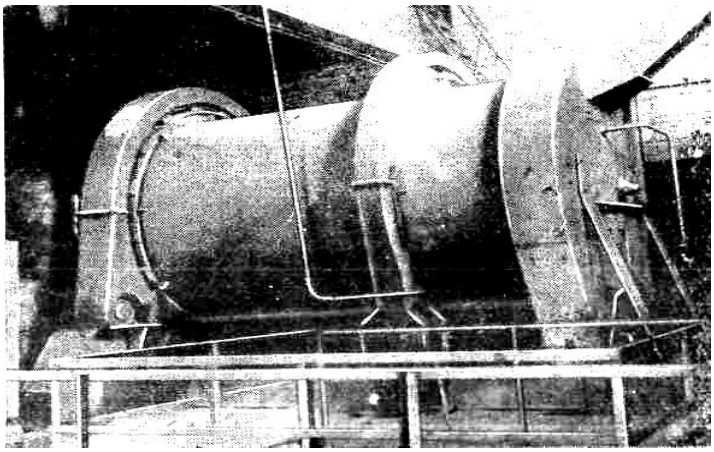


Рисунок 1.4 - Барабанний змішувач для шихти

Шихту з бункера подають через тарілчастий або стрічковий живильник у завантажувальну лійку змішувача й виводять із останнього через розвантажувальну лійку. Для кращого огрудкування шихта додатково воложиться при надходженні її у змішувач.

*Змішувач* призначений для кінцевої підготовки шихти шляхом її перемішування й огрудкування.

Процес окомкування полягає в підготовці шихти (її зволоження) і утворення грудок. Якість окомкування залежить від здатності компонентів шихти до окомкуванню, часу окомкування, режиму роботи, способу подачі зволожувача і вологості, конструкції окомкувателя.

Якість окомкування і змішування агломераційної шихти визначає однорідність отримуваного агломерату, збільшення і зміцнення грудок для підвищення газопроникності, від якої залежить вертикальна швидкість спікання.

Для успішного окомкування необхідне введення до складу шихти вологи. Окомкування здійснюють для укрупнення пилоподібних класів шихти, що дозволяє збільшити кількість просмоктуваного повітря, а отже і продуктивність агломашины.

Вода створює капілярні сили, що стягують найдрібніші частинки в гранули. При обертанні барабана шихта під дією сили тяжіння і відцентрової

сили притискається до внутрішньої поверхні і рухається разом з нею вгору у напрямі обертання.

Потім шихта відривається від поверхні барабана і зсипається в низ, що створює безперервний контур циркуляції шихти, яка, крім того, поступово переміщається уздовж осі барабана від завантажувального торця барабана до розвантажувального [4].

Складові аглошихти після усереднювання, подрібнення і грохочения потрапляють в бункери шихтового відділення. Об'єм кожного бункера складає 175 м$^3$ і забезпечує наступний мінімальний запас сировини [3], год:

Руда і концентрат ..... 8-10

Вапняк..... 15-20

Паливо..... 10

Колошниковий пил ..... 20

Залізорудна частина і паливо завантажуються в призначених для них шихтові бункери з транспортерів за допомогою саморозвантажуючих візків - автостріл. Для кращого усереднювання матеріалів при завантаженні їх в бункер автостріла переміщається безперервно в челноковому режимі над всіма бункерами з одним і тим же матеріалом.

Матеріали, що знаходяться в шихтових бункерах, вивантажуються на збірний конвеєр за допомогою дозуючих пристроїв. Основне призначення дозування - забезпечити отримання агломерату заданої якості з постійними фізико-хімічними властивостями. Точність дозування компонентів аглошихти - необхідна умова високої продуктивності агломашины і хорошої якості агломерату.

Між якістю агломерату і початковими компонентами шихти існує слабкий кореляційний зв'язок, тобто хороше усереднювання компонентів шихти ще не є достатньою умовою для отримання високоякісного агломерату.

Найбільш висока точність дозування необхідна таким компонентам, як вапняк і паливо. Оскільки від вмісту цих компонентів в шихті залежить

тепловий рівень процесу і основність агломерату.

Важливою умовою отримання якісного агломерату є правильне завантаження шихти на спекательные візки агломашины. Після виходу з барабана змішувача шихта подається в проміжний бункер, в якому підтримується постійний рівень.

З проміжного бункера шихта рівномірно видається на всю ширину живильника, з якого по завантажувальному лотку рівномірним шаром скачується на аглострічку. Лоток встановлений під кутом рівним куту природного укосу шихти, що сприяє створенню сегрегації матеріалу по висоті шару шихти. Сегрегація позитивно впливає на процес спікання. Зокрема сегрегація за змістом палива в шихті (підвищений вміст у верхніх шарах при пониженому вмісті в поблизу колосникових грат) позитивно відбивається на тепловому балансі агломерації.

Для запобігання налипанню вологих дрібних фракцій шихти на робочу поверхню лотка, він футерований гумою.

Поверхня шихти, завантаженої на стрічку, повинна постійно загладжуватися за допомогою спеціальної гладилки, розташованої за завантажувальним пристроєм [4].

Запалення аглошихти на стрічці здійснюється зовнішнім нагрівом її за допомогою газового горну. Для запалювання палива шихти на візках спікальних машин застосовують газ, що володіє достатньою калорійністю й дає температуру запалювання 1200-1350°С, що забезпечує ефективне запалення верхнього кулі шихти.

До складу *запального горну* входять: власне горн з футерівкою; газопроводи з пальниками; система видалення продуктів згорання; повітропроводи з вентиляторами; система охолоджування і система автоматичного регулювання, сигналізації і теплового контролю.

*Горн* (рис. 1.5) є прямокутною камерою з підвісним арочним зведенням, в торцевих стінках якого в амбразурах встановлені пальники. Запальній горн обладнаний 14 газовими пальниками й допоміжною

арматурою. У нижній частині зварного каркаса горну розташовані балки, на які спирається кладка горну. Каркас горну спирається на конструкції агломашини.

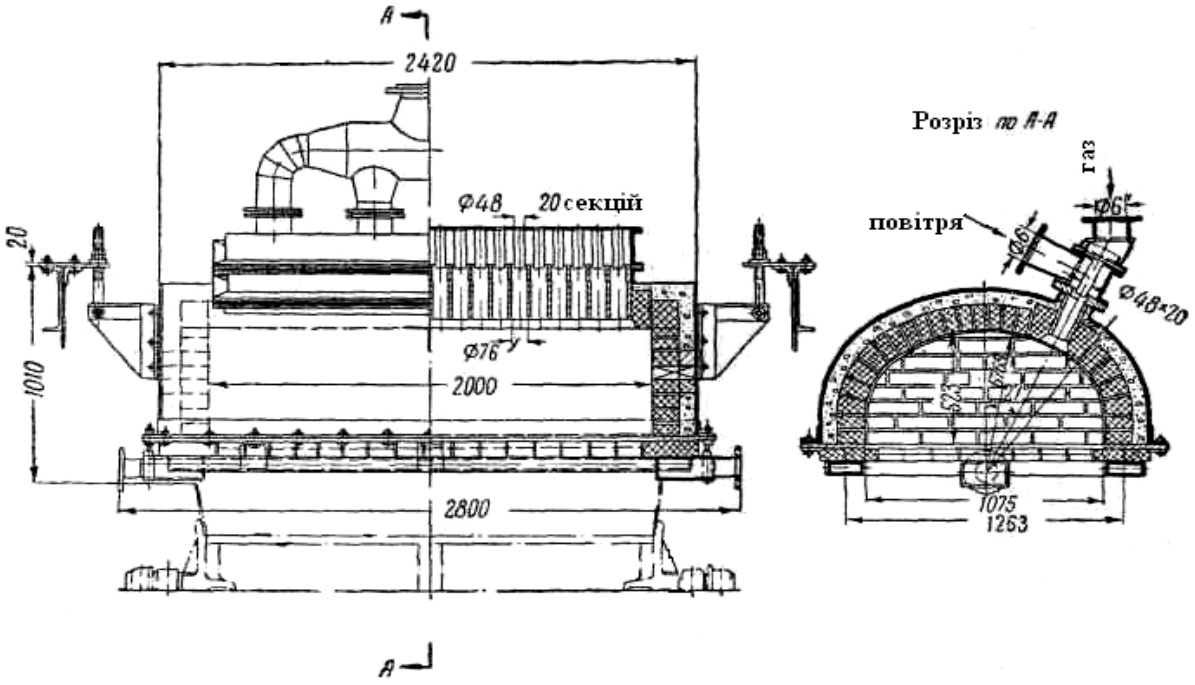



Рисунок 1.5 - Запалювальний газовий горн

Металевій корпус горну являє собою коробку, виготовлену з листового заліза, що має форму пустотілого напівциліндра, зверненого відкритою своєю частиною до візків машини. Робоча площа горну при запалюванні захоплює одночасно поверхню машини. Технічна характеристика газового горна спікальної машини АКМ1-75 наведена у таблиці 1.2.

Горн установлюють на стійках з металевими кронштейнами так, щоб відстань між кромками його й осями роликів візка спікальної машини дорівнювала 555 мм. Обмуровування горна роблять вогнетривкою цеглою із зазором між цеглою й кожухом горна в 50 мм, що засипає ізоляційною масою.

Повітря й газ підводять до горна роздільно, через камеру для змішання, звідки суміш подається в пальники. Подача повітря й газу автоматично регулюється спеціальними засувками, установленими на газоповітропроводах біля горну.

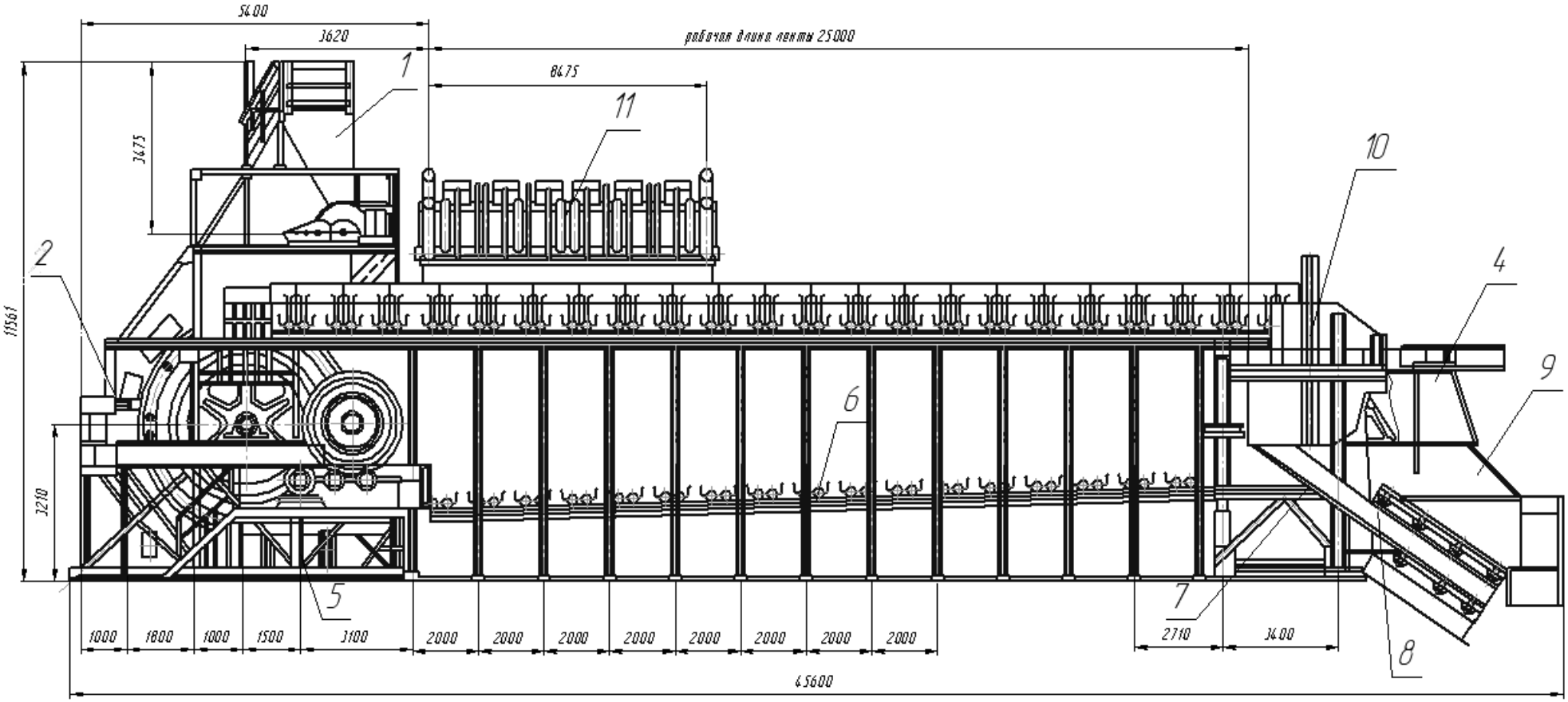
Таблиця 1.2 - Характеристика газових горнів для машини АКМ1-75

| Показники | Машина АКМ1-75 |
|---|---|
| Кількість газу, що спалюється, $м^3$/год | 4000 - 7000 |
| Об’єм топочного простору, $м^3$ | 7,5 |
| Площа дзеркалу запалювання, $м^2$ | 5,63 |
| Тиск газу, КПа | 1 |
| Тиск повітря, КПа | 1,5 |
| Продуктивність одного пальника, $м^3$/год | 600 -1000 |
| Напруженість топочного простору, кал/$м^3$·год | $1 \cdot 10^6$ - $3 \cdot 10^6$ |
| Кількість пальників | 14 |
| Вага горна з футерівкою, т | 26,5 |
| Робоча температура в горні, °С | До 1350 |

У вакуум-камерах, розташованих під горном, за допомогою ексгаустера створюється розрідження. Завдяки розрідженню повітря, необхідне для горіння палива, просмоктується через весь шар шихти.

*Спікальна машина типу АКМ1-75* - агломераційна машина (рис. 1.6) є нескінченною стрічкою, що складається з окремих спікальних візків - палет, що не пов'язані між собою і переміщаються по направляючих. Агломашина складається з каркаса, приводу, направляючих палет, вакуум-камер з ущільненням, живильника ліжка шихти, запального горна, розвантажувальної частини [1].

Сучасна спікальна машина являє собою безупинно рухливий ланцюг колосникових візків, що утворюють у верхній галузі робочу частину машини, завантажену шихтою, що спікається. У нижній області ненавантажені візки становлять холосту стрічку машини. На верхній області, що перебуває над вакуум-камерами, відбувається процес спікання шихти. У головній частині (до вакуум-камер) іде завантаження шихти, а після вакуум-камер - розвантаження готового агломерату.




1 - живильник шихти; 2 - головна частина; 3 - установка захисного кожуху; 4 - розвантажувальна частина; 5 - тічки для осипу; 6 - рейка Кр 70; 7 - похилий лист; 8 - грохот; 9 - відсікаючий пристрій; 10 - борт палет; 11 - подовжений газовий горн

Рисунок 1.6 – Агломераційна машина АКМ1-75

Для ущільнення вакуум-камер застосовується пружинне пластинчасте ущільнення. У плоскість ковзання ущільнюючих пластин подається мастило.

У головній частині стрічки з бункера з поверненням на колосники палет засипають ліжко. На ліжко засипають заздалегідь приготовану шихту, яку видають із завантажувального бункера. Шихта на агломераційну машину подається за допомогою електродвигуна продуктивністю 200 т/год.

Запалювання палива шихти відбувається під горном, обладнаному чотирнадцятьма пальниками, встановленими на його зводі. Витрата природного газу становить 600 - 800 м$^3$/год, повітря - 1300 - 1400 м$^3$/год. При даній витраті газу досягається температура, необхідна для запалювання палива в шихті (1250°С).

Укладена шихта запалюється в той момент, коли палета проходить під запальним горном і в той же момент вона виявляється над камерою розрідження. В результаті розрідження інтенсивного просмоктування повітря і газів, що створюється, через шихту частина пилуватих матеріалів захоплюється газами. Пил в газі 0,7-0,8 г/м$^3$ уловлюється в кишенях газопроводу і циклонах.

Стрічка агломашини рухається безупинно, з постійною швидкістю 1,5...4,5 м/хв. Через шар запаленої шихти постійно, зверху вниз, просмоктується повітря, що необхідне для підтримки процесу горіння палива, а також для охолодження спеченої в агломерат шихти.

Агломерат, що спікся, необхідно охолоджувати. Палети продовжують рухатися над камерами, і просмоктуване через шар отриманого агломерату повітря охолоджує його. Цей спосіб охолоджування зменшує продуктивну довжину аглострічки. У сучасних агломераційних машинах охолоджування здійснюється в основному не на стрічці, а за допомогою спеціальних охолоджувачів. До розвантажувального кінця машини агломерат виявляється охолодженим і може видаватися у вагони. Палети у розвантажувального кінця машини зірочками переносяться на тих, що нижні направляють і під

дією своєї маси скачуються до головної частини машини. Для охолоджування повернення приймаємо барабанні охолоджувачі. Механічний пристрій охолоджувального барабана таке ж як у змішувача, тільки довжина його складає 5 м, діаметр 2 м, швидкість обертання 2 об/хв. Для зволоження повернення усередині барабана є труба з отворами, що прорізають, з яких поступає вода [2].

Каркас агломераційної машини являє собою просторову металеву раму і є опорою для установки механічних деталей спікальної машини й напрямних рейкових шляхів для руху візків. Натягнення стрічки створюється натягачем, в повзуни якого вмонтовані гайки гвинтів. Рама розвантажувальної частини рухома і стоїть на скатах.

Просмоктування повітря через шар шихти й відсмоктування газів, що утворюються при спіканні, робиться ексгаустером. Гази, що відсмоктують, через димар надходять в атмосферу, попередньо проходячи газоочищення.

Отриманий агломерат з агломашини попадає в одновалкову дробарку й проходить через грохот, у якому відбувається відділення готового агломерату від звороту. Готовий агломерат (грудки розміром більше 12 мм) загружають у залізничні вагони для відправлення у доменний цех.

*Колосникові візки (палети).* Кожна з палет є ящиком з бічними бортами і колосниками замість дна. Рух палет здійснюється за допомогою пари ведучих колесів-зірочок в головній частині машини. Зуби коліс захоплюють ролики палет, піднімають їх з тих, що нижніх направляють на верхніх і штовхають вперед. Приводні зірочки створюють тиск палет один на одного, тому вони безперервно рухаються і між ними в стиках торців візків створюється щільність.

*Колосниковий візок* являє собою сталевий корпус у вигляді ящика, змонтований на чотирьох роликових опорах і обмежений із двох сторін знімними бортами (рис. 1.7). Дно ящика має ряд перепльотів, покритих настилом з колосників, що становлять колосникові ґрати. Візок складається з корпуса, колосників, роликових опор, бортів.

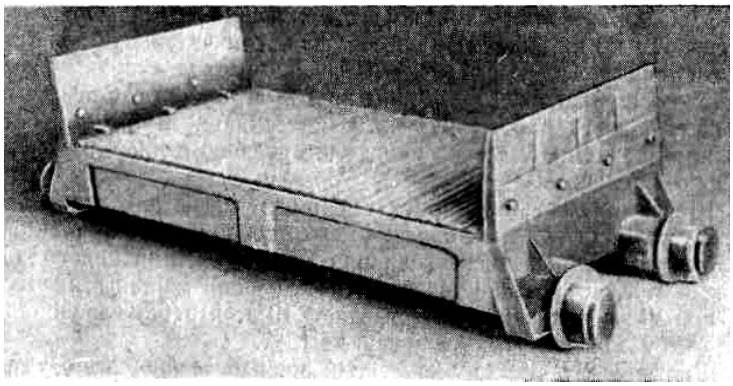


Рисунок 1.7 - Колосниковий візок з колосниками машини АКМ1-75

Корпус візка являє собою з'єднану із двох половин раму із поперечними й поздовжніми ребрами. Призначення поперечних ребер - додати міцність візку; поздовжні ребра служать для вставки й підтримки колосників. Тому поздовжні ребра візка виготовляються відповідно до форми колосника й у перетині мають: середнє ребро - Т-образну, а крайні - Г-образну форму.

По краях, у нижній частині рами, є чотири припливи, що служать місцем скріплення осей з роликами. Одне ціле із цими припливами становлять спеціальні стовщення, що мають форму "кулаків", призначених для сприйняття ударів при падінні візка з агломератом у хвостовій частині машини. Іноді до цих "кулаків" з метою збереження їх від зношування приварюють спеціальні пластинки зі сталініту, які в міру зношування можуть бути замінені новими.

З поперечних сторін рама має вгорі припливи з обробленими гніздами, до яких прикріплюють борта візка. До нижньої грані візка по її ширині пригвинчують сталеві пластини, що сковзають по чавунних полозах, покладеним на рамах вакуум-камер. Візки відливають зі сталі у вигляді двох симетричних половин, з'єднаних посередині болтами.

Візки котяться по рейках на чотирьох опорах, поставлених на вісь (на роликопідшипниках) і сприймають навантаження від ваги візка й матеріалу. Підшипники з торця закриті сталевими кришками. Ролики сприймають зусилля від зірочок приводу при пересуванні й підйомі візків з нижньої

холостої стрічки на верхню робочу галузь. Тому крок зачеплення зубів коліщаток відповідає відстані, утвореної опорними роликами візків. Ролики і їхні деталі виготовляють зі сталі.

Колосники візків виготовляють двох типів: штучні й секційні. Штучні колосники більш економічні секційних, через можливість індивідуальної заміни негідного колосника. У секційному ж колоснику, у випадку навіть незначного прогару одного ребра, доводиться викидати всю секцію. Тому поширення одержали штучні колосники.

Колосники є досить відповідальною деталлю візка, і витрати по їхній експлуатації становлять значну частку вартості виробництва агломерату. Середня витрата чавунних колосників становить від 0,3 до 0,5 кг на тону агломерату. Середня тривалість роботи чавунних колосників 5-6 міс. Заміну їх роблять на ходу, але іноді це пов'язане із простоями спікальної машини. [5]

Штучні колосники мають пази для закріплення між ребрами візка, створюючи між собою щілину шириною 6 мм. Від розміру щілини залежить величина живого перетину колосникового візка.

Покладені у візок колосники при роботі машини можуть переміщатися відносно один одного на 5-10 мм, завдяки чому відбувається очищення зазорів від рудного дріб’язку, шматочків агломерату й пилу, що дозволяє зберегти живий перетин колосникових ґрат.

Руйнування колосників відбувається головним чином від різких змін температури. Під час спікання, особливо у хвостовій частині машини, температура колосників піднімається до 1000°С, а після розвантаження агломерату падає до 50°С. Найбільша руйнівна дія на колосники робить утворення місцевих очагів горіння із температурою від 1100 до 1250°С у зоні спікаємого матеріалу. Виникнення таких очагів горіння відбувається через наявність у них великих часточок палива (розміром більше 3 мм). Застосування постілі перешкоджає утворенню зон з високою температурою в безпосередній близькості до колосників і подовжує строк їхньої служби.

Найбільше поширення одержали колосники із сірого чавуну й менше з легованого, тому що останній удвічі дорожче.

Борти візків руйнуються раніше основного корпуса, тому їх виготовляють знімними. Вони являють собою чавунну з ребрами виливку прямокутної форми довжиною 1000 мм, висотою 500 мм і товщиною до 12 мм. Знімний борт прикріплюють до візка 2-3 болтами діаметром 25 мм і через нижню його грань пропускають три шпильки, що закріплюють крайні колосники в їхніх гніздах [3].

*Ексгаустером* (рис.1.8) називається повітродувна машина, що створює розрідження в газовідвідній системі, одночасно просмоктуючи свіже повітря через шихту й яка відводить продукти горіння. Ексгаустер складається з ротора, лівого і правого патрубків, равлика. Корпус ексгаустера виконаний роз'ємним по горизонталі.

Ротор складається із трьох сталевих дисків, між якими укріплені у два ряди лопатки, посаджені на вал по тангенціальній кривій. Одні з них доходять до обода ротора, а інші вкорочені. Така конструкція лопаток підвищує продуктивність ексгаустера й знижує витрату споживаної потужності з 1300 до 1000 КВт.

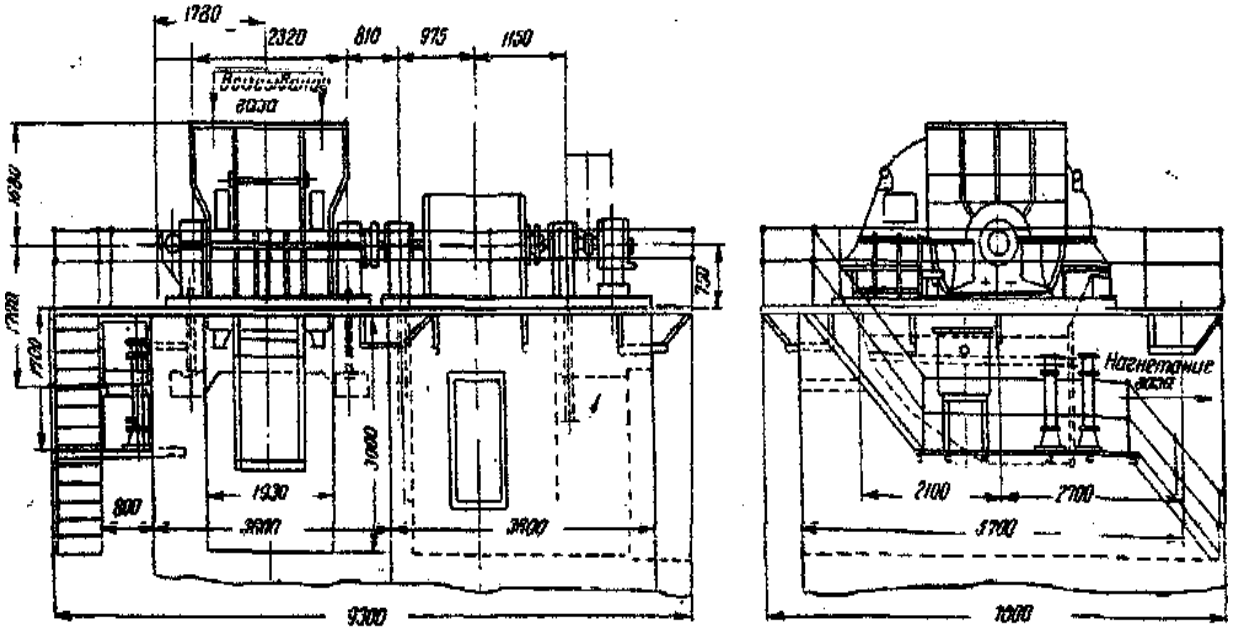



Рисунок 1.8 - Ексгаустер для агломераційної машини

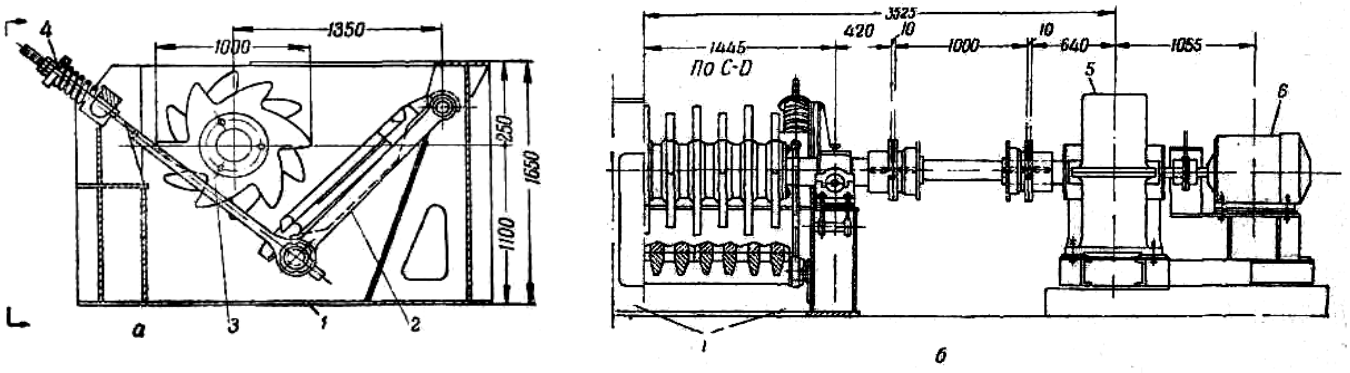
Для створення необхідного ущільнення між чавунним корпусом і валом на місці виходу останнього з корпуса встановлені ущільнюючі лабіринтові кільця. У корпусі є люки для спостереження за зношуванням сталевих знімних плит, що захищають внутрішні поверхні корпуса ексгаустера. Вал спочиває на двох підшипниках і за допомогою еластичної муфти з'єднується з електродвигуном.

Між боровом димаря й ексгаустером установлюють засувку з подвійним приводом - ручним і електричним.

Тривалість терміну служби ротора ексгаустера 6-8 міс. Його безаварійна робота залежить головним чином від якості очищення газів, що відходять, до змісту 50 мг/м$^3$ і від строгого дотримання правил експлуатації. При очищенні газів до змісту пилу менше 50 мг/м$^3$ газу, регулярному очищенню від пилу елементів і пилових мішків, заміні елементів, що зносилися, термін служби ротора подовжується до 1,5-2 років [4].

*Дробарка для агломерату.* Доменне виробництво пред'являє певні вимоги до гранулометричного складу агломерату. Поліпшення зернового складу агломерату досягається дробленням. Дроблення сприяє розкриттю шматків агломерату і подальшому видаленню в процесі грохочения тих, що містяться усередині дрібниці, а також рівномірності зернового складу агломерату.

Одержанню агломерату гарного ситового складу сприяє його дроблення. При відсутності дроблення грудки агломерату досягають 200 - 600 мм і більше. При транспортуванні в доменний цех і перевантаженнях вони тією чи іншою мірою руйнуються, утворюючи дріб’язок. Для забезпечення доменних печей однорідним по огрудкованості агломератом і для зниження змісту в ньому дріб’язку (особливо фракції - 5 мм) на фабриках встановлюють зубчасті дробарки одновалкові й двовалкові; при цьому більше поширення одержали дробарки одновалкові. Пристрій одновалкової дробарки представлений на рисунку 1.9.




а - схема зубчатого валу з плитою; б - схема корпусу дробарки з повіднею; 1 - корпус дробарки; 2 - плита; 3 - зубчатий вал; 4 - натяжний пристрій; 5 - редуктор; 6 – електродвигун

Рисунок 1.9 - Одновалкова дробарка для дроблення агломерату

Ребриста сталева плита 2 закріплена шарнірно на корпусі дробарки й має натяжний пристрій 4 з амортизаційними пружинами для регулювання зазору між її ребрами й зубцями обертового вала 3. Зубчастий вал одержує обертання від електродвигуна через редуктор з постійною швидкістю 14 об/хв. Пиріг агломерату, що падає з візка в дробарку, може мати максимальні розміри по розмірі візка 250 х 1000 х 2000 мм. Потрапляючи між зубцями вала й ребрами плити, він розламується на окремі грудки до 200мм. Це якість дроблення не цілком задовольняє вимогам доменників, що встановили граничний розмір проплавляємих грудків для доменної печі в 75 мм [2].

При експлуатації дробарки необхідно стежити за тим, щоб вона не перевантажувалася й у неї не попадали грудки металу та інші сторонні предмети, які можуть поламати зубці; температура агломерату не повинна перевищувати 400 - 600°С.

Після дроблення одновалковою зубчатою дробаркою гарячого спека агломерат поступає на чотирьохсекційний стаціонарний грохот для виділення дрібних фракцій (менше 5 мм) не придатних для доменної плавки.

*Колосниковий грохот.* Для відсіву повернення використовують стаціонарний колосниковий грохот, виконаний у вигляді зварної рами з швелерів з полицями, на які встановлюють колосники. Грохот кріплять в розвантажувальній частині агломашины над бункером повернення під кутом.

Загальна площа грохоту становить 8 м$^2$ (4×2 м). Грохот забезпечений колосниками, зазор між якими складає 10 мм. Колосники покладені в чотири ряди, довжина кожного з них дорівнює 970 мм. Фракція агломерату менш 10мм поступає в охолоджувальний барабан [3].

Колосники застосовують штучні й секційні, в експлуатації краще зарекомендували себе литі сталеві секційні колосники. Регулювання живого перетину колосникового грохоту роблять зміною відстані між двома суміжними штучними колосниками в межах 20-40 мм. Ця відстань між колосниками визначає розмір одержуваного грудка агломерату. Однак цей грохот не забезпечує повного відділення дріб'язку, що у тій або іншій кількості залишається в агломераті, збільшуючись по шляху від агломераційної фабрики до доменних печей за рахунок додаткового подрібнення агломерату. Збільшення живого перетину полотна грохоту сприяє більше повному відділенню дріб'язку.

На якість роботи грохоту впливають кут нахилу й площа живого перетину полотна, що залежить від конструкції колосників і величини отворів між ними. Грохот із секційними колосниками має живий перетин до 44%. Чим більше живий перетин полотна, тим ефективніше працює грохот і тим менше зворот попадає в агломерат. Оптимальний кут нахилу грохоту для кожного роду матеріалу визначають практичним шляхом. Для агломерату він коливається в межах 30 - 40°.

Отримана в процесі сортування агломерату дрібниця повертається на повторне спікання. Повернення - більш легкоплавкий матеріал, ніж останні шихтові матеріали, його застосування сприяє кращому спіканню агломерату.

# 2 ЕКОЛОГІЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

## 2.1 Характеристика пилогазових викидів агломераційного виробництва

В процесі агломерації залізняку в атмосферу викидається велика кількість технологічних газів, що містять агломераційний пил, оксиди азоту і оксиди вуглецю, а при агломерації сірчистих руд – діоксид сірки.

Джерелом пилогазових викидів в агломераційному цеху є технологічне устаткування – агломераційна машина, охолоджувачі повернення і агломерату, обпалювальні печі, а також численні аспіраційні системи, якими обладнані дробарки, гуркоти транспортери і т.д. Крім того, навколишнє середовище забруднюють зовнішні джерела пиловиділення, розвантажувальні і вантажні пристрої початкових матеріалів і так далі

Джерелами неорганізованих викидів на аглофабриці є хвостова частина агломашин і місця завантаження агломерату в хопери, а також приймальні бункери руді і колошниковому пилу, конвеєри і перевантажувальні вузли у відділенні підготовки шихт. Характеристика шкідливих викидів пилу від неорганізованих джерел для цеху агломерації комбінату «Запоріжсталь» приведена в таблиці 2.1.

До організованих викидів аглоцеха відносяться аспіраційні викиди відділень дроблення коксу і вапняку, технологічні викиди від печей випалення вапняку і від спекательного відділення агломашин. Їх «організація» полягає в організованому відборі забрудненого повітря або газу від місця їх освіти з подальшим очищенням їх в газоочисних апаратах. Після очищення умовно чисті гази за допомогою димотягів через димар викидаються в атмосферу.

Таблиця 2.1 - Неорганізовані викиди пилу на прикладі цеху агломерації комбінату «Запоріжсталь»

| Джерела викидів | Кіл-ть | Викид пилу | |
|---|---|---|---|
| | | г/с | т/рік |
| Хвостова частина агломашин і місця вантаження агломерату в хопери | 6 | 50,5 | 1560 |
| Приймальні бункери руди | 16 | 7,59 | 240 |
| Приймальні бункери колошникового пилу | 12 | 7,59 | 240 |
| Конвеєри, розвантажувальні вузли шихтового відділення | 1 | 7,59 | 240 |
| Рудний двір (вагоноопрокидувач) | 1 | 7,05 | 222,9 |
| Разом | | 80,32 | 2502,9 |

При агломерації шихти утворюється велика кількість пилу унаслідок просмоктування шихтової газової суміші через колосникові грати, розтріскування агломерату при русі і вібрації конвеєра, а також при скиданні агломерату. Кількість пилу змінюється по довжині агломераційної стрічки. У першій половині стрічки кількість її невелика, що обумовлене підвищеною вологістю шихти, і, відповідно, її низькою газопроникністю. У другій половині стрічки, після висихання шихти, її газопроникність підвищується, і потік повітря, що проходить через шар агломерату, збільшується. Тут агломерат розширюється і розтріскується, у тому числі і від вібрації стрічки. Повітря, що проходить через тріщини, відриває найдрібніші частинки агломерату і у вигляді пилу відносить їх в газозбірник продуктів згорання. Найбільше розтріскування і пиловиділення відбувається при скиданні агломерату із стрічки конвеєра хвостової частини агломашины [5].

Питомий вихід пилу на одну тонну агломерату досягає 50...60 кг. Проте значна частина крупних фракцій пилу осідає в колекторі машини і з газами, що виходять з агломераційної машини, несеться тільки від 8 до 21 кг [5].

Кількість викидів пилу з агломераційними газами залежить від кількості дрібних фракцій в шихті, її вологості і умов підготовки.

Наприклад, в середньому по комбінату «Запоріжсталь» викидається в атмосферу 12725 тонн пилу на рік. Агломераційний цех комбінату викидає в атмосферу (сюди входять і організовані і неорганізовані викиди) близько 4579 тонни пилу в рік, що складає 36 % від загальних викидів пилу по комбінату і 5159 тонн діоксиду сірі в рік, що складає 78,2% від загальних викидів діоксиду сірки по комбінату. Характеристика викидів пилу і $SO_2$ по комбінату і по агломераційному цеху представлена в таблиці 2.2.

Хімічний склад агломераційних газів від вакуум-камер представлений в таблиці 2.3.

Вміст окремих компонентів в газовій суміші залежить від кількості сірі в руді, витрати палива, а також від технологічних параметрів процесу отримання агломерату. Тому концентрації окремих компонентів газу на аглофабриках можуть коливатися в різних межах.

Хімічний склад пилу, представлений в таблиці 2.4, визначається в основному складом спікаємої руди і використовуваного палива і змінюється в досить широкому інтервалі.

Дисперсний склад агломераційного пилу після колектора приведений в таблиці 2.5. Медіанний діаметр пилу $d_m$ = 50мкм $\sigma_ч$ = 5,9 [5].

Таблиця 2.2 - Викиди пилу і діоксиду сірки від джерел викидів комбінату «Запоріжсталь» і агломераційного цеху

| Шкідливі речовини | Усього по комбінату | | Агломераційний цех | |
|---|---|---|---|---|
| | Що відходять від всіх джерел, т/рік | Викидається в атмосферу, т/рік | Що відходять від всіх джерел, т/рік | Викидається в атмосферу, т/рік |
| Всього | 175725 | 87142 | 108089 | 54695 |
| Пил | 95936 | 12725 | 52720 | 4579 |
| $SO_2$ | 11943 | 6596 | 10411 | 5159 |

Таблиця 2.3 - Хімічний склад агломераційних газів %

| $CO_2$ | $O_2$ | CO | $SO_2$ | $N_2$ |
|---|---|---|---|---|
| 3,5 - 5,5 | 13 - 17 | 0,1 - 0,4 | 0,09 - 0,1 | 80,15 |

Таблиця 2.4 - Хімічний склад агломераційного пилу, %

| $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | CaO | CO | FeO | $P_2O_5$ | MnO | S | MgO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10-15 | 0,5-1,5 | 9-13 | 4-7 | 54-70 | 0,03-0,05 | 0,2-0,3 | 0,5-0,7 | 0,5-1,5 |

Таблиця 2.5 - Дисперсний склад агломераційного пилу після колектора

| Розміри частинок, мкм | 0…4 | 4…10 | 10…25 | 25…50 | 50…68 | > 68 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Зміст, % | 2 | 12 | 22 | 14 | 3 | 47 |

Процес спікання агломерату супроводиться значним виділенням газу, вигорання вуглецю і сірки, що містяться в шихті, що утворюється в результаті. Питомий вихід газів від агломераційної машини залежить від газопроникності шихти, вмісту в ній палива і величини підсосу повітря. При отриманні 1т агломерату вихід агломераційних газів складає 2,5 – 4,0 тис. $м^3$ із вмістом пилу від 5 до 60 $г/м^3$. Таким чином, в процесі спікання шихти від однієї агломашини АКМ1-75 після колектору на газоочищення поступає 262500 $м^3$/год технологічних газів с запиленістю 8 $г/м^3$. Температура газів що поступають на газоочистку 150°С.

## 2.2 Огляд існуючих способів очищення технологічних викидів агломераційного виробництва

На аглофабриках в основному застосовують наступну схему збору і відведення технологічних газів від агломашин. Запилений газ через вакуум-камери поступає в укладений збоку від агломашини загальний горизонтальний колектор, що має бункери (пилові мішки). На відгалуженнях від вакуум-камер до колектора коштують S-образні інерційні пристрої або

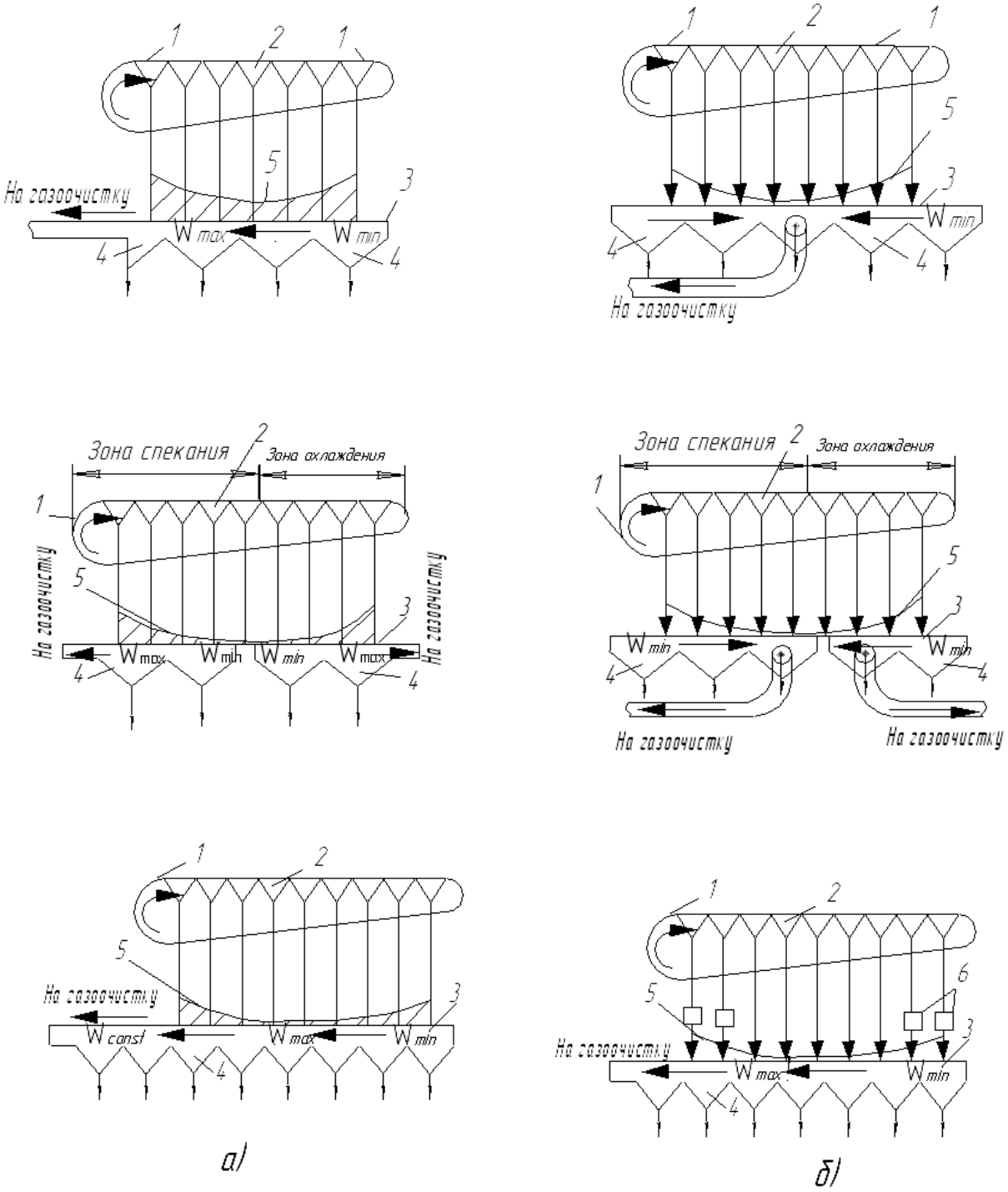
спеціальні пастки К-9, в яких за рахунок сил інерції, що виникають при поворотах, відбувається відділення тільки найкрупнішого пилу. Збираючись в колекторі, запилені гази з невеликою швидкістю рухаються до головної частини машини. При цьому крупні частинки пилу під дією власної ваги випадають з потоку і збираються в розташованих під колектором пилових бункерах, звідки віддаляються зазвичай за допомогою гідросмиву. На рис. 2.1 (а) показані існуючі схеми збору і відведення технологічних газів від агломашины як при використанні всієї стрічки для процесу спікання, так і при здійсненні охолоджування агломерату на хвостовій частині аглострічки. Ефективність роботи колектора зазвичай не перевищує 50...60%. Враховуючи, що викиди з високою концентрацією пилу поступають в колектор лише з перших і останніх камер, доцільніше застосувати схеми збору і відведення агломераційних газів, що рекомендуються Донецькою філією НВО «Енергосталь», показаних на рис. 2.1 (б) [5].

При здійсненні цих схем довжина шляху сильно запиленого газу в колекторі значно збільшується і ефективність роботи колектора помітно зростає. Крім того, в результаті установки спеціальних пиловловлювачів на підводах до колектора з перших і останніх камер абсолютне надходження пилу в колектор різко скорочується, а тиск в цих камерах підвищується, що сприятливо відбивається на ході процесу спікання.

На працюючих агломераційних фабриках експлуатуються різні по складу і конструкції апарати і системи для очищення газу (рис. 2.2). На старих агломераційних фабриках гази, що відводяться від зон спікання і охолоджування агломерату, після колектора поступають на очищення в батарейні циклони (див. рис. 2.2, а). Ефективність їх роботи складає 70 – 80%; у міру абразивного зносу окремих елементів батарейних циклонів ефективність роботи знижується ще більше.

На деяких металургійних заводах за агломераційними машинами після колектора встановлені мокрі відцентрові скрубера типу МП-ВТІ (рис. 2.2, б). Проте в процесі роботи грати прутків скруберів швидко заростають

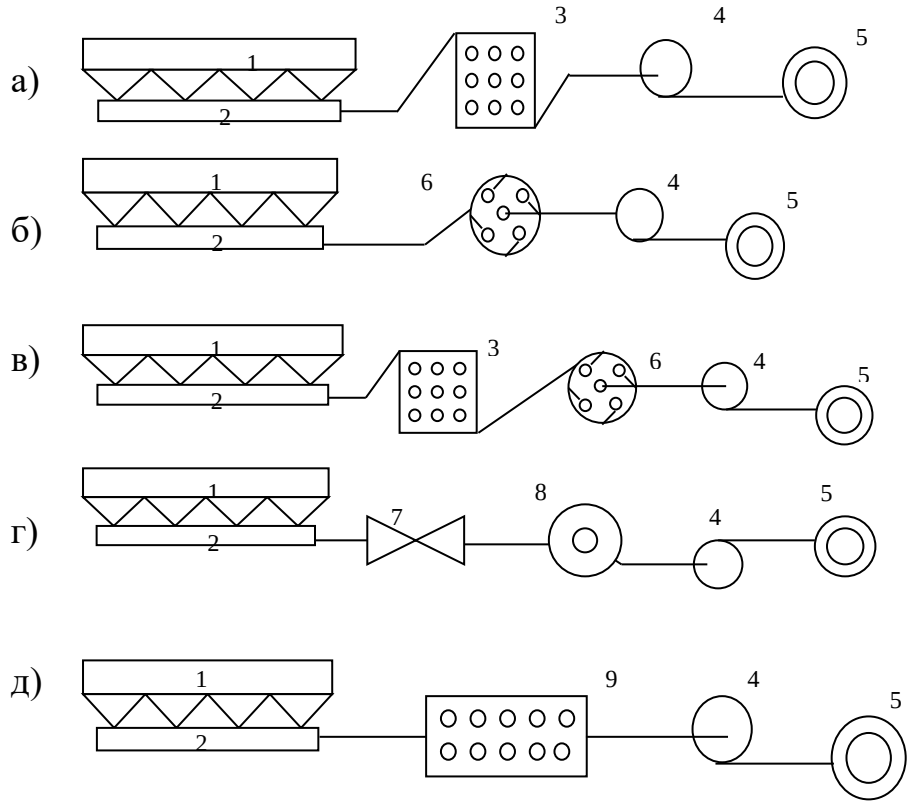
відкладеннями пилу, що приводить до підвищення опору газового тракту і погіршення спікання агломерату.




1 - аглострічка; 2 - вакуум-камери; 3 - колектор; 4 - бункери колектора; 5 - крива розподілу пиловиносу; 6 - пиловловлювачі селективного очищення

Рисунок 2.2 - Схеми збору і відведення технологічних газів від агломераційних машин

Форсування режиму спікання агломерату, збільшення змісту тонкомолотих концентратів в шихті і збільшені вимоги до очищення агломераційних газів зажадали дослідження ефективніших способів їх очищення. На ряду аглофабрик за батарейними циклонами встановили відцентрові скрубери (рис. 2.2, в).

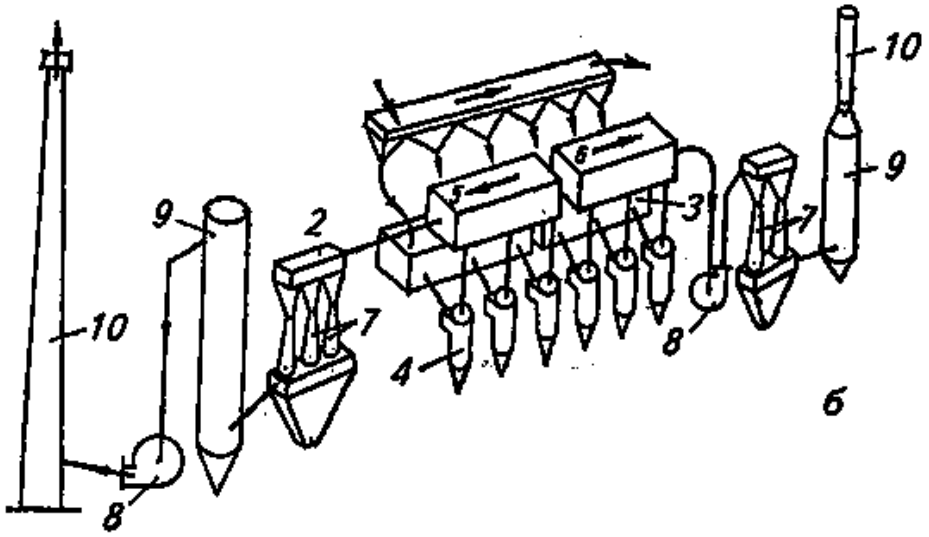



1 – агломашина; 2 – колектор; 3 – батарейний циклон; 4 – димотяг; 5 – димар; 6 – відцентровий скрубер; 7 – труба Вентурі; 8 – каплевловлювач; 9 – електрофільтр

Рисунок 2.2 – Можливі схеми очищення технологічних газів агломераційних машин

На деяких аглофабриках для очищення агломераційного газу використовують досконаліші системи, що складаються з циклонів типу ЦН-15 і блоку низьконапірних труб Вентурі (рис. 2.3). Після вакуум-камер запилений газ потрапляє в колектори, з яких поступає в одиночні циклони (їх

число відповідає числу вакуум-камер). Очищений в циклонах газ прямує в колектори - газозбірники і далі в блок труб Вентурі і скрубер [5].



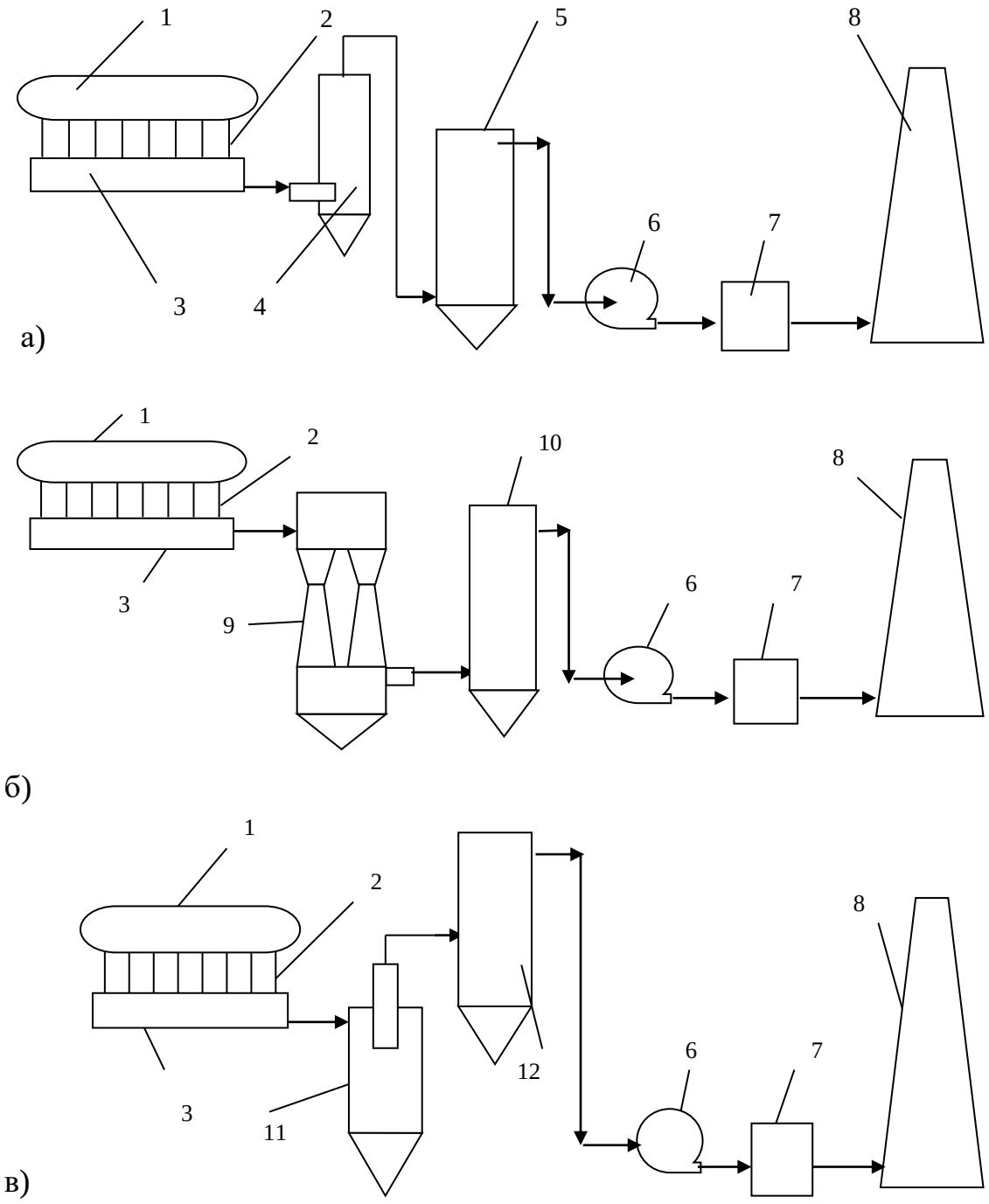

1 – вакуум-камери; 2, 3 - колектор зони спікання та зони охолоджування; 4 – циклони; 5, 6 – колектор - газозбірники зони спікання та охолоджування; 7 – блок труб Вентурі; 8 – димотяг; 9 – відцентровий скрубер; 10 - труба

Рисунок 2.3 – Установка очистки газів агломераційних машин

На металургійному комбінаті «Запоріжсталь» і ряду інших підприємств для очищення агломераційних газів були застосовані труби Вентурі. Після колектора газ поступає в блок з чотирьох низьконапірних (до 2 кПа) труб Вентурі, в яких здійснюється коагуляція пилу. Питома витрата води на зрошування труб Вентурі склала 0,3 – 0,5 л/м$^3$ під тиском (2,9 – 3,9)·10$^5$ Па. Очищення газу від крапель води проходило в інерційному каплевловлювачі і встановлених за ним відцентрових циклонах.

На комбінаті «Запоріжсталь» очищення аглогазів проводиться по трьом схемам:

1. Для агломашины № 1: гази після горизонтального колектора 3 поступають на очищення в сухий інерційний пиловловлювач 4 діаметром 4500 мм з гідротранспортом уловленого пилу, а потім в скрубер МП - ВТІ 5 із зрошуваними гартами (рис. 2.4, а).




а) від агломашини № 1; б) від агломашини № 2 – 4; в) від агломашини № 5, 6; 1 – агломераційна машина К-2-50; 2 – вакуум-камери №№1-13; 3 – горизонтальний колектор; 4 – сухий прямоточний циклон; 5 – прутковий відцентровий скрубер МП-ВТІ; 6 – ексгаустер Д-6500; 7 –боров; 8 – димар; 9 – низьконапірні труби Вентурі (5 шт.); 10 – скрубер (2 шт.); 11 - сухий циклон ЦН; 12 – скрубер СКЦ

Рисунок 2.4 – Схема очищення агломераційних газів комбінату «Запоріжсталь»

2. Для агломашин №№ 2-4 гази після горизонтального колектора 3 поступають в короб брудного газу, звідки розподіляється по п'яти паралельно працюючих низьконапірних трубах Вентурі 4 круглі перетини і діаметром 1050 мм, в яких здійснюється коагуляція пилу.

Очищення газу від крапель води відбувається в бункері шламовіддільнику і у встановлених за ним відцентрових скруберах 5 діаметром 4000 мм - 2 шт (рис. 2.4, б).

3. Для агломашин №№ 5, 6 газів після горизонтального колектора 3 двома паралельними потоками поступають в циклони ЦН діаметром 4200 мм з гідротранспортом пилу – 4, потім в скрубера СКЦ діаметром 4000 мм – 5 із зрошуваними гартами, призначеними для відділення краплинної вологи і скоагульованих частинок пилу з газового потоку (рис. 2.4, в). Для транспортування газів встановлений ексгаустер Д-6500 – 6.

Аглогази, що пройшли очищення поступають в димовий боров 7, а потім в димар 8 (№ 1 - від агломашин №1 - 4 висотою 80 м і діаметром 6,4м або №2 – від агломашин №5,6 висотою 80м і діаметром 4,6 м).

Шлам від бункерів труб Вентурі і скруберів поступає в «мигалки», які мають передню похилу стінку, що забезпечує гідравлічний затвор. Від «мигалки» шлам зливається в лоток, звідки самоплив поступає в шламову насосну і по загальному шламопроводу прямує на оборотний цикл аглофабрики.

Недоліком мокрих пиловловлювачів є необхідність створення водно–шламового господарства і захисту апаратів від залипання, абразивного зносу і корозії. Відкладення на стінках газоходів, апаратів і в димотягах виникають в результаті взаємодії активним вапняком з ангідридом сірки і оксидом вуглецю, що входять до складу агломераційних газів, і утворюючими нерозчинні у воді сульфат і карбонат кальцію, які руйнують футерівку корпусів апаратів, приводять до заростання газоходів і викликають дебаланс і вихід з ладу димотягу [5].

Висока енергоємність мокрого очищення газів і трудності утилізації уловленим у вигляді шламу пилу роблять доцільним застосування сухих високоефективних апаратів, зокрема горизонтальних електрофільтрів, які знайшли широке застосування як за кордоном, так і у вітчизняній практиці. Експлуатація систем очищення газів із застосуванням сухих горизонтальних електрофільтрів дозволила отримати необхідний ступінь очищення від пилу (залишкова запилена газів складає близько 0,1 г/м$^3$), що свідчить про перспективність будівництва таких систем.

Були проведені порівняльні випробування двоступінчатої схеми очищення газів, що включає батарейний циклон і два паралельно включених електрофільтру, і одноступінчатої схеми, з якої були виключені батарейні циклони. Пилогазовий потік поступав в схему очищення з температурою 120 – 160$^o$С при середній запиленій 5г/м$^3$. Медіанний розмір частинок склав 16 мкм, УЕС пилу – 1,3$\cdot 10^6$ Ом$\cdot$м. Результати випробувань показали, що двоступінчата система очищення в цілому давала результати гірше (92 – 95% залежно від швидкості газу при ефективності батарейного циклону 87%), ніж одноступінчата (ефективність 95,5%). Причиною цього є відділення в циклоні крупних частинок, що мають відносно низьке УЕС, внаслідок чого опір шару високодисперсному пилу на осаджувальних електродах підвищувався до 1$\cdot 10^{10}$ Ом$\cdot$м, і електрофільтр працював в режимі інтенсивної зворотної корони. Товщина важкообтрушуваних відкладень високоомного пилу на осаджувальних електродах досягала 20мм. Під час вступу до електрофільтру не сепарованою в циклоні пилу забезпечувалася хороша регенерація як осаджувальних, так і коронуючих електродів. Крім того, при одноступінчатому очищенні газів в електрофільтрі поліпшувалися умови роботи ексгаустера, який працював при нижчій запиленості [5].

## 2.3 Вибір і обґрунтування апаратурно-технологічної схеми очищення технологічних газів агломераційного виробництва

З розглянутих вище методів очищення технологічних газів агломераційних машин, які існують на даний час, можна зробити висновок, що кожен з них має свої достоїнства, за допомогою яких намагалися досягти максимального ступеня очищення відхідних газів від пилу. Проте кожен з них мають і певні недоліки: одні вимагають великих витрат електроенергії, інші мають складного конструктивного виконання або приводять до сильної корозії устаткування і т.д.

У кваліфікаційній роботі як базовий варіант розглядаємо систему очищення агломераційних газів агломашини №1, що існує на даний момент на комбінаті «Запоріжсталь» яка включає колектор, сухий інерційний пиловловлювач ЦП і мокрий скрубер МП-ВТІ. Така система очищення має ряд недоліків:

1) необхідність наявності шламового господарства;
2) утворення відкладень в устаткуванні і газоходах при краплинному віднесенні вологи;
3) шкідливий вплив краплинної вологи, що міститься в газах, на стінки димаря;
4) значні витрати енергії;
5) великий опір газового тракту.

На основі зроблених висновків як проектний варіант кваліфікаційної роботи очищення технологічних газів агломераційних машин приймається в рукавному (тканинному) фільтрі з попереднім грубим очищенням в циклонах. Таким чином, пропонується замінити другу (мокру) ступінь очищення аглогазів сухою, тобто замінити скрубер МП-ВТІ на рукавний фільтр типу ФРІР.

По цій схемі запилений газовий потік через вакуум-камери поступає в загальний горизонтальний колектор, що має бункери, і розташований збоку

агломашини паралельно її осі. З колектора газ поступає на першу ступінь очищення – в циклони СЦН-50, а потім на другу ступінь очищення – рукавний фільтр. Після грубого і тонкого очищення аглогази за допомогою ексгаустера через димар викидаються в атмосферу.

Абразівостійкий циклон СЦН-50 призначений для ефективного очищення газу від абразивного пилу в ливарних виробництвах, енергетиці, у виробництвах будівельних матеріалів, металургії. Термін служби циклону СЦН-50 на абразивному грубому пилі збільшений в 3,5 разу щодо стандартного циклону ЦН-15 при однаковій продуктивності, гідравлічному опору і ступені очищення; ступінь очищення від дрібного пилу у даного циклону вищий, винесення пилу на 15 - 20% менше. Підвищення абразивостійкості циклону СЦН-50 досягнуте за рахунок спірального введення запиленого газу в циклон, збільшення довжини циліндрової частини корпусу і діаметру пиловыпускного отвору.

Циклони СЦН-50 володіють відносно невеликим коефіцієнтом гідравлічного опору, віднесеного до перетину корпусу циклону $\zeta$=180; за даними НІІОгазу, у цього циклону $d^{т}_{50}$ = 1,00 мкм, lg $\sigma^{т}_{\eta}$ = 0,34 [6].

Циклони СЦН-50 прості по конструкції, нескладні у виготовленні і зручні в експлуатації.

Рукавні фільтри типу ФРІР призначені для очищення технологічних газів від дрібнодисперсного, пожаро- і вибухонебезпечного пилу.

Процес фільтрації здійснюється в декілька стадій. У початковій стадії відбувається осадження частинок пилу на чистих волокнах усередині пористої перегородки фільтрувального матеріалу. В процесі проходження запиленого газового потоку через чистий фільтрувальний матеріал пил осідає на волокнах в результаті безпосереднього торкання, дії інерційних сил, броунівській дифузії і в меншій мірі – електричних сил тяжіння порошинок до волокон і сили гравітації. Пилові нарости, що осідають на волокнах, поступово змикаються і утворюють суцільну пористу пилову перегородку. Потім відбувається осадження аерозолів на пиловій підкладці до утворення

шару пилу завтовшки, відповідною певному гідравлічному опору. Таким чином, накопичуючись на поверхні тканини у вигляді шару, пил сам стає фільтруючим середовищем і збільшує ефективність пилозатриманя фільтру. В процесі фільтрації шар пилу і опор фільтрувальної перегородки росте. Після досягнення деякої допустимої величини проводиться регенерація фільтрувальної перегородки (руйнування шару пилу, що утворився), в процесі якої уловлений пил скидається в бункер фільтру. Швидкості фільтрації лежать між 1,5 і 2,5 м/хв залежно від адгезійних властивостей шару пилу.

Для регенерації рукавів застосовують імпульсне продування з використанням швидкодіючих продувних клапанів. Регенерація рукавів імпульсним продуванням здійснюється шляхом подачі імпульсів стислого повітря всередину рукава. Імпульс стислого повітря викликає ударну хвилю усередині рукава, під дією якої пиловий шар зовні тканини руйнується і обсипається в бункер. Тиск стислого повітря на вході в рукавний фільтр не менше 0,5МПа (5 кгс/см$^2$), а в накопичувачах стислого повітря в межах 0,3 – 0,4МПа. Хоча застосування стислого повітря не є дешевим способом регенерації, проте, фільтри з імпульсним продуванням мають підвищене навантаження по газу. Швидкість фільтрування в рукавних фільтрах з імпульсним продуванням за інших рівних умов на 20...30% вище, ніж у фільтрах з механічною регенерацією і зворотним продуванням, завдяки ефективнішою регенерацією за допомогою дуже коротких імпульсів стислого повітря. При ефективній регенерації загальний термін служби рукавів в цих фільтрах вищий, рукави менше зношуються, і до їх заміни залишкова запиленість зберігається на рівні 15...50 мг/м$^3$, і лише в окремих випадках ці значення перевищуються.

Ефективність рукавних фільтрів досягає 90 - 99% і вище. Повітряне навантаження на тканину застосовується в межах до 200м$^3$/(м$^2$·с). Гідравлічний опір фільтру залежно від ступеня запиленої рукавів не більше 2,5 кПа.

Перевагами проектного варіанту очищення агломераційних газів є: відсутність шламового господарства; малий опір газового тракту; висока ефективність очищення газів від пилу; енергетичні витрати нижчі, ніж при експлуатації мокрого очищення; отримання пилу у вигляді зручному до підготовки для повернення у виробництво.

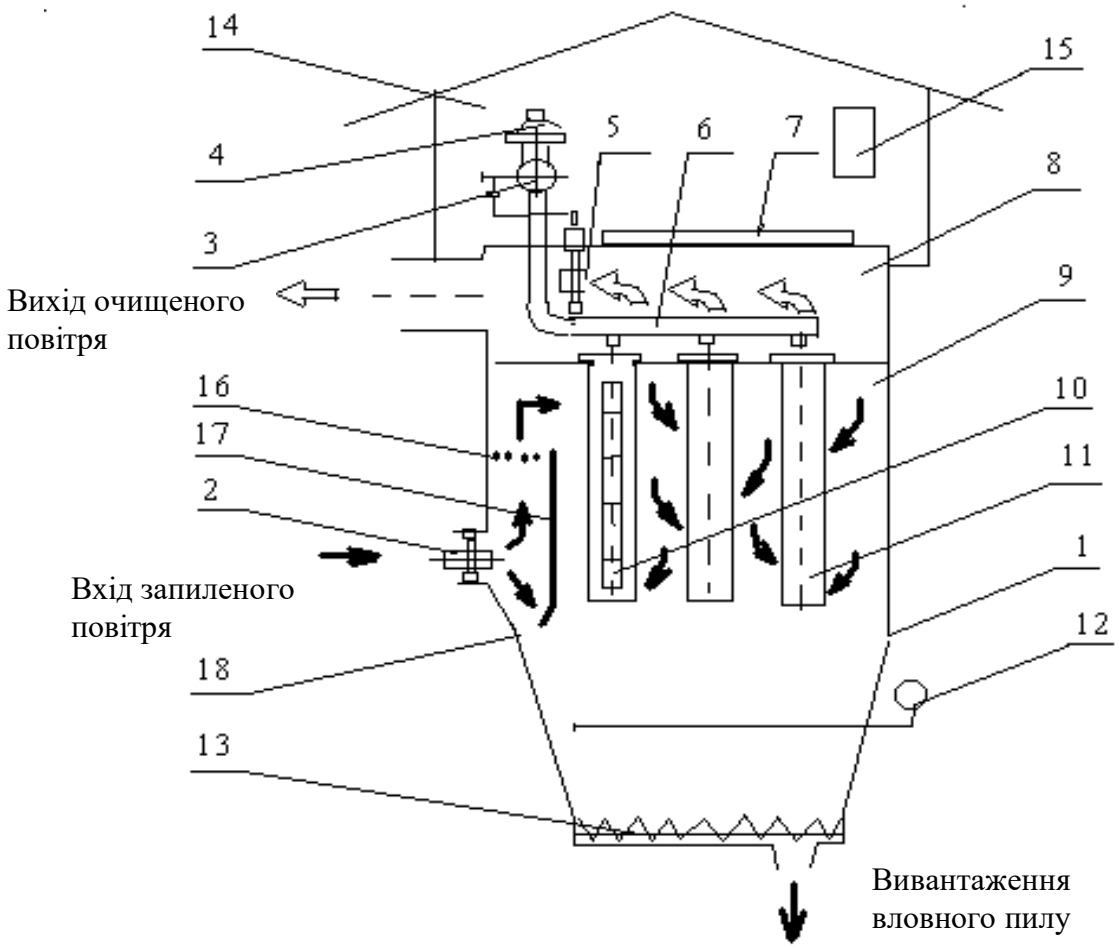
Рукавний фільтр складається з корпусу і механічного устаткування. Корпус є несучою конструкцією і складається з опорного поясу з підвісними бункерами, вузла вивантаження пилу, системи пнемообрушення пилу, оглядових люків, відсічних клапанів забрудненого газу, розподільного газоходу і панелей огорожі. Він роздільний на камери чистого і брудного газу горизонтальними перегородками – рукавними дошками з отворами для кріплення фільтрувальних рукавів.

До складу механічного устаткування фільтру входять: система регенерації рукавів (накопичувачі стислого повітря, продувні клапани і роздаточні колектори), рукавні дошки, фільтрувальні рукави, дротяні каркаси, відсічні клапани, вузол редукування стислого повітря, пристрої пиловидалення і шафа управління регенерацією фільтру. Основні конструктивні особливості фільтру представлені на рисунку 2.5.

Підвісні бункери виконані у вигляді перевернеої усіченої піраміди з кутом нахилу бічних граней $70^0$. Бункери фільтру в нижній частині обладнані вузлом вивантаження пилу, а також пристроєм пневмообрушення і оглядовими люками [5].

Установка відсічних клапанів “брудного” газу дозволяє проводити заміну фільтрувальних рукавів в 1/8 частин фільтру без його зупинки. Запилене повітря («брудний газ») через вхідний патрубок і відсічний клапан 2 потрапляє всередину корпусу фільтру 1 і прямує відбійним щитом 17 через іскрогасні аеродинамічні грати 16 у верхню частину камери “брудного” газу 9, чим забезпечується супутній рух потоку фільтрованого газу і обтрушуваною при регенерації пилу [5].

«Брудний» газ пройшовши рукави 11 зовні всередину, очищається від пилу і потрапляє в камеру “чистого” газу 8, далі через вихідний патрубок, газохід і димотяг прямує в димар.




1 - корпус фільтра; 2, 5 - відсічний клапан; 3 - накопичувач стисненого повітря; 4 – продувний клапан; 6 – роздавальний колектор; 7 – кришка; 8 – камера чистого газу; 9 – камера запиленого газу; 10 – каркас рукава; 11 – фільтрувальний рукав; 12 – система пневмообрушення; 13 – вузол вивантаження пилу; 14 – шатер фільтру; 15 – пристрій управління регенерацією; 16 – аеродинамічна решітка; 17 – відбійний щит; 18 – бункер

Рисунок 2.5 – Схема рукавного фільтра з імпульсною регенерацією

По мірі накопичення пилу на зовнішній поверхні рукавів загальний гідравлічний опір фільтру, що відстежується пристроєм управління регенерацією 15, росте і після досягнення заданої величини автоматично

включається система регенерації фільтрувальних рукавів. Осушене стисле повітря з накопичувача 3 через швидкодіючий продувний клапан 4 і роздавальний колектор з соплами 6 імпульсно подається всередину рукава і очищається як від пилу, що зібрався на зовнішній поверхні рукава у вигляді агломератів, так і від частинок пилу, що проникли всередину фільтрувального матеріалу.

Уловлений пил через щілистий бункер 18 і вузол вивантаження пилу 13 відводиться в систему пиловидалення.

Накопичувач стислого повітря виготовлений з металевої труби і обладнаний: 16-ю патрубками з фланцями для установки продувних клапанів; штуцером для підведення стислого повітря; штуцером для зливу конденсату; штуцером для установки манометра електроконтакта; 16-ю повітроводами подачі стислого повітря в колектора. Об'єм накопичувача складає 0,3 $м^3$.

Рукавна дошка виконана з металевого листа з отворами діаметром d=139 мм. Отвори для кріплення виконані з отбортівкой, що підвищує жорсткість конструкції і покращує умови кріплення фільтрувальних елементів [5].

Фільтрувальний рукав виконаний у вигляді циліндра. У горловину фільтрувального рукава ушито металеве кільце, з протилежного боку рукава пришито денце. Як матеріал для виготовлення фільтрувального рукава вибираємо оксалонову тканину. Вузлом вивантаження пилу є пристрій для видалення пилу з бункера і складається з жолоба, до торців якого кріпляться бічні стінки. Усередині жолоба поміщений шнек, який приводиться в рух через кулачкову муфту мотором - редуктором, змонтованим на одній з бічних стінок. З двох сторін шнек спирається на підшипникові вузли, закріплені на бічних стінках.

З бункерів фільтру уловлений пил за допомогою гвинтового конвеєра для подальшого транспортування подається на трубчастий ланцюговий конвеєр.

## 2.4 Розрахунок газоочисного устаткування і газоочисного тракту системи очищення

### 2.4.1 Розрахунок циклону типа СЦН-50

Вихідні дані для розрахунку:

1) об'ємна витрата газу при н.у, $Q_o$ = 262500 м$^3$/год;

2) температура газу, $t_Г$ = 150$^o$C;

3) щільність часток пилу, $\rho_п$ = 3500 кг/м$^3$;

4) динамічна в'язкість газів за робочих умов, $\mu$= 24,8·10$^{-6}$ Па·с;

5) розрідження до циклону, $P_ц$ =-10 кПа;

6) барометричний тиск, В = 98 кПа;

7) склад агломераційного газу, %:

$CO_2$ - 4,5; $O_2$ - 15; CO – 0,25; $SO_2$ – 0,1; $N_2$ – 80,15;

8) концентрація пилу в газі перед циклоном $z_1$ = 8 г/м$^3$;

9) дисперсний склад пилу після колектору [5]:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| D, мкм | 0 - 4 | 4 - 10 | 10-25 | 25 - 50 | 50 - 68 | > 68 |
| Состав, % | 2 | 12 | 22 | 14 | 3 | 47 |

10) середній медіанний діаметр часток пилу, $d_m$=50мкм; $\sigma_ч$=5,9 [6]; lg$\sigma_ч$=0,77.

Щільність газу, що складається з декількох компонентів, за нормальних умов, визначається по формулі кг/м$^3$:

$$\rho_{О.СМ} = \frac{M}{22.4} = 0,01 \cdot \frac{(M_1 \cdot a_1 + M_2 \cdot a_2 + ... + M_n \cdot a_n)}{22,4}, \qquad (2.1)$$

де M, $M_1$, $M_2$, …, $M_n$ - молекулярні маси газової суміші і окремих компонентів, кг/кмоль [6];

$a_1$, $a_2$, …, $a_n$ - об'ємний вміст окремих компонентів газової суміші %.

$$\rho_{О.СМ} = 0{,}01 \cdot \frac{(M_{CO_2} \cdot a_{CO_2} + M_{O_2} \cdot a_{O_2} + M_{CO} \cdot a_{CO} + M_{SO_2} \cdot a_{SO_2} + M_{N_2} \cdot a_{N_2})}{22{,}4} =$$

$$= 0{,}01 \cdot \frac{(44 \cdot 4{,}5 + 32 \cdot 15 + 28 \cdot 0{,}25 + 64 \cdot 0{,}1 + 28 \cdot 80{,}15)}{22{,}4} = 1{,}31 \text{ кг/м}^3,$$

Щільність газу за робочих умов, кг/м$^3$:

$$\rho_Г = \rho_{0см} \cdot \frac{273 \cdot (B \pm P)}{(273 \pm t_Г) \cdot 101{,}3}, \qquad (2.2)$$

де В - барометричний тиск, кПа;

Р - розрідження до очисного апарату, кПа;

$t_г$ - температура газу, $^o$С.

$$\rho_Г = 1{,}31 \cdot \frac{273 \cdot (98 - 10)}{(273 + 150) \cdot 101{,}3} = 0{,}743 \text{ кг/м}^3.$$

Витрата газу за робочих умов:

$$Q_Р = Q_0 \cdot \frac{\rho_{О.СМ}}{\rho_Г \cdot 3600} = 262500 \cdot \frac{1{,}31}{0{,}743 \cdot 3600} = 128{,}56 \text{ м}^3/с, \qquad (2.3)$$

де $Q_0$ - об'ємна витрата газу при н.у., м$^3$/год.

Діаметр циклону при оптимальній швидкості газу $W_{опт}$ = 3,5м/с [7], м:

$$D_Ц = \sqrt{\frac{Q_Р}{0{,}785 \cdot W_{ОПТ}}} = \sqrt{\frac{128{,}56}{0{,}785 \cdot 3{,}5}} = 6{,}84 \text{ м}. \qquad (2.4)$$

Необхідну кількість циклонів знайдемо по формулі:

$$n = (D_т / D_{ст})^2, \qquad (2.5)$$

де $D_т$ – теоретичний діаметр, м;

$D_{ст}$ – стандартний діаметр, м.

Приймаємо стандартний діаметр циклону $D_{ст}$ = 2800 мм, тоді

$$n = (6,84 / 2,8)^2 = 5,96.$$

Таким чином, приймаємо шість циклонів марки СЦН-50 із стандартним діаметром $D_Ц$ = 2,8 м. Тоді дійсна швидкість газу в циклоні, м/с:

$$W_Ц = \frac{Q_Р}{0,785 \cdot D_Ц^2 \cdot n} = \frac{128,56}{0,785 \cdot 2,8^2 \cdot 6} = 3,64 \text{ м/с}. \quad (2.6)$$

З огляду на те, що дійсна швидкість газу в циклоні відрізняється, від оптимальної менш ніж на 15%, зупинимося на вибраному діаметрі циклону.

Коефіцієнт опору циклону:

$$\zeta = К_1 \cdot К_2 \cdot \zeta_{500} + К_3 = 1 \cdot 0,98 \cdot 180 = 176,4, \quad (2.7)$$

де $К_1$ – поправочний коефіцієнт на діаметр циклону [7];

$К_2$ – поправочний коефіцієнт на запилену газів [7];

$\zeta_{500}$ – коефіцієнт гідравлічного опору циклону, віднесений до перетину його корпусу; для СЦН–50 $\zeta_{500}$ = 180 [6];

$К_3$ – поправочний коефіцієнт для груп циклонів; $К_3$ = 0.

Гідравлічний опор циклону:

$$\Delta P = \frac{\zeta \cdot W_Ц^2 \cdot \rho_Г}{2} = \frac{176,4 \cdot 3,64^2 \cdot 0,743}{2} = 868 Па. \quad (2.8)$$

Визначимо розмір часток $d_{50}$, що уловлюються даним циклоном за робочих умов з ефективністю 50%:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_Ц}{D_Т} \cdot \frac{\rho_П^T}{\rho_П} \cdot \frac{\mu}{\mu_T} \cdot \frac{W_Ц^Т}{W_Ц}}, \quad (2.9)$$

де $Д_т$, $\rho^т_п$ ,$\mu_т$ ,$W^т_Ц$ - величини, відповідні умовам, при яких отримана величина $d^т_{50}$;

$d^т_{50}$ - параметр, що характеризує ефективність циклону; для циклону СЦН–50 $d^т_{50}$ = 1,00мкм [6];

$Д_ц$, $\rho_п$, $\mu$, $W_Ц$ – величини, відповідні дійсним умовам роботи циклону.

$$d_{50} = 1{,}0 \cdot \sqrt{\frac{2{,}8}{0{,}6} \cdot \frac{1930}{3500} \cdot \frac{24{,}8 \cdot 10^{-6}}{22{,}2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3{,}5}{3{,}64}} = 1{,}72 \text{ мкм.}$$

Розрахуємо величину X для кожної фракції по формулі:

$$X_i = \frac{\lg(dm_i / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma^T{}_\eta + \lg^2 \sigma_n}}, \qquad (2.10)$$

де $\lg \sigma_\eta$ - логарифм стандартного відхилення у функції розподілу парціальних коефіцієнтів очищення; для СЦН–50 $\lg \sigma_\eta = \lg \sigma^т_\eta = 0{,}34$ [6];

$d_{mi}$ – середній діаметр пилу для кожної фракції: $d_{m1}$=2мкм, $d_{m2}$=7мкм, $d_{m3}$= 17,5мкм, $d_{m4}$= 37,5мкм; $d_{m5}$= 59мкм, $d_{m6}$= 68мкм.

Отже

$$X_1 = \frac{\lg(2/1{,}72)}{\sqrt{0{,}34^2 + 0{,}77^2}} = 0{,}09; \qquad X_2 = \frac{\lg(7/1{,}72)}{\sqrt{0{,}34^2 + 0{,}77^2}} = 0{,}74;$$

$$X_3 = \frac{\lg(17{,}5/1{,}72)}{\sqrt{0{,}34^2 + 0{,}77^2}} = 1{,}2; \qquad X_4 = \frac{\lg(37{,}5/1{,}72)}{\sqrt{0{,}34^2 + 0{,}77^2}} = 1{,}6;$$

$$X_5 = \frac{\lg(59/1{,}72)}{\sqrt{0{,}34^2 + 0{,}77^2}} = 1{,}84; \qquad X_6 = \frac{\lg(68/1{,}72)}{\sqrt{0{,}34^2 + 0{,}77^2}} = 1{,}9;$$

Для величини Xi значення функції ф ($x_i$) складе: $\phi(x_1)$ = 0,5319; $\phi(x_2)$=0,7703; $\phi(x_3)$ = 0,8849; $\phi(x_4)$ = 0,9452; $\phi(x_5)$ = 0,9671; $\phi(x_6)$ = 0,9713, тоді міра уловлювання для кожної фракції даного пилу у вибраному циклоні СЦН-50:

$\eta_{(0 - 4мкм)} = 53,19\%$; $\eta_{(4 - 10мкм)} = 77,03\%$; $\eta_{(10 - 25мкм)} = 88,49\%$; $\eta_{(25 - 50мкм)} = 94,52\%$; $\eta_{(50 - 68мкм)} = 96,71\%$; $\eta_{(> 68мкм)} = 97,13\%$.

Середня міра уловлювання агломераційного пилу з відхідних газів агломашини в циклоні СЦН-50:

$$\eta_{\Sigma} = 0,5319 \cdot 2 + 0,7703 \cdot 12 + 0,8849 \cdot 22 + 0,9452 \cdot 14 + 0,9671 \cdot 3 + 0,9713 \cdot 47 = 91,56\%$$

Концентрація пилу в газі на виході з циклону складе:

$$Z_2 = Z_1(1 - \eta_{ср} / 100) = 8(1 - 0,9156) = 0,675 г / м^3. \quad (2.11)$$

Зробимо перерахунок вмісту пилу в газі після уловлювання її в циклоні для кожної фракції. Перерахунок представлений в таблиці 2.6. Середній медіанний діаметр даного пилу складає $d_m$ = 13 мкм.

Таблиця 2.6 – Вміст пилу в газі після очищення в циклоні

| Розмір часток фракцій, мкм | Вміст пилу до циклону, % | Маса фракції до циклону, г/м$^3$ | Ефективність уловлювання фракції, η | Маса фракції після циклону, г/м$^3$ | Вміст фракції після циклону, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 - 4 | 2 | 0,08 | 53,19 | 0,038 | 11,2 |
| 4 - 10 | 12 | 0,48 | 76,73 | 0,112 | 32,9 |
| 10 - 25 | 22 | 0,88 | 88,49 | 0,101 | 29,7 |
| 25 - 50 | 14 | 0,56 | 94,52 | 0,031 | 9,1 |
| 50 - 68 | 3 | 0,12 | 96,64 | 0,004 | 1,2 |
| > 68 | 47 | 1,88 | 97,13 | 0,054 | 15,9 |

### 2.4.2 Розрахунок рукавного фільтру типа ФРІР

Вихідні дані для розрахунку:

1) об'ємна витрата газу при н.у., 262500 м$^3$/год;

2) температура газу, 130 $^o$C;

3) запиленість газу, що поступає на очищення, 0,675 г/м$^3$;

4) розрідженя перед фільтром, -11 кПа;

5) середній медіанний діаметр часток пилу 13 мкм.

Розрахуємо щільність газу за робочих умов за формулою, кг/м$^3$:

$$\rho_Г = 1{,}31 \cdot \frac{273 \cdot (98 - 11)}{(273 + 130) \cdot 101{,}3} = 0{,}76 \text{ кг/м}^3 .$$

Витрата газу за робочих умов за формулою, м$^3$/с:

$$Q_Р = Q_0 \cdot \frac{\rho_{О.СМ}}{\rho_Г \cdot 3600} = 262500 \cdot \frac{1{,}31}{0{,}76 \cdot 3600} = 125{,}7 \text{м}^3 / с ,$$

Питоме газове навантаження або швидкість фільтрації, згідно з паспортними даними фільтру типу ФРІР, 1,5 – 2,0 м$^3$/м$^2$·хв. Приймаємо питоме газове навантаження на фільтр $q_ф$ = 2,0 м$^3$/м$^2$·хв [6].

Площа необхідної фільтруючої поверхні, м$^2$:

$$F = \frac{Q_t}{q_ф} = \frac{125{,}7 \cdot 60}{2{,}0} = 3771 \text{ м}^2. \qquad (2.12)$$

Вибираємо рукавний фільтр типу ФРІР-3800, технічна характеристика якого приведена нижче:

1. Продуктивність по газу, що очищається, тис. м$^3$/год 342 – 456
2. Питоме газове навантаження, м$^3$/м$^2$хв 1,5 – 2,0
3. Площа фільтрації, м$^2$ 3800
4. Масова концентрація пилу в газі, що очищається, г/нм$^3$
   - на вході у фільтр до 10
   - на виході з фільтру не більше 0,02
5. Гідравлічний опір фільтру, Па не більше 2500
6. Кількість фільтрувальних рукавів, шт 1792
7. Розмір рукава фільтрувального, мм
   - діаметр внутрішній 135
   - довжина 5200

8. Маса фільтру кг 120000

Рукавні фільтри типа ФРІР добре працюють з рукавами, виконаними з оксалонової тканини. Термостійкість такої тканини складає 180...220ºС, і вона стійка до кислого середовища.

Визначимо фактичне газове навантаження на фільтр з формули (2.46):

$$q_ф = \frac{Q_t}{F_ф} = \frac{125,7}{3800} = 0,033 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с} = 1,98 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{хв}.$$

Повний гідравлічний опір фільтру $\Delta P_ф$ складається з опору корпусу $\Delta P_к$ і опори фільтрувальної перегородки $\Delta P_{ф.п}$, Па:

$$\Delta P_ф = \Delta P_к + \Delta P_{ф.п}. \quad (2.13)$$

Гідравлічний опор корпусу фільтру:

$$\Delta P_к = \zeta \frac{\rho_Г \cdot W_{ВХ}^2}{2}, \quad (2.14)$$

де $\rho_Г$ - щільність газу за робочих умов, г/м$^3$;

$W_{вх}$ - швидкість газу, що приймається, у вхідному патрубку фільтру; $W_{вх}$ = 8м/с;

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

$$\Delta P_к = 2 \frac{0,76 \cdot 8^2}{2} = 49 \text{ Па}.$$

Опор фільтрувальної перегородки фільтру, Па:

$$\Delta P_{ф.п} = \Delta P_т + \Delta P_{ш.п.}, \quad (2.15)$$

де $\Delta P_т$ – гідравлічний опор тканини фільтру, Па:

$$\Delta P_т = A \cdot W_ф \cdot \mu_{г.см.}; \quad (2.16)$$

де А – постійна фільтрування;

$W_ф$ – швидкість фільтрування, м/с; $W_ф = q_Ф$= 1,98 м/хв = 0,033 м/с;

$\mu_{г.см.}$ - динамічна в'язкість газової суміші при р.у., Па·с.

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

$$\Delta P_{ш.п.} = \Delta P_ф - . \Delta P_к - \Delta P_т. \quad (2.17)$$

Час періоду міжрегенерації рукавного фільтру визначимо по формулі:

$$t_р = \frac{\Delta P_{С.П}}{B \cdot W_Ф^2 \cdot \mu_{см} \cdot z_1}, \quad (2.18)$$

де В – постійна фільтрування;

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

Розраховуємо постійні фільтрування А і В:

$$A = 0{,}475 \frac{(1-\varepsilon_п)^2}{\varepsilon_m^{3,24} \cdot \varepsilon_п^3 \cdot d_m^{1,77}}, \qquad B = 817 \frac{(1-\varepsilon_п)}{d_m^2 \cdot \varepsilon_п^3 \cdot \rho_ч}, \quad (2.19)$$

де $\varepsilon_п$ - пористість шару пилу; $\varepsilon_п$= 1 - 79$d_m^{0,47}$ =1 - 79$(13\cdot10^{-6})^{0,47}$= 0,6;

$\varepsilon_{тк}$ - пористість тканини, долі од.; $\varepsilon_{тк}$= 0,85;

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

$\rho_ч$ - щільність частинок пилу, г/м$^3$.

$$A = 0{,}475 \frac{(1-0{,}6)^2}{0{,}85^{3,24} \cdot 0{,}6^3 \cdot (13\cdot10^{-6})^{1,77}} = 265{,}1\cdot10^6 \text{ м}^{-1};$$

$$B = 817 \frac{(1-0{,}6)}{(13\cdot10^{-6})^2 \cdot (0{,}6)^3 \cdot 3500} = 2{,}56\cdot10^9 \text{ м/кг}.$$

Обчислюємо динамічний коефіцієнт в'язкості газу:

$$\mu = \mu_0 \frac{273 + c'}{T + c'} \left( \frac{T}{273} \right)^{1,5}, \qquad (2.20)$$

де $\mu_o$ - в'язкість компоненту при 0°С і тиску 101,3 кПа [7], Па·с;

$c'$ - постійна Сезерленда [7];

Т - абсолютна температура, °С.

Отже

$\mu_{N_2} = 22{,}78 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\mu_{CO} = 22{,}03 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\mu_{O_2} = 27{,}5 \cdot 10^{-6}$ Па·с;

$\mu_{CO_2} = 19{,}67 \cdot 10^{-6}$Па·с; $\mu_{SO_2}$ . = 17,53 $\cdot 10^{-6}$Па·с.

Знаходимо динамічну в'язкість суміші:

$$\mu_{см} = (\sum a_I \cdot \mu_I)/100 \qquad (2.21)$$

$$\mu_{см} = (80{,}15 \cdot 22{,}78 + 0{,}25 \cdot 22{,}03 + 15 \cdot 27{,}5 + 4{,}5 \cdot 19{,}67 + 0{,}1 \cdot 17{,}53) 10^{-6} / 100 =$$

$$= 23{,}34 \cdot 10^{-6} \text{Па·с}.$$

Гідравлічний опор тканини, Па:

$$\Delta P_т = 256{,}1 \cdot 10^6 \cdot 0{,}033 \cdot 23{,}34 \cdot 10^{-6} = 197{,}25 \approx 197 \text{ Па}.$$

Гідравлічний опір шару пилу визначимо, прийнявши опор рукавного фільтру ΔР = 2000 Па [7], тоді:

$$\Delta P_{с.п.} = 2000 - 49 - 197 = 1754 \text{ Па}.$$

Тривалість періоду фільтрування між двома регенераціями:

$$t_p = \frac{1754}{2{,}56 \cdot 10^9 \cdot 0{,}033^2 \cdot 23{,}34 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}675 \cdot 10^{-3}} = 39935 c \approx 11 \textit{годин.}$$

Гідравлічний опор тканини і шару пилу, Па:

$$\Delta P_{ф.п} = 197 + 1754 = 1951 \text{ Па}.$$

При ефективності рукавного фільтру η=98%, залишкова запиленість дорівнює, г/м$^3$:

$$z_2 = z_1(1 - \eta) = 0{,}675(1 - 0{,}98) = 0{,}014 \text{ г/м}^3. \quad (2.22)$$

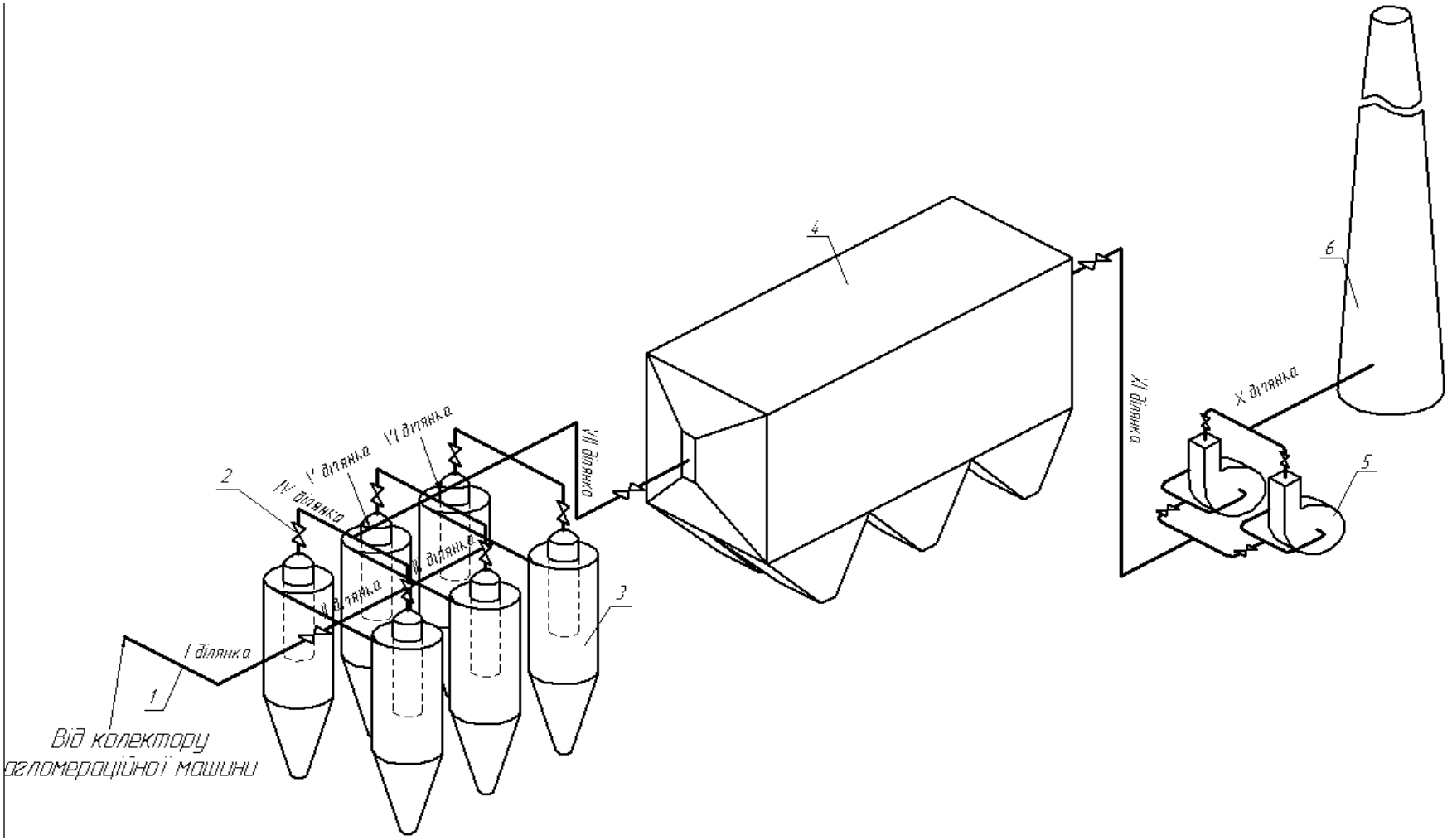
### 2.4.3 Аеродинамічний розрахунок газового тракту газоочисної системи

Вихідні дані для розрахунку:

1) витрата газів за нормальних умов, Q = 262 500 м$^3$/год;
2) витрата газів за робочих умов, $Q_р$ = 128,56 м$^3$/с;
3) температура газу перед циклоном, $t_{г1}$ = 150°С;
4) температура газу перед рукавним фільтром, $t_{г2}$ = 130°С;
5) барометричний тиск, В = 98 кПа;
6) розрідження перед газоочищенням, $P_{г.о.}$ = -10 Па;
7) щільність газів при н.у., $\rho_о$ = 1,31 кг/м$^3$;
8) щільність газів перед газоочищенням при р.у., $\rho_{г1}$ = 0,743 кг/м$^3$
9) опор циклону, $\Delta P_ц$ = 868 Па;
10) опор рукавного фільтру, $\Delta P_ф$ = 1951 Па.

Розрахунок газового тракту полягає у визначенні діаметрів і опорів його ділянок, що у свою чергу визначає характеристики димотягу. Схема газового тракту для аеродинамічного розрахунку представлена на рисунку 2.6. Довжини ділянок, залежно від розташування циклонів, рукавного фільтру і димотягу, такі:

$l_1$ = 30 м; $l_2$ = 6 м; $l_3$ = 8 м; $l_4$ = 6 м; $l_5$ = 6 м; $l_6$ = 8 м; $l_7$ = 15 м; $l_8$ = 20 м; $l_9$ = 10 м.




1 – газопровід від колектору агломераційної машини; 2 – засувка; 3 – циклони СЦН-50; 4 – рукавний фільтр ФРІР-3800; 5 – димотяг; 6 – димар

Рисунок 2.6 - Схема газового тракту очищення агломераційних газів в рукавному фільтрі

1. Розрахуємо діаметр початкової ділянки газоходу, через який проходить весь потік газів [7], тобто ділянка №1 :

$$d_1 = 1{,}13\sqrt{\frac{Q_p}{W}} = 1{,}13\sqrt{\frac{128{,}56}{20}} = 2{,}86\ м, \qquad (2.23)$$

де W = 20 м/с - прийнята швидкість руху газу, м/с.

Приймаємо діаметр газоходу $d_1$= 2,9 м [7], тоді дійсна швидкість газу на цій ділянці складе:

$$W_1 = 1{,}27 \cdot \frac{Q_1}{d_1^2} = 1{,}27 \cdot \frac{128{,}56}{2{,}9^2} = 19{,}4\ \text{м/с}. \qquad (2.24)$$

Розрахуємо опор ділянки №1, Па:

$$\Delta P_i = \Delta P_{li} + \Delta P_{Mi}, \qquad (2.25)$$

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

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

$$\Delta P_{li} = \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{W_i^2}{2} \cdot \rho_{Гi}, \text{Па}; \qquad \Delta P_{M_i} = \sum \zeta \cdot \frac{W_i^2}{2} \cdot \rho_{Гi}, Па, , \qquad (2.26)$$

де λ - коефіцієнт опору тертю, що залежить від внутрішньої поверхні трубопроводу;

*l* - довжина ділянки, м;

*d* - діаметр газопроводу, м;

*W* - швидкість газу на цій ділянці, м/с;

$\rho_г$ - щільність газу за робочих умов, кг/м$^3$;

Σζ - сума коефіцієнтів місцевих опорів.

З наближенням λ для трубопроводу, що тривалий час був в експлуатації можна розрахувати по виразу [7]:

$$\lambda = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{d}}; \qquad (2.27)$$

$$\lambda_1 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{2{,}9}} = 0{,}027 .$$

$$\Delta P_{l1} = 0{,}027 \cdot \frac{30}{2{,}9} \cdot \frac{19{,}4^2}{2} \cdot 0{,}743 = 39 \text{ Па.}$$

На ділянці №1 з місцевих опорів є один повільний поворот на 90° і засувка - $\zeta_{ЗАС}$ = 0,06. Коефіцієнт опору повороту можна визначити по формулі: $\zeta_{90} = 0{,}05 + 0{,}19 \cdot \frac{d}{R}$. Якщо прийняти для всіх розрахунків d/R=1, то отримаємо $\zeta_{90} = 0{,}05 + 0{,}19 \cdot 1 = 0{,}24$ [19]. Таким чином,

$$\Delta P_{М_1} = (0{,}06 + 0{,}24) \cdot \frac{W_1^2}{2} \cdot \rho_{Г1} = 0{,}3 \cdot \frac{19{,}4^2}{2} \cdot 0{,}743 = 42 Па; .$$

$$\Delta P_1 = \Delta P_{l\,1} + \Delta P_{М1} = 39 + 42 = 81 \text{ Па.}$$

2. Приймаємо на ділянці №2 швидкість руху газу $W_2$ = 19,4 м/с. На даній ділянці газовий потік ділиться і далі рухається з наступною витратою:

$$Q_2 = \frac{Q_p \cdot 3}{5} = \frac{128{,}56 \cdot 3}{5} = 77{,}14 \text{ м}^3 / с.$$

Тоді діаметр газоходу ділянки №2 складе:

$$d_2 = 1{,}13\sqrt{\frac{77{,}14}{19{,}4}} = 2{,}25 \text{ м}, \text{ приймаємо } d_2 = 2{,}3 \text{ м.}$$

Фактична швидкість руху газу:

$$W_2 = 1{,}27 \cdot \frac{77{,}14}{2{,}3^2} = 18{,}5 м / с .$$

Розрахуємо $\lambda_2$: $\lambda_2 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{2{,}3}} = 0{,}028$, тоді

$$\Delta P_{l2} = 0{,}028 \cdot \frac{6}{2{,}3} \cdot \frac{18{,}5^2}{2} \cdot 0{,}743 = 9\,\text{Па}.$$

На ділянці газоходу №2 місцевими опорами є перехід від діаметру $d_1$ = 2,9 м к діаметру $d_2$ = 2,3 м, тобто встановлений конфузор $\zeta_{КОНФ}$ = 0,1; роз'єднання потоків під кутом 90° – ζ = 0,74 [7], отже

$$\Delta P_{M_2} = (0{,}1 + 0{,}74) \cdot \frac{18{,}5^2}{2} \cdot 0{,}743 = 107\,\text{Па}. .$$

$$\Delta P_2 = \Delta P_{l\,2} + \Delta P_{M2} = 9 + 107 = 116\ \text{Па}.$$

3. Визначимо діаметр газопроводу ділянки №3, враховуючи, що через цю ділянку проходить 1/5 частина всього газового потоку, отже:

$$Q_3 = \frac{Q_p}{5} = \frac{128{,}56}{5} = 25{,}72\ \text{м}^3/c\ .$$

$$d_3 = 1{,}13\sqrt{\frac{Q_3}{W_3}} = 1{,}13\sqrt{\frac{25{,}72}{18{,}5}} = 1{,}23\,\text{м}\ .$$

Приймаємо стандартний діаметр газопроводу 1,325м, отже

$$W_3 = 1{,}27 \cdot \frac{25{,}72}{1{,}325^2} = 18{,}6\ \text{м/с}, \qquad \lambda_3 = \frac{0{,}0348}{\sqrt[4]{1{,}325}} = 0{,}03;$$

$$\Delta P_{l3} = 0{,}03 \cdot \frac{8}{1{,}325} \cdot \frac{18{,}6^2}{2} \cdot 0{,}743 = 23\text{Па}\ .$$

Місцевими опорами на даній ділянці конфузор, роз'єднання потоків під кутом 90° - $\zeta_{роз}$= 0,74 і засувка.

$$\Delta P_{M_3} = (\,0{,}1 + 0{,}74 + 0{,}06\,) \cdot \frac{18{,}6^2}{2} \cdot 0{,}743 = 116\ \text{Па}.$$

$$\Delta P_3 = \Delta P_{l\,3} + \Delta P_{M3} = 23 + 116 = 139\ \text{Па}.$$

Розрахуємо сумарний опор $\Delta P_I$ ділянки №1, №2 і №3 разом з опором циклону $\Delta P_ц$ = 868 Па:

$$\Delta P_I = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_Ц = 81 + 116 + 139 + 868 = 1204 \approx 1{,}2 \text{ кПа}.$$

Перш ніж розраховувати опори наступних ділянок необхідно перерахувати щільність і витрату газів, оскільки збільшилася розрідження газового тракту і знизилася температура газу:

$$\rho_{Г2} = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (B \pm P_Г)}{(273 + t_{Г1}) \cdot 101{,}3} = 1{,}31 \cdot \frac{273 \cdot (98 - (10 + 1{,}2))}{(273 + 130) \cdot 101{,}3} = 0{,}76 \text{ кг/м}^3.$$

$$Q_д' = Q_д \cdot \frac{\rho_{Г1}}{\rho_{Г2}} = 128{,}6 \cdot \frac{0{,}743}{0{,}76} = 125{,}7 \text{ м}^3/\text{с}.$$

4. Діаметр газопроводу ділянки №4 визначимо, враховуючи що через цю ділянку проходить газовий потік у кількості $Q_4 = \frac{Q_p'}{5} = \frac{125{,}7}{5} = 24{,}82 \text{ м}^3/\text{с}$, тоді діаметр газоходу при швидкості газу $W_4$=19 м/с складе:

$d_4 = 1{,}13\sqrt{\frac{24{,}82}{19}} = 1{,}292$ м, приймаємо стандартний $d_4$ = 1,325м, тоді

$$W_4 = 1{,}27 \cdot \frac{24{,}82}{1{,}325^2} = 18 \text{ м/с}, \quad \lambda_4 = \lambda_3 = 0{,}03;$$

$$\Delta P_{l4} = 0{,}03 \cdot \frac{6}{1{,}325} \cdot \frac{18^2}{2} \cdot 0{,}76 = 17 \text{ Па}.$$

Місцевими опорами на ділянці №4 є поворот на 90° і засувка, тоді

$$\Delta P_{М4} = (0{,}06 + 0{,}24) \cdot \frac{18^2}{2} \cdot 0{,}77 = 37 \text{ Па}.$$

$$\Delta P_4 = \Delta P_{l4} + \Delta P_{М4} = 17 + 37 = 54 \text{ Па}.$$

5. На ділянці №5 газовий потік проходить у кількості $Q_5 = \frac{Q_д'}{2} = \frac{125,7 \cdot 2}{5} = 49,64$ м³/с. Діаметр газопроводу ділянки, прийнявши швидкість газу $W_5$ = 18 м/с:

$$d_5 = 1,13\sqrt{\frac{49,64}{18}} = 1,88 \text{ м},$$

Приймаємо $d_5$ = 1,85м, отже

$$W_5 = 1,27 \cdot \frac{49,64}{1,85^2} = 18,4 \text{ м/с}, \qquad \lambda_5 = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{1,85}} = 0,03;$$

$$\Delta P_{l5} = 0,03 \cdot \frac{6}{1,85} \cdot \frac{18,4^2}{2} \cdot 0,76 = 13 \text{ Па}.$$

Місцевими опорами на ділянці №5 є перехід від діаметру $d_4$ = 1,325 м к діаметру $d_5$ = 1,85 м, тобто дифузор, а також з'єднання потоків – $\zeta_{з'єд}$= 0,74. Дифузор приймаємо з кутом розкриття α= 40°, тоді

$$\zeta_{диф} = \sin\alpha \cdot (\frac{F_{II}}{F_I} - 1)^2 = \sin 40 \cdot (\frac{1,85}{1,325} - 1)^2 = 0,1 \cdot \qquad (2.27)$$

$$\Delta Pм_5 = (0,74 + 0,1) \cdot \frac{18,4^2}{2} \cdot 0,76 = 109 \text{ Па}.$$

$$\Delta P_5 = \Delta P_{l\,5} + \Delta P_{M\,5} = 13 + 109 = 122 \text{ Па}.$$

6. На ділянці №6 газовий потік проходить у кількості $Q_6 = \frac{Q_p'}{2} = \frac{125,7 \cdot 4}{5} = 99,28 \text{ м}^3/c$. Виконаємо розрахунки діаметру газопроводу, швидкості руху газу $W_6$ і опорів ділянки. Результати розрахунку занесені в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку газового тракту

| Ділянки | Темпе-ратура газу, $t_г$,$^0$C | Витрата газу $Q_г$, м$^3$/с | Щільність газу $\rho_г$, кг/м$^3$ | Геометричні параметри ділянок | | Швидкість руху газу $W_г$, м/с | Вид місцевого опору, $\sum\zeta$ | | Втрати тиску | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | *l*, м | *d*, м | | Найменування | Значення | $\Delta P_l$, Па | $\Delta P_м$, Па | $\Delta P_\sum$ Па |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Розрідження перед очищенням | | | | | | | | | | | 10000 |
| №1 | 150 | 128,56 | 0,743 | 30 | 2,9 | 19,4 | Засувка, повільний поворот на 90$^0$. | 0,06+ 0,24 | 39 | 2 | 81 |
| №2 | 150 | 77,14 | 0,743 | 6 | 2,3 | 18,5 | Конфузор, роз'єднання потоків. | 0,1+ 0,74 | 9 | 107 | 116 |
| №3 | 150 | 25,72 | 0,743 | 8 | 1,325 | 18,6 | Конфузор, роз'єднання потоків, засувка. | 0,1+ 0,74 + 0,06 | 23 | 116 | 139 |
| Циклони | | | | | | | | | | | 868 |
| №4 | 130 | 24,82 | 0,76 | 6 | 1,325 | 18 | Засувка, повільний поворот на 90$^0$. | 0,06+ 0,24 | 17 | 37 | 54 |
| №5 | 130 | 49,64 | 0,76 | 6 | 1,85 | 18,4 | Дифузор, роз'єднання потоків. | 0,1+ 0,74 | 13 | 109 | 122 |

Продовження таблиці 2.7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| №6 | 130 | 99,28 | 0,76 | 8 | 2,6 | 18,7 | Дифузор, з'єднання потоків. | 0,11+ 0,74 | 11 | 114 | 125 |
| №7 | 130 | 124,1 | 0,76 | 15 | 2,9 | 18,7 | Дифузор, з'єднання потоків, два повільних повороти на $90^0$, дві засувки. | 0,01+ 0,74+ 0,48+ 0,12 | 19 | 182 | 201 |
| Рукавний фільтр | | | | | | | | | | | 1951 |
| №8 | 100 | 118 | 0,81 | 20 | 2,9 | 17,8 | Дві засувки, два повільних повороти на $90^0$, конффузор. | 0,12+ 0,48+ 0,1 | 24 | 90 | 114 |
| Ексгаустер | | | | | | | | | | | |
| №9 | 90 | 100,61 | 0,95 | 10 | 2,6 | 18,9 | Засувка, дифузор, поворот на $90^0$, вхід в димар. | 0,06+ 0,1+ 0,24+ 0,7 | 18 | 187 | 205 |
| Сумарний опір газового тракту $\mathbf{\Delta P_\Sigma = 12976 \approx 13}$ **кПа** | | | | | | | | | | | |

7. Через те, що опор ділянки №9 невідомо, невідомий і тиск, під яким знаходиться газ, а тому не можемо визначити нове значення щільності газу і його витрату. Приймемо, що тиск в газоході не відрізняється від атмосферного, тоді

$$\rho_{Г4} = \rho_0 \cdot \frac{273(B \pm P_Г)}{(273 + t_{Г4}) \cdot 101{,}3} = 1{,}31 \cdot \frac{273(98 \pm 0)}{(273 + 90) \cdot 101{,}3} = 0{,}953 \text{ кг/м}^3.$$

Приймаємо $\rho_{г4} = 0{,}95$ кг/м$^3$. При такій щільності газів витрата газів:

$$Q_9 = Q_8 \cdot \frac{\rho_{Г3}}{\rho_{Г4}} = 118 \cdot \frac{0{,}81}{0{,}95} = 100{,}61 \text{м}^3 / c.$$

8. Діаметр газопроводу ділянки №9, прийнявши $W_9 = 18$ м/с:

$$d_9 = 1{,}13\sqrt{\frac{100{,}61}{18}} = 2{,}67 \text{ м}, \text{ приймаємо } d_9 = 2{,}6 \text{ м, тоді}$$

$$W_9 = 1{,}27 \cdot \frac{100{,}61}{2{,}6^2} = 18{,}9 \text{ м/с}, \qquad \lambda_9 = 0{,}027;$$

$$\Delta P_{l9} = 0{,}027 \cdot \frac{10}{2{,}6} \cdot \frac{18{,}9^2}{2} \cdot 0{,}95 = 18 \text{Па}.$$

Місцеві опори на даній ділянці: засувка, дифузор – $\zeta_{диФ} = 0{,}1$; поворот на 90$^o$, вхід газу в димар - $\zeta_Д = 0{,}7$.

$$\Delta P м_9 = (0{,}06 + 0{,}1 + 0{,}24 + 0{,}7) \cdot \frac{18{,}9^2}{2} \cdot 0{,}95 = 187 \text{ Па}.$$

$$\Delta P_9 = \Delta P_{l\,9} + \Delta P_{М\,9} = 18 + 187 = 205 \text{ Па}.$$

Перерахуємо щільність газу, враховуючи отриманий опір ділянки №9:

$$\rho_{Г5} = \rho_0 \cdot \frac{273(B + P_Г)}{(273 + t_{Г4}) \cdot 101{,}3} = 1{,}31 \cdot \frac{273(98 + 0{,}205)}{(273 + 90) \cdot 101{,}3} = 0{,}955 \text{ кг/м}^3.$$

Приймаємо $\rho_{г5} = 0{,}96$ кг/м$^3$. При такій щільності газів витрата газів:

$$Q'_9 = Q_8 \cdot \frac{\rho_{Г3}}{\rho'_{Г4}} = 118 \cdot \frac{0{,}81}{0{,}96} = 99{,}56 м^3/с.$$

Відхилення нової величини витрати газу Q'$_9$ від попередньої $Q_9$ дорівнює: $\delta = \left(\frac{Q'_9}{Q_9} - 1\right)100 = \left(\frac{99{,}56}{100{,}61} - 1\right)100 = 1{,}04\%$, що є незначним, тому опор ділянки №9 приймаємо попереднім значенням $\Delta P_9$ = 205 Па і витрата газу $Q_9$ = 100,61 м$^3$/с.

Всі результати розрахунку занесені в таблицю 2.7. Опор газового тракту в цілому (див. табл. 2.7):

$$\Delta P_{ТРАК} = 1204 + 54 + 122 + 125 + 201 + 1951 + 114 + 205 = 3976+10000 \text{ Па} =$$
$$=13976 \approx 14 \text{ кПа}.$$

### 2.4.4 Розрахунок параметрів димаря

Димар необхідний для створення ефективної тяги і здійснення розсіювання шкідливих викидів. Висота димаря Н = 80м, діаметр основи $D_{осн}$= 4м, діаметр горловини димаря $D_{горл}$ = 2,6м.

Температура газів в підставі труби $t_{осн}$ = 85ºС, тоді температура газів в горловині труби: $t_{горл} = 85 - 0{,}5 \cdot 85 = 42{,}5$ºС.

Щільність газів в основі і на виході димаря:

$$\rho_{1осн} = 1{,}31 \cdot \frac{273}{273+85} = 1{,}0 кг/м^3; \quad \rho_{2горл} = 1{,}31 \cdot \frac{273}{273+42{,}5} = 1{,}14 кг/м^3. \qquad (2.28)$$

Тоді витрата газів в підставі і на виході димаря складе:

$$Q_{1осн} = Q_9 \cdot \frac{\rho_{Г4}}{\rho_{1осн}} = 100{,}61 \cdot \frac{0{,}95}{1{,}0} = 95{,}58 м^3/с; \; Q_{2горл} = Q_{1осн} \cdot \frac{\rho_{1осн}}{\rho_{2горл}} = 95{,}58 \cdot \frac{1{,}0}{1{,}14} = 83{,}84 м^3/с.$$

Швидкість газів на виході з труби, м/с:

$$W_2 = \frac{4 \cdot Q_{2горл}}{\pi \cdot D_{горл}^{\ 2}} = \frac{4 \cdot 83{,}84}{3{,}14 \cdot 2{,}6^2} = 15{,}8 м/с. \quad (2.29)$$

Гідравлічний опор димаря, Па:

$$\Delta P_{тр} = \lambda \cdot \frac{H}{D_{ГОРЛ}} \cdot \frac{W_г^2}{2} \cdot \rho_2 = 0{,}05 \cdot \frac{80}{2{,}6} \cdot \frac{15{,}8^2}{2} \cdot 1{,}14 = 219 Па., \quad (2.30)$$

де λ – гідравлічний коефіцієнт тертя; для бетонних труб λ = 0,05;

H – висота труби, м;

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

$$P_{дин} = \frac{W_2^2}{2} \cdot \rho_2 = \frac{15{,}8^2}{2} \cdot 1{,}14 = 142 Па. \quad (2.31)$$

Опор виходу в атмосферу:

$$\Delta P_{ВИХ} = \zeta_{вих} \cdot \frac{W_г^2}{2} \cdot \rho_2 = 1{,}5 \cdot \frac{15{,}8^2}{2} \cdot 1{,}14 = 213 \text{ Па}, \quad (2.32)$$

де $\zeta_{вих}$ – коефіцієнт опору виходу в атмосферу.

Сумарний опор димаря:

$$\Delta P_\Sigma = \Delta P_{тр} + P_{дин} + \Delta P_{вих} = 219 + 142 + 213 = 574 \text{ Па}. \quad (2.33)$$

Самотяга димаря визначається по формулі, Па:

$$P_т = q \cdot H(\rho_п - \rho_2) \cdot B/101{,}3 = 9{,}81 \cdot 80\ (1{,}165 - 1{,}14) \cdot 98/101{,}3 = 19 \text{ Па}, \quad (2.34)$$

де $\rho_п$ – щільність довколишнього повітря в даних умовах, кг/м$^3$:

$$\rho_В = 1{,}293 \cdot \frac{273}{273 + 30} = 1{,}165 кг/м^3 \quad (2.35)$$

Додатковий тиск:

$$P_{доп} = P_т - \Delta P_\Sigma = 19 - 574 = -555 \text{ Па}. \quad (2.36)$$

Так як $Р_{доп} < 0$, то означає що самотяга труби не забезпечує подолання його сумарного опору, тому $Р_{доп}$ слід врахувати загалом з аеродинамічним опором газового тракту.

### 2.4.5 Вибір тягодуттьового пристрою

Димотяг вибираємо на основі аеродинамічного розрахунку тракту. Продуктивність димотягу $Q_Д$ приймають із запасом 10% по відношенню до розрахункової кількості газів перед димотягом $Q_Р$ і з поправкою на барометричний тиск:

$$Q_Д = 1{,}1Q_Р \cdot 101{,}3/Р_{бар} = 1{,}1 \cdot 118 \cdot 3600 \cdot 101{,}3/98 = 483\,015 \text{ м}^3/\text{ч} = 134{,}17 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Створюване димотягом розрідження, приведене до умов каталога, по якому вибираємо димотяг, Па:

$$\Delta Р_{КАТ} = 1{,}2 \cdot \Delta Р_{\Sigma} \cdot К, \qquad (2.37)$$

де 1,2 – коефіцієнт запасу;

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

К – коефіцієнта перерахунку:

$$К = (273 + t_г)\ 101{,}3 \cdot \rho_{ог} / (273 + t_{кат})\ В \cdot \rho_{ов} =$$
$$= (273 + 100) \cdot 101{,}3 \cdot 0{,}81 / (273 + 350)\ 98 \cdot 1{,}293 = 0{,}39.$$

Тоді, $\Delta Р_{КАТ} = 1{,}2 \cdot (13976 + 555) \cdot 0{,}39 \approx 6801$ Па.

За значенням $\Delta Р_{КАТ}$ і продуктивності димотягу підбираємо його марку ДЦ-25х2. Цей димотяг розвиває продуктивність Q = 210 - 250 тис.м$^3$/год і повний тиск 7,0 кПа, тому приймаємо до встановлення два паралельно розміщених димотягів. Привід димотягу здійснюється від закритого одношвидкісного асинхронного електродвигуна АОЗ-13-59-6, встановленою

потужністю N = 800кВт, напругою 6000 В і частотою обертання n = 970об/хв. Максимальний КПД = 0,81 [20]. Споживана димотягом потужність:

$$N = \frac{Q \cdot \Delta P_{дим}}{\eta} \cdot 10^{-3} = \frac{134{,}17 \cdot 6350}{0{,}81} \cdot 10^{-3} = 1052\,кВт.$$

# 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

## 3.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

Шкідливостями, супутніми процесу спікання шихти, обробки і транспортуванню повернення (оборотного продукту), видачі агломерату і очищення газів від пилу є: а) окисел вуглецю; б) пил, супутній видачі агломерату і повернення; в) підвищена вологість у відділенні повернення; г) теплове випромінювання; д) шум.

Умови праці в надбункерном приміщенні в першу чергу обумовлені способом підготовки шихти. При використанні гарячого повернення (300 – 400 ºС) температура шихти підвищується до 70 – 80 ºС. Потрапляючи потім в приміщення з нижчою температурою, відбувається процес паротворення. Разом з парою виділяється велика кількість пилу, що незрідка приводить до втрати видимості. Якщо ж тепло повернення не використовувати, шихта при її транспортуванні є джерелом пило- і паровиділенням [8].

У таблиці 3.1 представлені шкідливі і небезпечні чинники виробничого процесу на робочому місці агломератника. Робоче місце має в наявності: 3 чинники I ступеню, 2 чинники II ступеню, 4 чинник III ступеню. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці.

В повітрі робочої зони міститься фенол, який відноситься до соматичних отрут, що викликають пошкодження кровоносної системи. Сірководень відноситься до хімічно задушливих токсичних речовин, які знижують вміст кисню у вдихуваному повітрі, зв'язуючи його хімічно. Сірководень викликає параліч дихання.

Діоксид азоту відноситься до токсичних речовин, що викликають в першу чергу ураження кінцевих дихальних доріг і легеневих альвеол.

Ангідрид сірчистий і аміак відносяться до токсичних речовин, що викликали в основному ураження верхньої частини дихального тракту. Оксид вуглецю з'єднується з гемоглобіном крові, і відноситься до хімічно задушливих речовин.

Таблиця 3.1 – Оцінка виробничого середовища і трудового процесу на робочому місці агломератника

| № п/п | Чинники виробничого середовища і трудового процесу | Нормативне значення | Фактичне значення | 3 клас - шкідливі і небезпечні умови і характер праці | | | Час дії, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | I ступінь | II ступінь | III ступінь | |
| 1 | Шкідливі хімічні речовини, мг/м$^3$ | | | | | | |
| | 1 клас небезпеки | | | | | | |
| | Ангідрид хромовий | 0,01 | 0,012 | 1,2 | | | 89,1 |
| | 2 клас небезпеки | | | | | | |
| | Марганцю оксиди | 0,05 | 0,420 | | | 8,4 | 89,1 |
| | Фенол | 0,3 | 0,31 | 1,033 | | | 89,1 |
| | Сірководень | 10 | 7,1 | | | | 89,1 |
| | 3, 4 клас небезпеки | | | | | | |
| | Ангідрид сірчистий | 10 | 6,2 | | | | |
| | Вуглецю оксид | 20 | 18,8 | | | | 89,1 |
| | Азоту діоксид | 2 | 2,17 | 1,085 | | | 89,1 |
| 2 | Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м$^3$ | 4 | 247,2 | | | 61,8 | 89,1 |
| 3 | Шум, дБ | 80 | 93 | | 13 | | 100 |
| 4 | Вібрація, дБА | 92 | 97 | | 5 | | 89,1 |
| 5 | Мікроклімат в приміщенні (теплий період): | | | | | | |
| | Температура повітря, °С | 15-21 | 39 | | | 18 | 89,1 |
| | Швидкість руху повітря, м/с | 0,5 | 0,35 | | | | 89,1 |
| | Відносна вологість повітря, % | 60-40 | 33 | | | | 89,1 |
| | Інфрачервоне випромінювання, Вт/м$^2$ | 140 | 3270 | | | 3270 | 83,7 |
| 6 | Тяжкість і напруженість праці | Тяжка III; дуже напружена | | | | | |

Значну шкідливість представляє оксид вуглецю, що є продуктом неповного згорання палива. Це безбарвний газ, що не має запаху і що не надає дратівливих дій на організм людини, що може викликати отруєння без яких-небудь попередніх відчуттів. Цей газ здатний надавати безпосередню токсичну дію на клітки, порушуючи тканинне дихання і зменшуючи вжиток тканинами кисню. Більш всього при отруєнні страждає центральна нервова система [9].

Одному з основних заходів по попередженню можливого отруєння газами є своєчасне виявлення місць їх виділення або скупчення. Ці місця є газонебезпечними. Перелік таких місць і ділянок складається заздалегідь і затверджується головним інженером заводу. Працівники санітарно-технічних лабораторій і газорятівні служби щодоби по встановленому графіку контролюють склад повітряного середовища у всіх газонебезпечних місцях. При виявленні виділень або скупчень газу негайно приймають заходи по припиненню допуску в газонебезпечні зони людей і локалізації джерела виділення газу [10].

Запиленість повітря в робочій зоні відділення спікальних машин пояснюється вступом пилу з неорганізованим припливом повітря через отвори з довколишнього простору і з суміжних приміщень під дією розрідження, що створюється устаткуванням. Джерелами пилоутворення є: завантаження агломашин шихтою, вихід паллет з приміщення зворотного ходу і горни. Найбільш інтенсивним джерелом пилу є вихід паллет (при ударі візків), де концентрація пилу в повітрі доходить до 300 мг/м$^3$ і більш.

Агломераційний пил є нетоксичним пилом й може шкідливо діяти на організм людини, дратуючи шкіру, очі, ясна, вуха. Проникаючи в легені, пил може викликати специфічні професійні захворювання, такі як силікоз, силікатоз та інші. Найбільш ефективними засобами боротьби з пилом є механізація виробничих процесів з герметизацією операцій, пов'язаних з просіюванням, змішуванням і транспортуванням сипких матеріалів і аспірацією пилу з місць її утворення, а також зрошування водою при різних

робочих операціях, пов'язаних з пилоутворенням. Також слід застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, зокрема респіратора ШБ-2 «пелюстка» [11].

Джерелами шуму на аглофабриках є ексгаустери, млини, дробарки, редуктори, вентилятори, компресори і насоси, перебіг газу або рідини по трубопроводах і т.д. Шкідлива дія шуму виражається в порушенні функції слуху і змінах нервової системи в результаті її перенапруження. Робота в умовах сильного шуму може викликати головний біль, запаморочення, послаблення уваги до навколишнього оточення, незрідка знижує гостроту сприйняттю сигналів. Особливою небезпекою є спільний вплив шуму і вібрації, який може привести до захворювань серцево-судинної і центрально нервової системи, розширення вен, захворюванню плечових суглобів і до інших порушень.

При здобутті агломерату виділяється велика кількість надлишкового тепла від розжареного пирога агломерату, при теплообміні з довкіллям нагрітих поверхонь горна і трубопроводів газоповітряних трактів, а також за рахунок витоку гарячих газів з горна, що пробиваються через щілини і нещільність в технологічному устаткуванні. Підвищена теплова дія на організм людини наводить до перенапруження його терморегуляторних функцій і може викликати порушення теплового балансу організму, що призводить до втрати свідомості, а у важких випадках навіть до смерті людини.

### 3.2 Технічні рішення по виробничій санітарії

Агломераційний цех є джерелом виділення виробничих шкідливостей в довкілля і відноситься до I класу підприємств. На підставі цього для цеху передбачено розміщення санітарно-захисної зони шириною 1000 м.

Агломераційний цех відноситься до групи гарячих цехів. Гарячі цехи розміщують по можливості в одно- і двопролітних будівлях. Агломераційний

цех розташовується з підвітряного боку по відношенню до житлового району, а також до цехів, що не мають джерел виділення шкідливостей в довкілля і до адміністративно-побутових будівель [12].

*Вентиляція і кондиціонування.* Унаслідок виділення великої кількості надлишкового тепла в агломераційному цеху потрібний значний повітрообмін, особливо в літній період. Роботи, що проводяться в агломераційному цеху відносяться до III категорії робіт, тобто фізична робота тяжка. Значення прийнятих допустимих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень агломераційного цеху відповідно до вимог Санітарних норм представлені в таблиці 3.2.

Вентиляції на агломераційній фабриці здійснюється за допомогою крупного централізованого устаткування. Приплив в спекательный зал, компенсуючи об'єм витягу під дією аглоексгаустерів, здійснюється припливними системами. Крім того, для поліпшення мікроклімату на робочих місцях агломератників в районі головних частин агломераційних машин пропонується здійснювати подачу повітря душуючими устатковинами з обробкою повітря на типових кондиціонерах.

Технологічне устаткування, робота якого супроводжується пило-, газо- і тепловиділеннями (дробарки, грохоти і ін.), слід встановлювати комплектно зі вбудованими герметизованими укриттями, що мають відсмоктування з патрубками для підключення до аспіраційних установок.

Таблиця 3.2 – Допустимі параметри повітряного середовища виробничих приміщень агломераційного цеху

| Період року | Характеристика по надлишкових тепловиділеннях | Категорія робіт по тяжкості | На постійних робочих місцях | | | Температура повітря поза постійними роб. місцями, °С |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Тем-тура повітря, °С | Відносна вологість повітря, % | Швидкість руху повітря, м/с | |
| Холодний | >23Вт/м$^3$ | III | 13-19 | Не більше 75 | Не більше 0,5 | 12-20 |
| Теплий | >23Вт/м$^3$ | III | 18-21 | 60-40 | 0,5 | 13-26 |

Значне пилоутворення виникає при заповненні бункерів шихтовими матеріалами. Одним із засобів попередження виділення пилу є герметизація бункера. Щілини бункера вкривають двома гумовими стрічками, які спираються один на одного під дією власної ваги. Кріплення стрічок здійснюється металевими планками, шарнірно сполученими одним кінцем з перекриттям бункера. Розсовування стрічок виробляється клиноподібними рамами, змонтованими на тічках скидаючого візка. З метою зменшення тертя і зносу стрічки на тічках і клиноподібних рамах встановлюють ролики. Для спостереження за заповненням бункера в рамах влаштовані оглядові отвори.

Основний метод боротьби з підвищеною запиленістю при завантаженні матеріалу конвеєром полягає в обладнанні укриттів технологічного устаткування і організації відсмоктувань від укриттів. Головне завдання місцевої витяжної вентиляції полягає в тому, аби уловлювати і видалити шкідливі виділення з міст їх утворення, не допускаючи поширення по приміщенню. Для стрічкового конвеєра доцільно застосовувати повне укриття (рис. 3.1). При завантаженні матеріалу конвеєром укриття роблять з металевого кожуха, який встановлюють над щілиною бункери. Для спостереження за заповненням бункера з боків укриття обладнують оглядовими вікнами, що затягуються сіткою [12].

Об'єм повітря, що видаляється, при повному укритті визначається виходячи з умов повного видалення повітря, що нагнітається в укриття матеріалом і працюючим устаткуванням, а також створення в укритті розрідження, аби повітря підсмоктувалося з укриття.

При перевантаженні матеріалу з транспортера кількість повітря, що видаляється з повного укриття башмаку тічки, визначається по формулі, $м^3/ч$:

$$L = L_e + L_H, \qquad (3.1)$$

де $L_e$ - кількість повітря, що поступає в укриття за рахунок ежекції матеріалів, $м^3/год$;

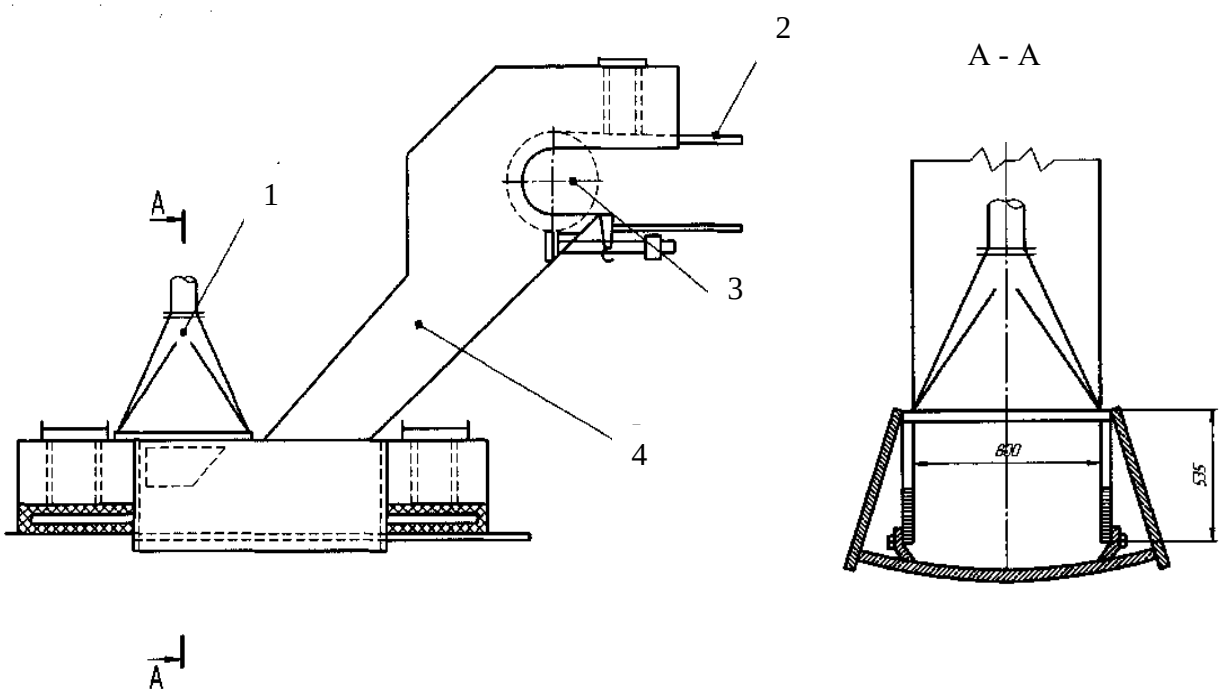
$L_н$ - кількість повітря, що поступає за рахунок створюваного в укритті розрядження, м$^3$/год.

$$L_e = 0{,}04 \cdot К \cdot G_m \cdot V^2_м, \qquad (3.2)$$

де К - коефіцієнт конструкції укриття, приймаємо К = 2 [12];

$G_m$ - кількість матеріалу, м$^3$/с;

$V_м$ - швидкість руху матеріалу, м/с.




1 – витяжний парасоль; 2- стрічки конвеєра; 3 – провідний барабан; 4 –течка

Рисунок 3.1 – Повне укриття башмаку тічки стрічкового конвеєра

$$G_m = 300 \cdot B^2 \cdot V_л, \qquad (3.3)$$

де В - ширина стрічки, м;

$V_л$ - швидкість стрічки, м/с; не повинна перевищувати 1,5 м/с, тому приймаємо $V_л = 0{,}5$ м/с.

$$V_м = 2 \cdot g \cdot H(1 – 1{,}2 \cdot f \cdot ctg\alpha) + (V_{поч} \cdot К_м)^2, \qquad (3.4)$$

де Н - висота падіння матеріалів, м;

f - коефіцієнт тертя матеріалів об поверхню тічки, приймаємо 0,65 [23];

$\alpha$ - кут нахилу завантажувальної тічки до горизонталі, $\alpha = 30^{o}$ [23];

$V_{поч}$ - початкова швидкість руху матеріалів в тічці, м/с; $V_{поч} = V_{л}$;

$К_{м}$ - коефіцієнт, що враховує зміну швидкості матеріалу під час вступу з транспортера в тічку.

$$L_{н} = 3600 \cdot F_{н} \cdot V_{н}, \qquad (3.5)$$

де $F_{н}$ - сумарна площа нещільності і отворів в стінках укриття, $м^2$;

$V_{н}$ - мінімальна розрахункова швидкість повітря в нещільності і отворах [12], приймаємо $V_{н} = 2,5$м/с.

$$G_{m} = 300 \cdot 0,8^2 \cdot 0,5 = 96 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V_{м} = 2 \cdot 9,8 \cdot 0,6 \cdot (1 - 1,2 \cdot 0,65 \cdot 0,333) + (0,5 \cdot 1,1)^2 = 3 \text{ м/с};$$

$$L_{э} = 0,04 \cdot 2 \cdot 96 \cdot 3^2 = 69,12 \text{ м}^3/\text{ год}; \qquad L_{н} = 3600 \cdot 0,37 \cdot 2,5 = 3330 \text{ м}^3/\text{ год};$$

$$L = 69,12 + 3330 = 3399,12 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Отже, при перевантаженні матеріалу з транспортера у бункер за допомогою організації повного укриття башмаку тічки конвеєра транспортера, кількість запиленого повітря яке при цьому видаляється складає близько 3400 $м^3$/год.

*Освітлення*. При виборі рішень по освітленню в агломераційному цеху були взяті до уваги наступні чинники: відсутність точних зорових робіт і украй несприятливі умови середовища; у місцях зручних для обслуговування при великій кількості пилу застосовуємо пилонепроникні світильники типа СХ і ПГТ; аварійне освітлення передбачаємо практично у всіх виробничих і прохідних приміщеннях. Аварійне освітлення у всіх випадках складає 0,3 лк, а коефіцієнт запасу дорівнює 1,7 для всіх випадків, окрім завантаження агломерату у вагони (при вантаженні 1,5, на під'їзних шляхах 1,3); для

забезпечення можливості виробництва ремонтних робіт, огляду внутрішніх порожнин застосовуємо переносне освітлення [12].

Роботи агломератника відносяться до VI розряду зорової роботи, до підрозряду *а*. Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості (КЕО) дорівнює $e_н$=0,608%.

Для штучного освітлення в агломераційному цеху застосовуються лампи розжарювання ФРЛ – 500 М, напругою 500 Вт і світильники ГСР–400 Вт. Коефіцієнт запасу світильників залежно від запиленої дорівнює 1,7 [12].

*Основні і допоміжні цехи* агломераційного виробництва мають приміщення, в яких розміщуються вбиральні, душові, вмивальні і інші служби санітарно-побутового призначення. Допоміжні приміщення розміщуються в прибудовах до виробничих будівель і в окремих будівлях.

Всі санітарно-побутові приміщення повинні регулярно провітрюватися і щодня прибиратися. Якщо неможливе природне провітрювання, то влаштовується вентиляція. Санітарно-побутові приміщення опалюються від центральної системи опалювання.

Для постачання питною водою у виробничих будівлях встановлені фонтанчики, закриті баки з фонтануючими насадками і інші пристрої, які розміщені в проходах виробничих приміщень, приміщеннях для відпочинку, у вестибулях, а також на майданчиках, території підприємств і поблизу технологічних установок, розміщуваних зовні будівель.

*Виробничий шум, виробнича вібрація*. Найбільш шумонебезпечним устаткуванням є грохоти, дробарки, ексгаустери. Для захисту виробничого персоналу від шуму машин її повністю закривають герметично звукоізолюючим кожухом, який виготовляють зазвичай із сталевих листів завтовшки 2-3мм, а внутрішні поверхні облицьовували звукопоглинальними матеріалами. Якщо це не зробити, то за рахунок хорошої відбивної здатності сталевих листів рівень шуму усередині кожуха різко підвищитися і його фактична звукоізоляція виявиться зменшеною на 18 – 20 дБА.

Звукоізолюючий кожух встановлюють на пружних прокладках, а машину ретельно віброізолюють від фундаменту, не допускаючи жорстких контактів між машиною і кожухом. Отвори для циркуляції повітря і проходу комунікацій забезпечуються глушниками шуму або герметизуються сальниками.

*Виробничі (теплові) випромінювання*. Джерелом інтенсивних теплових випромінювань є спекальні (обпалювальні) машини, запальні горни і грохоти. Несприятливий вплив високих температур повітря посилюється дією випромінюваного тепла.

Для зниження шкідливої дії тепла на організм людини стінки і склепіння запальних горнів агломашин мають бути теплоізольовані, а над горнами мають бути влаштовані парасольки з витяжними трубами. З боків запальних горнів для захисту від променистого тепла мають бути влаштовані екрани у вигляді щитів з металевих листів і азбесту або сіток, безперервно зрошуваних водою [11].

### 3.3 Заходи щодо техніки електробезпеки

Небезпека електричних поразок створює різне устаткування: електричний привід (включаючи пускорегулюючу апаратуру), електроустаткування підйомно-транспортних пристроїв, електрифікований внутрізаводський транспорт, зварювальні апарати, освітлювальні установки, електричний ручний інструмент і т.д.

Значне число нещасних випадків на аглофабриках відбувається при обслуговуванні рубильників унаслідок дотику до незахищених струмопровідних частин рубильників, а також від виникнення електродуги при відключенні рубильників під навантаженням. Апарати в розподільних пристроях можуть заподіяти шкоду обслуговуючому персоналу, запалити або пошкодити довколишні предмети і викликати коротке замикання на землю, оскільки при їх експлуатації виникають іскри або електродуга. Також

можливий дотик до струмопровідних частин пускорегулюючих і захисних апаратів.

На всіх ділянках агломераційного цеху є велика кількість електродвигунів, панелей, електричних приладів, устаткування і т.п., комплектна трансформаторна підстанція (містить чотири трансформатори типа ТМЗ). Для роботи електроустаткування необхідна напруга 380В. Електричний струм використовується також для освітлення приміщень; необхідна напруга 220 В. Таким чином, агломераційний цех відноситься до категорії з підвищеною небезпекою поразки людей електричним струмом.

При експлуатації електродвигунів замкнутого типа можливий випадковий дотик до дротів, що підводять електрострум, виводи яких знаходяться на сполучних клемах клемної коробки на корпусі електродвигуна, в разі її незахищеності. На особливу увагу заслуговують переносні електродвигуни, вживані при експлуатації різних переносних електроінструментів. Якщо корпус такого електродвигуна виявляється під напругою, то унаслідок щільного контакту з великою поверхнею зіткнення створюється небезпека важкої поразки електричним струмом працюючих.

При нормальному режимі роботи безпечніша тридротяна мережа з ізольованою нейтраллю. При аварійному режимі безпечніша чотиридротяна мережа з глухозаземленою нейтраллю. Мережі з глухозаземленою нейтраллю застосовуються там, де неможливо забезпечити хорошу ізоляцію дротів, оскільки є висока температура і вологість повітря, агресивне середовище, велика протяжність мережі, а також коли не можна швидко відшукати або усунути пошкодження ізоляції, якщо ємність дротів відносно землі велика, тобто коли можливий аварійний режим. У зв'язку з цим виберемо мережу, необхідну для живлення електроустаткування агломераційного цеху, трифазну чотиридротяну з глухозаземленной нейтраллю. Внутрішньоцехова електрична мережа виконана з ізольованих дротів і кабелів, захисні оболонки яких по механічній міцності, а також по стійкості відносно хімічних дій відповідають умовам їх експлуатації в агломераційному цеху.

Ефективною мірою захисту для трифазних чотиридротяних мереж напругою до 1000 В з глухозаземленной нейтраллю є захисне занулення. Для безпечного обслуговування електроустановок мережі необхідно періодично перевіряти ізоляцію на електроміцність, аби визначити величину струмів витоку в мережі і попередити можливість пробою на корпус. Слід мати на увазі, що з моменту замикання фази на занулений корпус і до моменту спрацьовування захисту на нульовому дроті, а отже, на всіх приєднаних до нього корпусах виникає небезпечна напруга. Крім того, при випадковому обриві нульового дроту і пробої фази на корпус, приєднаний до обірваної ділянки дроту, всі корпуси, що знаходяться за місцем обриву, виявляться під фазною напругою. Пристрій, що автоматично відключає електричний пристрій за час не більш 0,2с при виникненні в ній пошкодження, у тому числі при появі напруги на корпусі і інших металевих частинах, називається захисним відключенням. Якщо при дотику людини до корпусу устаткування або фази мережі напруга дотику перевищить тривало допустиме значення, то виникає реальна загроза поразки людини струмом і мірою захисту в цьому випадку може бути, зокрема, швидкий розрив ланцюга струму через людину, тобто відключення відповідної ділянки мережі. Для виконання цього завдання і призначено захисне відключення [12].

### 3.4 Заходи пожежної безпеки

Агломераційне виробництво можна віднести до категорії «В» по пожежонебезпечності. Основними ознаками цієї категорії є, наявність горючого пилу коксу, мінеральних масел і ін.

Всі машини для подрібнення мають барабан, в який потрапляє оброблюваний матеріал і робочі органи (щоки, валяння, молотки, ролики та інші) за допомогою яких і здійснюється дроблення. Технологія дроблення і подрібнення твердого палива (коксик, антрацитний штиб), технологічне устаткування і вентиляція відповідають вимогам категорії виробництва «В».

Процеси дроблення горючих речовин достатньо пожежонебезпечні, оскільки супроводжуються збільшенням поверхні твердих речовин - коксу, що у свою чергу підвищує їх реакційну здатність, з'являється вибухонебезпечний пил. Тому дробарки виготовляють закритими. Представляє небезпеку пил, який виділяється з млинів у виробничі приміщення. Пил коксу здатний займатися і викликати вибух. [25]

До категорії «Д» відносяться відділення дроблення, сортування, перевантажувальні пункти, механічні майстерні, склади запасних частин, інструменту і тому подібне До категорії «Г» відносяться відділення випалення, сушильні відділення, майстерні газо- і електрозварювань. До категорії «В» відносяться склади вугілля, мазуту, ГСМ, а також електричні розподільні пристрої з мастилонаповнюючими апаратами.

Умови розвитку пожежі в будівлях і спорудах багато в чому визначається ступеням їх вогнестійкості. Будівля агломераційного цеху відноситься до III ступеню – будівлі, в яких основні несучі конструкції не згорають – важкоспалимі (межа вогнестійкості 0,25…2 год) [12].

До пожежонебезпечної зони П- II а в агломераційному цеху відносяться підйомники, майданчики на відмітці завантажувального пристрою, розвантажувальний пристрій і пневмотранспорт.

Для безпечної роботи електроустаткування в пожежонебезпечних приміщеннях і зовнішніх установках необхідно правильно вибирати електроустаткування. Частини електродвигунів, що іскрять, закривають пилонепроникними ковпаками. Розподільні пристрої укладають в закриті камери або пилонепроникні кожухи. У пожежонебезпечних приміщеннях використовують захищене електроустаткування. Пожежонебезпечні приміщення захищають від прямих ударів блискавки.

У агломераційному цеху передбачена устаткована пожежної сигналізації, яка призначена для автоматичного виявлення і видачі сигналів про пожежу, включення апаратури аварійної сигналізації, формування

управлінських сигналів для системи сповіщення про пожежу, відключення вентиляції технологічних блокувань.

В якості вогнегасильних засобів використовуються краплинні водяні струмені, водно-хімічні піни і емульсії, механічно-повітряні піни з додаванням змочувачів. У агломераційному цеху для гасіння пожеж застосовують хімічні пінні вогнегасники ВХП-10 і вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5 і ВВ-8, а також пересувні ВВ-25 і ВВ-80 [11].

# 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

## 4.1 Структура управління і організація в цеху

Організаційна структура управління агломераційним виробництвом в цілому залежить від складу цеху, характеру, обсягу виробництва, технічної оснащеності, у тому числі засобів управління. На рисунку 4.1 показана організаційна структура управління проектованого цеху.

Начальник цеху відповідає за своєчасне забезпечення цеху необхідними матеріалами, вдосконалення техніки і впровадження прогресивної технології, науковій організації праці, за стан техніки безпеки і охорони праці.

Заступник начальника цеху спільно з планово-розподільним відділом заводу складає оперативні графіки виробництва (тижневі, добові, змінні), видає завдання ділянкам цеху, здійснює системний контроль за їх виконанням, аналізує роботу цеху за добу і за місяць і на підставі цього спільно з економічними службами розробляє заходи щодо поліпшення техніко-економічних показників.

Начальник зміни є оперативним керівником і організатором роботи в зміні, його розпорядження обов'язкові для всього змінного персоналу. Він зобов'язаний забезпечити виконання змінного завдання виплавки сталі відповідно до добово-змінного графіка.

Функції контролю за виконанням суміжними цехами графіків постачання цеху сировиною, напівфабрикатами, транспортом, контроль і облік виконання змінних графіків, і надання допомозі ділянкам цеху в попередженні і усуненні причин відхилень від заданого режиму роботи покладені на змінних диспетчерів.

Ремонтну службу цеху очолює заступник начальника цеху по устаткуванню, що відповідає за стан і ремонт всього устаткування цеху.




Рисунок 4.1 – Структура управління агломераційним цехом

Механік цеху під керівництвом помічника по устаткуванню складає графіки профілактичних оглядів устаткування, проводить ремонт його відповідно до графіків, стежить за наявністю запасних частин на складі, особисто виробляє періодичний огляд механічного устаткування. Електрик й енергетик цеху керують експлуатацією і ремонтом відповідно електроустаткування і енергоустаткування. Вони мають ті ж права і обов'язки, що і механік цеху.

Цехова контора веде цеховий бухгалтерський облік всіх витрат на виробництво, оперативну і місячну звітність, табельний облік і виробляє розрахунки по заробітній платі працівників цеху, якщо вони не здійснюються в централізованому порядку головною бухгалтерією заводу.

Інженер по нормуванню спільно з керівництвом цеху розробляє плани по всіх ділянках цеху, займається нормуванням праці, організацією заробітної плати.

Інженер-економіст здійснює техніко-економічне планерування, проводить аналіз роботи цеху і облік виконання плану основними агрегатами, ділянками і бригадами.

Безпосереднім керівником і організатором роботи на своїй ділянці є майстер. Майстер повинен забезпечити повне завантаження устаткування, економне витрачання сировини, матеріалів, палива, усунення втрат робітника час і підвищення якості продукції, що випускається.

Для правильної організації праці в агломераційному цеху необхідно орієнтуватись на його виробничу потужність. Продуктивність однієї спікальної машини АКМ1-75 за рік склала $Q_р$ = 1 587 600 т/рік. Отже машин, необхідних для забезпечення виробництва агломерату у кількості 3 000 000 т/рік, n = 2шт, таким чином одна агломераційна машина виробляє 1 500 000 т/рік агломерату.

Для забезпечення безперервного виробництва агломераційного цеху застосовується чотирибригадний графік роботи в три зміни тривалістю по 8 годин. При такому графіку робіт після чотирьох днів роботи в одній зміні бригади мають 48-годинний відпочинок. Чергування змін пряме, тобто бригади переходять з першої зміни в другу, з другої – в третю, з третьої – в першу.

Кожному працівникові має бути наданий щотижневий відпочинок, що забезпечується вживанням відповідних графіків змінності.

При плануванні розрізняють: явочний, штатний, обліковий штат робітників. Основою для визначення загальної чисельності робітників є змінний розстановлений штат. Відповідно до нормативів чисельності виробничих робітників розрахуємо явочну кількість робітників у вигляді таблиці 4.1.

*Штатна* чисельність (склад) враховує підмінних робітників:

$$Ч_ш = Ч_{яв}^{зм} \times n_{бр}, \quad (4.1)$$

де $Ч_{яв}^{зм}$ - явочна (розстановлена) чисельність (табл. 4.1), чол;

$n_{бр}$ – кількість бригад.

*Чисельність за списком* $Ч_{сп}$ (облікова кількість) враховує відсутніх робітників з певної причини (відпустка, хвороба та ін.):

$$Ч_{сп} = Ч_{ш} \times К_{сп}\ , \qquad (4.2)$$

де $К_{сп}$ – коефіцієнт списочності, який враховує резерв робітників, що знаходяться у відпустці, які хворіють, та ін.

Для визначення коефіцієнта списочності на підприємстві складають плановий баланс робочого часу одного робітника (табл. 4.2).

Розрахунок штатного розкладу основних робітників агломераційного цеху зведено в таблицю 4.3, а штатний розклад керівників та фахівців цеху зведено в таблицю 4.4 [13].

Таблиця 4.1 - Змінний явочний штат обслуговуючого персоналу

| Професія | Кількість машин | Норма чисельності на одну агломашину | Явочна чисельність $Ч_{яв}^{зм}$, чол |
|---|---|---|---|
| Змінний майстер | 2 | 1 | 1 * 2 = 2 |
| Агломератник | | 2 | 2 * 2 = 4 |
| Помічник агломератчика | | 2 | 2 * 2 = 4 |
| Бункеровщик | | 2 | 2 * 2 = 4 |
| Оператор газоочисної установки (ГОУ) | | 1 | 1 * 2 = 2 |
| Всього: | | | 16 |

Таблиця 4.2 - Плановий річний баланс робочого часу (у середньому на одного робітника)

| Показники | Од. виміру | Значення | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1. Календарний фонд часу, $T_к$ | дні | 365 | |
| 2. Кількість бригад, $n_{бр}$ | | 4 | |
| 3. Кількість робочих змін за добу, $n_р$ | | 3 | |
| 2. Середня тривалість робочої зміни, $t_{зм.}$ | годин | 8 | $t_{зм} = 24/ t_{зм}$ |
| 3. Кількість вихідних днів, $T_{вих}$ | дні | 91,25 | $T_{вих.} = \frac{T_к \times (n_{бр} - n_р)}{(n_{бр})}$ |
| 6. Номінальний фонд робочого часу, $T_{ном}$ | дні | 273,75 | $T_{ном} = (T_к - T_{вих})$ |
| | годин | 2190 | $T_{ном.}^{год.} = (T_к - T_{вих})t_{зм}$ |
| 8. Невиходи на роботу $T_{невих.}$, всього | дні | 30 | |
| з таких причин:<br>- відпустка<br>- неявки з дозволу адміністрації<br>- хвороба<br>- інші неявки | дні | 24<br>1<br>4<br>1 | |
| 9. Ефективний фонд робочого часу, $T_{еф}$ | дні | 243,75 | $T_{еф.} = T_{ном} - T_{невих.}$ |
| | годин | 1950 | $T_{еф.}^{год.} = (T_{ном} - T_{невих.})t_{зм}$ |
| 10. Коефіцієнт списочності, $K_{сп}$ | | 1,12 | $K_{сп} = \frac{T_{ном}}{T_{еф}}$ |

Таблиця 4.3 – Штатний розклад основних робітників цеху

| Професія | Розряд | Тарифна ставка, грн/год | Графік роботи | Чисельність по бригадам, чоловік | | | | $Ч_{шт\ доб}$, чол. | Резерв, чол. | $Ч_{сп}$, чол. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| Змінний майстер | 8 | 15,82 | Безперервний 3-и змінний 4-и бригадний | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | 1 | 9 |
| Агломератник | 7 | 13,75 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 | 2 | 18 |
| Помічник агломератника | 6 | 11,96 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 | 2 | 18 |
| Бункеровщик | 6 | 11,96 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 | 2 | 18 |
| Оператор ГОУ | 5 | 10,40 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 8 | 1 | 9 |
| Усього | | | | 16 | 16 | 16 | 16 | 64 | 8 | 72 |

Таблиця 4.4 - Штатний розклад керівників та фахівців цеху

| Професія | Начальник цеху | Старший майстер | Зам. нач. цеху з вироб.-ва | Економіст | Старший інженер з охорони праці | Мастер механік | Мастер електрик |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Кількість, чол. | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Місячний оклад, грн. | 5300 | 4800 | 4500 | 3400 | 3400 | 3000 | 2800 |

## 4.2 Техніко-економічне обґрунтування дипломного проекту

Величина капітальних вкладень визначається з величин таких статей витрат [14]:

1) Капітальні вкладення в обладнання і засоби контролю й автоматизації:

$$КВ_о = Ц_о \cdot (1 + К_{т-з.} + К_{б-м.}) \cdot n, \qquad (4.3)$$

де $Ц_о$ – ціна купівлі одиниці обладнання і засобів контролю й автоматизації, грн;

$К_{т-з.}$ – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати (0,05 – 0,1 від ціни обладнання); приймаємо $К_{т-з.} = 0,075$;

$К_{б-м.}$ - коефіцієнт, що враховує витрати на будівельно-монтажні роботи (0,1 – 0,2 від ціни обладнання); приймаємо $К_{б-м.} = 0,15$

n – кількість одиниць обладнання.

2) Капітальні вкладення в підйомно-транспортне устаткування (10% від вартості обладнання).

3) Інші витрати, які приймаються в розмірі 5% від сумарної величини попередніх капітальних вкладень.

У кваліфікаційній роботі пропонується встановити в агломераційному цеху наступне основне устаткування: дві агломераційні машини АКМ1-75,

газоочисне обладнання (рукавний фільтр ФРІР-3800, конвеєри з бункером накопичувачем пилу, димотяг).

Результати розрахунку капітальних вкладень зведені в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 - Капітальні вкладення в основне і допоміжне устаткування і підйомно-транспортні засоби

| № | Показники | Кіл-ть од.-ць | Вартість, млн. грн. | | $1+К_{т-з}+К_{б-м.}$ | Сума, млн.грн. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Одиниці | Всього | | |
| | Капіталовкладення в основне обладнання, $КВ_о^{\Sigma}$: | | | | | 692,542 |
| 1. | 1) Агломераційні машини АКМ1-75 | 2 | 280,0 | 560,0 | 1,225 | 686 |
| | 2) Газоочисне обладнання: | | | | | |
| | - рукавний фільтр | 2 | 2,5 | 5,0 | 1,225 | 6,125 |
| | - конвеєри з бункером накопичувачем пилу | 2 | 0,03 | 0,06 | 1,225 | 0,074 |
| | - димотяг | 4 | 0,07 | 0,28 | 1,225 | 0,343 |
| 2 | Капітальні вкладення в підйомно-транспортне устаткування, $КВ_{під-тр.}$ | | | | | 69,254 |
| 3 | Інші витрати, $КВ_{ін.}$ | | | | | 38,09 |
| | РАЗОМ, $КВ_{\Sigma}$ | | | | | **799,886** |

При калькулюванні собівартості продукції виконують розрахунок витрат на сировину, матеріали, паливо на одиницю продукції, а також необхідно врахувати витрати на експлуатацію газоочисної системи [14].

Витрати на утримання та експлуатацію основного обладнання розраховуємо укрупненим методом, приймаючи їх у розмірі 110% від величини амортизаційних витрат на обладнання. Загальновиробничі витрати приймаємо у розмірі 10% від величини амортизаційних витрат за рік [14].

Амортизаційні витрати за рік визначаємо як 5% від $КВ_{\Sigma}$, а амортизаційні витрати на обладнання визначаємо як 15% від $КВ_о^{\Sigma}$:

$$А = КВ_{\Sigma} \cdot 0,05 = 799,886 \cdot 0,05 = 39,99 \text{ млн. грн;} \quad (4.4)$$

$$А_{о} = КВ_{о}^{\Sigma} \cdot 0,15 = 692,542 \cdot 0,15 = 103,88 \text{ млн. грн.} \quad (4.5)$$

Адміністративні витрати приймаємо в розмірі 80% від величини загальновиробничих витрат. Витрати на збут приймаємо в розмірі 60% від величини адміністраційних витрат.

Витраті на експлуатацію газоочисної системи включають витрати на експлуатацію рукавного фільтру: витрати на використання стислого повітря, витрати на заміну тканини та енергетичні витрати на транспортування газу.

Витрати на використання стислого повітря:

$$C_{ст.п.} = B_{ст.п} \cdot T_{еф} \cdot Ц_{ст.п.}, \quad (4.6)$$

де $B_{ст.п}$ - витрата стислого повітря за рік, м$^3$;

$T_{еФ}$ – річний фонд фактичного часу роботи устатковини, год.

$Ц_{ст.п}$ - ціна за 1 м$^3$ стислого повітря, грн, $Ц_{сж.в}$ = 0,2 грн;

$$C_{ст.п.} = 250 \cdot 350 \cdot 24 \cdot 0,2 = 420000 \text{ грн.}$$

Витрати на тканину визначаються залежно від вартості 1 м$^2$ вживаної для виготовлення рукавів тканини. Як матеріал для виготовлення фільтрувального рукава використано поліефірне іглопробівне полотно з каркасом з філаментних ниток, вартість якої – 150 грн за 1 м$^2$. Тканина для рукавів підлягає заміні 1 раз в 2-а роки, тоді:

$$C_{т} = (3800 / 2) \cdot 150 = 285000 \text{ грн.} \quad (4.7)$$

Витрати на транспортування газу, що очищаються, грн:

$$C_{Э} = T_{эф} \cdot r \cdot l \cdot N, \quad (4.8)$$

де *r* - вартість електроенергії; r = 0,55 грн/кВт· год;

*l* - коефіцієнт, що враховує вміст обслуговуючого персоналу, *l* =1,1;

*N* - потужність електродвигуна, *N* = 1052 кВт.

$$C_e = 8400 \cdot 0{,}55 \cdot 1{,}1 \cdot 1052 = 5346264 \text{ грн.}$$

Отже загальні витраті на експлуатацію газоочисної системи для двох агломераційних машин за рік, грн/т агломерату:

$$C_Г = (420000+285000+ 5346264) \cdot 2 / 3000000 = 4{,}04 \text{ грн.}$$

Розрахунок калькуляції собівартості 1 т агломерату зведено в таблицю 4.6.

У проектованому цеху по виробництву агломерату продуктивністю 3,0 млн. т. на рік передбачається зниження собівартості продукції за рахунок:

- зменшення площі необхідної для основного обладнання та збільшення продуктивності агломашини при застосуванні агломашин АКМ1-75, у порівнянні з агломашинами АКМ1-62,5. Це забезпечить значне збільшення випуску агломерату, економію електроенергії, палива та зниження трудомісткості ремонтів;

- встановлення в проектованому цеху системи сухого очищення технологічних газів в рукавному фільтрі ФРІР-3800, що надає можливість найбільш ефективно вловити, а отже й у більшому обсязі утилізувати вловлений продукт (пил).

*Розрахунок економічного ефекту від утилізації пилу* робиться на підставі об'єму продуктів за рік, що утилізували, і відпускних цін, грн.:

$$Е_{ут} = К_{ут} \cdot Ц_{ут}, \qquad (4.9)$$

де $К_{ут}$ - кількість пилу, що утилізували, т;

*Ц* - відпускна ціна за 1 т, грн;

Таблиця 4.6 – Розрахунок собівартості продукції

| Найменування статті витрат | Од. вим. | На річний об'єм продукції | | | На тону продукції | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Витрата, тис. т | Ціна за од, грн | Величина витрат, млн. грн | Витрата, т | Величина витрат, грн |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1. Концентрат | т | 1829,31 | 455,20 | 832,702 | 0,60977 | 227,57 |
| 2. Аглоруда | т | 676,59 | 295,85 | 200,17 | 0,22553 | 66,72 |
| 3. Марганцева руда | т | 96,42 | 56,90 | 5,49 | 0,03214 | 1,83 |
| 4. Вапняк | т | 752,88 | 515,40 | 388,03 | 0,25096 | 129,34 |
| 5. Коксик | т | 177 | 1750,00 | 309,75 | 0,059 | 103,25 |
| 6. Зворот | т | -883,05 | 295,86 | -261,26 | 0,29435 | -87,09 |
| 7. Природний газ | т | 18 | 2150,00 | 38,7 | 0,006 | 12,900 |
| Електроенергія | тис. кВт | 153 | 0,55 | 0,08 | 0,051 | 0,03 |
| Вода | $м^3$ | 920 | 0,351 | 0,323 | 0,308 | 0,10 |
| Виробнича собівартість продукції: | грн | | | | | **454,65** |
| Експлуатація газоочисної системи | грн | | | 12,12 | | 4,04 |
| Заробітна плата основних робітників | грн | | | 3,24 | | 1,08 |
| Відрахування на соцстрах | грн | | | 1,256 | | 0,42 |
| Заробітна плата керівників та спеціалістів | грн | | | 0,404 | | 0,10 |
| Витрати на утримання та експлуатацію обладнання | грн | | | 114,268 | | 38,09 |
| Амортизація | грн | | | 143,87 | | 47,96 |
| Загальновиробничі витрати | грн | | | 4 | | 1,33 |
| Адміністративні витрати | грн | | | 3,2 | | 1,07 |
| Витрати на збут | грн | | | 1,92 | | 0,64 |
| Загальна собівартість продукції | грн | | | | | **549,38** |

Кількість вловленого пилу з очищеного газу визначається по формулі:

$$K_{П} = \frac{(Z_1 - Z_2) \cdot T_{еф} \cdot Q_{н.у.}}{10^6}, \qquad (4.10)$$

де $Z_1$ – запиленість газу до очищення, г/$м^3$; $Z_1$ = 8,0 г/$м^3$;

$Z_2$ – запиленість газу після очищення, г/$м^3$; $Z_2$ = 0,014 г/$м^3$;

$Q_{н.у.}$ - об'ємна витрата газу, що очищається, при нормальних умовах, $м^3$/год.

$$K_{Л} = \frac{(8-0{,}014)\cdot 8400 \cdot 262500}{10^6} = 17609{,}13 \text{ т/рік.}$$

Приймаючи втрати вловленого продукту при утилізації 10%, кількість продукту, що утилізується, складе, т/рік:

$$К_{ут} = 0{,}9 \cdot К_{п.}, \qquad (4.11)$$

$$К_{ут} = 0{,}9 \cdot 17609{,}13 = 15848{,}22 \text{ т.}$$

В дипломному проекті пропонується використати утилізований пил, як замінник концентрату у шихтових матеріалах, а відпускна ціна за 1 т концентрату 455,20 грн, отже

$$Е_{ут} = 15848{,}22 \cdot 455{,}20 = 7{,}22 \text{ млн. грн.}$$

Економія від утилізації пилу віднесена на 1 тонну агломерату:

$$Е_{ут} = 7{,}22 / 3{,}0 = 2{,}41 \text{ грн/т агломерату.}$$

### 4.3 Основні показники роботи цеху

У кваліфікаційній роботі планується ввести в експлуатацію 2 агломераційні машини АКМ1-75 для спікання агломерату. Знаючи собівартість продукції, можна визначити прибуток від вводу нового обладнання [15]:

$$П = ( Ц – С + Е) \cdot В, \qquad (4.12)$$

де Ц – ціна одиниці продукції, грн;

С – собівартість продукції, гр.;

Е – зниження собівартості агломерату за рахунок відповідно скорочення тривалості плавки та утилізації пилу, грн;

В – річний обсяг виробництва, т.

Ціна тонни агломерату складає 644,20 грн, тоді

$$П = (644,20 – 549,38 - 2,41) \cdot 3\ 000\ 000 = 277\ 230\ 000 \text{ грн.}$$

Чистий прибуток визначають по формулі:

$$П_ч = П – (П \cdot (25\ \%/100\%)), \qquad (4.13)$$

де 25% - податок на прибуток.

$$П_ч = 277\ 230\ 000 – (277\ 230\ 000 \cdot 0,25) = 207\ 922\ 500 \text{ грн.}$$

Визначаємо рентабельність цеху:

$$Р = (П_ч / С_р) * 100\ \%, \qquad (4.14)$$

де $С_р$ – собівартість річного обсягу виробництва, грн.

$$Р = \frac{207922500}{(549,38 - 2,41)3000000} \cdot 100 = \frac{207922500}{546,97 \cdot 3000000} 100 = 12,67\ \%.$$

Розраховуємо економічну ефективність капітальних вкладень:

$$Е_р = П_ч / КВ_Σ, \qquad (4.15)$$

$$Е_р = 207\ 922\ 500 / 799\ 886\ 000 = 0,26.$$

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T = 1 / E = 1 / 0{,}26 = 3{,}85 \approx 4 \text{ роки.} \quad (4.16)$$

Основні показники роботи агломераційного цеху для спікання агломерату зведенні в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 – Основні показники роботи агломераційного цеху для спікання агломерату

| № п/п | Найменування показника | Одиниці виміру | Величина показника |
|---|---|---|---|
| 1 | Річний обсяг випуску агломерату:<br>- в натуральних одиницях<br>- в вартісних одиницях | <br>тонн<br>млн.грн. | <br>3 000 000<br>1932,6 |
| 3 | Річна виробнича потужність газоочисної установки | млн.м$^3$/рік | 2205 |
| 4 | Вміст пилу у агломераційних газах:<br>- до очищення<br>- після очищення | г/м³ | <br>8,0<br>0,014 |
| 5 | Кількість утилізованого продукту | т | 15848,22 |
| 6 | Собівартість 1 тонни агломерату | грн. | 549,38 |
| 7 | Зниження собівартості 1 тонни агломерату за рахунок:<br>- утилізації пилу | <br>грн. | <br>2,41 |
| 8 | Собівартість 1 тонни агломерату з урахуванням економії | грн. | 546,97 |
| 9 | Ціна 1 тонни агломерату | грн. | 644,20 |
| 10 | Річний прибуток (чистий) | млн. грн. | 207,923 |
| 11 | Рентабельність продукції | % | 12,67 |
| 12 | Величина капітальних вкладень | млн. грн. | 799,886 |
| 13 | Економічна ефективність капітальних вкладень | грн./грн. | 0,26 |
| 14 | Період окупності капітальних вкладень | років | 4 |

# ВИСНОВКИ

Підвищення продуктивності доменних печей, забезпечення високих техніко-економічних показників їхньої роботи значною мірою обумовлене поліпшенням підготовки залізорудної сировини до плавки, зокрема агломерацією. Реконструкція доменних печей із збільшенням їх об'єму, а також зменшенням вмісту коксу в доменній шихті сприяли збільшенню опору стовпа шихти газовому потоку. У цих умовах зростають вимоги до міцності і гранулометричного складу агломерату. Для досягнення високих техніко-економічних показників роботи доменних печей особливу увагу необхідно приділяти питанню поліпшення якості агломерату.

Агломерація методом просмоктування в даний час є основним методом окускування металургійної сировини. Найбільше поширення мають спікальні машини неперервної дії стрічкового (конвеєрного) типу. Перевагою таких машин є простота конструкції, безперервність процесу спікання, велика продуктивність і низька собівартість агломерату.

У кваліфікаційній роботі пропонується реконструкція агломераційного цеху загальною потужністю 3,0 млн. т. агломерату на рік. В результаті інтенсифікації процесу спікання агломерату, збільшення корисної потужності тягодуттьового пристрою і продуктивності агломераційних машин зростають об'єми технологічних пилогазових викидів. Тому пропонується високоефективне очисне устаткування для агломераційних пилогазових викидів. Питомий вихід газів від агломераційної машини залежить від газопроникності шихти, вмісту в ній палива і величини підсосу повітря. При отриманні 1т агломерату вихід агломераційних газів складає 2,5-4,0 тис. $м^3$. Таким чином, в процесі спікання шихти від однієї агломашини АКМ1-75 після колектору на газоочищення поступає 262500 $м^3$/год технологічних газів с запиленістю 8 $г/м^3$. Температура газів що поступають на газоочищення 150°С.

На основі розглянутих існуючих методів очищення пилогазових викидів пропонується наступна схема: з колектора газ поступає на першу ступінь очищення – в шість циклонів марки СЦН-50 із стандартним діаметром 2,8 м, а потім на другу ступінь очищення – рукавний фільтр ФРІР-3800. Середня ступінь вловлювання агломераційного пилу з відхідних газів агломашини в циклоні СЦН-50 - 91,56%, отже концентрація пилу в газі на виході з циклону складе 0,675 г/м$^3$. Рукавний фільтр працює з рукавами, виконаними з оксалонової тканини, термостійкість якої складає 180...220ºС. Тривалість періоду фільтрування між двома регенераціями близько 11 годин. При ефективності рукавного фільтру 98%, залишкова запиленість дорівнює 0,014 г/м$^3$. За результатами розрахунку газовідвідного тракту системи газоочищення, опір якого склав 12976 Па, вибрано два паралельно розміщених димотягів ДЦ-25х2.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» виконана інженерна розробка заходів захисту від підвищеної запиленості, а саме виконаний розрахунок повного укриття башмаку тічки стрічкового конвеєра. При перевантаженні матеріалу з транспортера у бункер за допомогою організації повного укриття башмаку тічки конвеєра транспортера, кількість запиленого повітря, яке при цьому видаляється, складає близько 3400 м$^3$/год.

У економічній частині розглянута система організації праці агломераційного цеху. Для забезпечення безперервного виробництва агломераційного цеху застосовується чотирибригадний графік роботи в три зміни тривалістю по 8 годин. Величина капітальних вкладень в основне і допоміжне устаткування і підйомно-транспортні засоби складає 799,886 млн. грн. Планова собівартість агломерату 549,38 грн, а з урахуванням економії від утилізації вловленого пилу (2,41 грн/т агломерату) собівартість складає 546,97 грн. Ціна тонни агломерату 644,20 грн, отже економічний ефект від розробок проекту склав 207,923 млн. грн., при терміні окупності капітальних вкладень 4 роки.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Воденнікова О. С. Металургія чорних металів : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 144 с.

2. Фізико-хімічні основи і реалізація технології спікання агломерату основністю 1,6 з застосуванням руди родовища Суха балка / Я. В. Мяновська, Ю. С. Пройдак, Л. В. Камкіна та ін. Теорія і практика металургії. 2018. №6. С. 81–92. https://doi.org/10.34185/tpm.6.2018.11

3. Плотніков В.В., Саітгареєв Л.В. Інтенсифікація агломераційного процесу за рахунок вдосконалення технології комбінованого огрудкування і завантаження шихти. Вісник ПГТУ. Вип 25. 2018. С. 41–46.

4. ТІ 226-ОА-02-2019. Технологічна інструкція. Виробництво афлюсованого агломерату. Запоріжжя : ПАТ «Запоріжсталь». 2019. 34 с.

5. Кушакова Н. О. Металургійний комплекс України: загальна характеристика та сучасний стан розвитку. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2019. №23. С. 162–165.

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

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

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

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

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

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

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

13. Єгупов Ю.А. Організація виробництва на промисловому підприємстві. Навчальний посібник. К. : Центр навчальної літератури, 2006. 488 с.

14. Беренда Н.В., Малишева І.В. Організація виробництва. Методичні вказівки до виконання організаційної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА професійного напрямку “Металургія” денної та заочної форми навчання. Запоріжжя, 2006. 38с.

15. Іващенко О.В. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА спеціальності 7.090401. Запоріжжя, 2004. 32 с.