

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Кафедра прикладної екології та охорона праці  
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота/проект

групий (магістерської)  
(рівень вищої освіти)

на тему Проект системи обмеження  
деміонів газів негеті прожарювання  
виробничої середовища з утилізацією  
тепла

Виконав: студент II курсу, групи ЗНС-18-1мд  
спеціальності 1834 Технологія захисту  
навколишнього середовища  
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Технологія захисту  
навколишнього середовища  
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

Д. П. Корсунка  
(ініціали та прізвище)

Керівник доц. к.т.н. Мамідіна Є.А.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

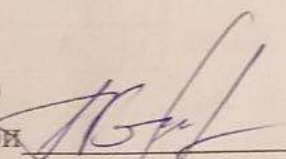
Рецензент доц. к.т.н. Рижков В.Т.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

Факультет будівництва та цивільної інженерії  
Кафедра прикладної екології та охорони праці  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
(код та назва)  
Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри   
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Корнійчук Дар'ю Павлівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Проект системи очищення димових газів пелет прожарювача верхньої Європи з утилізацією тепла

керівник роботи Макіда Євгенія Анатоліївна, д-р.ст.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 10 » вересня 2019 року № 1542-С

2. Строк подання студентом роботи 28.12.2019

3. Вихідні дані до роботи  $T_2 = 250^\circ\text{C}$ ;  $V_2 = 26000 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  
 $d_m = 0,35 \text{ мм}$ ;  $C_1 = 3186 \text{ мг/м}^3$ ;  $P_{\text{бар}} = 101,3 \text{ кПа}$ ;  
 $P_2 = 2,252 \text{ кПа}$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис технології виробництва; Зміна температури по довжині пелі прожарювача; Добудування системи очищення дим. газів; Вибір та розрахунок апаратів по утилізації тепла; Неродинамічний розрахунок газовидільного тракту; Адаптація газової системи, як об'єкта автоматизації

- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
1. Апаратурко-технологічна схема отримання графічного продукту;
  2. План часу;
  3. П'єч прожарювання;
  4. Зміна температури відвідних газів по довжині пегі;
  5. Система тазоочищення;
  6. Рукавний фрігонт типу ФРІР-1200;
  7. Котел-утилізатор;
  8. Кабіна керування клапаном закритого типу;
  9. Техніко-економічні показники.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Мандіна Є.А. доц. к.т.н.		
II	Мандіна Є.А. доц. к.т.н.		
III	Мандіна Є.А. доц. к.т.н.		
IV	Мандіна Є.А. доц. к.т.н.		
V	Мандіна Є.А. доц. к.т.н.		

7 Дата видачі завдання 30 вересня 2019 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальний розділ	10.19.	Виконано
2	Дослідницький розділ	11.19	Виконано
3	Проектний розділ	20.12.19	Виконано
4	Охорона праці та ТБ	20.12.19	Виконано
5	Екологічна частина	20.12.19	Виконано

Студент  (підпис) Д.П. Корейка (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис) Є.А. Мандіна (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис) В.Т. Рижков (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Корміна Д.П. Проект системи очищення димових газів печей прожарювання вуглецевої сировини з утилізацією тепла.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища, науковий керівник Манідіна Є.А. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет Будівництва та цивільної інженерії, 2020.

Виконаний аналіз існуючих систем очищення технологічних газів прожарювального відділення. Виконаний розрахунок і вибір обладнання для системи газоочистки. Запроектована схема очищення газопилових викидів від печей прожарювання включає: котел-утилізатор, рукавний фільтр. Визначені основні техніко-економічні показники запроектованої системи очищення.

Ключові слова: УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛА, ПІЧ ПРОЖАРЮВАННЯ, КОТЕЛ-УТИЛІЗАТОР, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, СИСТЕМА ОЧИЩЕННЯ.

## ABSTRACT

Kormina D.P. The Project of the Carbonaceous Firing Furnace Gas Cleaning System with the Heat Recovery

Qualification work for obtaining a master's degree in higher education by specialty 283 - Environmental protection, supervisor E.A. Manidina Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Construction and Civil Engineering, 2020.

The analysis of the existing systems for purification of process gases of the annealing department was performed. The calculation and selection of equipment for the gas purification system was performed. Designed scheme for purification of gas and dust emissions from annealing furnaces includes: utilizer boiler, bag filter. The main technical and economic indicators of the designed cleaning system have been determined.

Keywords: HEAT RECYCLING, HEATING OVEN, RECYCLING BOILER, SLEEVE FILTER, CLEANING SYSTEM.

## АННОТАЦИЯ

Кормина Д.П. Проект системы очистки дымовых газов печей прокаливания углеродного сырья с утилизацией тепла.

Квалификационная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 183 - Технологии защиты окружающей среды - Технологии защиты окружающей среды, научный руководитель Е.А. Манидина. Запорожский национальный университет. Инженерный институт. Факультет строительства и гражданской инженерии, кафедра прикладной экологии и охраны труда, 2020.

Выполнен анализ существующих систем очистки технологических газов прокатного отделения. Выполнен расчет и выбор оборудования для системы газоочистки. Запроектирована схема очистки газопылевых выбросов от печей прокаливания включает: котел-утилизатор, рукавный фильтр. Определены основные технико-экономические показатели проектируемой системы очистки.

Ключевые слова: УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА, ПЕЧЬ ПРОКАЛИВАНИЯ, КОТЁЛ-УТИЛИЗАТОР, РУКАВНЫЙ ФИЛЬТР, СИСТЕМА ОЧИСТКИ.

## РЕФЕРАТ

101 стр, 16 табл., 19 рис., 32 джерел

Пояснювальна записка до кваліфікаційного проекту магістра:

ПІЧ ПРОЖАРЮВАННЯ, КОТЕЛ-УТИЛІЗАТОР, РУКАВНИЙ ФІЛЬТР, ЗАПИЛЕНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЧИЩЕННЯ, СТРОК ОКУПНОСТІ

Об'єкт проектування – прожарювальне відділення.

Предмет проектування – система очищення газопилових викидів від печей прожарювання.

Мета проекту – проектування системи очищення димових газів печей прожарювання вуглецевої сировини з утилізацією тепла .

Запроектована схема очищення газопилових викидів від печей прожарювання включає: котел-утилізатор Г1030Б, рукавний фільтр типу ФРІР - 1200. Кінцева запиленість газу після рукавного фільтру становить 15 мг/м<sup>3</sup>. Строк окупності капітальних вкладень у запропоновану систему очищення газ становить 3,6 років, а коефіцієнт ефективності капіталовкладень - 0,27 грн/грн·рік.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	9
1.1 Технологія процесу виробництва графітової продукції .....	9
1.1.1 Підготовка сировини.....	10
1.1.2 Випалення .....	12
1.1.3 Графітація.....	12
1.2 Організація процесу графітизації в умовах ПрАТ«Укрграфіт».....	15
2 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ .....	19
2.1 Технологічна схема прожарювального відділення.....	19
2.2 Трубочата піч прожарювання .....	21
2.2.1 Конструкція барабанної печі, що обертається. ....	23
2.2.2 Режим роботи печі .....	26
2.2.3 Теплообмін в печі.....	34
2.3 Втрати матеріалів при прожарюванні .....	39
2.4 Характеристика системи очистки газопилових викидів від печей прожарювання .....	40
2.5 Аналіз методів знешкодження викидів при прожарені сировини .....	47
3 ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ .....	50
3.1 Вибір та розрахунок газоочисних апаратів .....	50
3.1.1 Розрахунок повного допалювання СО, що міститься в газах. ....	50
3.1.2 Вибір котла-утилізатора .....	53
3.1.3 Розрахунок рукавного фільтру типу ФРІР .....	54
3.2 Вибір та розрахунок апаратів по утилізації пилу .....	60
3.3. Аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту .....	61
3.3.1 Розрахунок загального опіру .....	62
3.3.2 Вибір димососу.....	64
3.4 Забезпечення функціонування проектного об'єкту.....	65
3.4.1 Аналіз газоочисної системи, як об'єкта автоматизації.....	65

4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	69
4.1	Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	69
4.2	Заходи з поліпшення умов праці .....	70
4.3	Виробнича санітарія.....	72
4.4	Електробезпека.....	76
4.5	Пожежна безпека.....	78
4.6	Захист від запиленості та загазованості виробничих приміщень .....	80
4.7	Розрахунок системи припливно – витяжної вентиляції кабіни закритого типу мостового крану з використанням осьового вентилятора .....	80
5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	88
5.1	Розрахунки капітальних вкладень.....	88
5.2	Розрахунки витрат на очищення газів.....	91
5.3.	Техніко-економічне обґрунтування рішень, прийнятих у проекті. ....	94
	ВИСНОВКИ.....	97
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	98



## ВСТУП

Раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів, охорона навколишнього середовища відносяться до найважливіших проблем, що стоять перед людством. В нашій державі, взагалі, та в Запорізькій області, зокрема, основна частка промисловості належить до галузей, що характеризуються високою енергоємністю та ресурсоємністю, і мають низький рівень використання інноваційних енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій.

Високотемпературна обробка при процесі отримання графітованої продукції супроводжується значним виділенням шкідливих газових викидів та пилу. Утилізація пилу, уловленої газоочисними апаратами, дозволить підвищити техніко-економічні показники виробництва.

Окрім шкідливих хімічних компонентів та пилу, гази які відходять від печей прожарювання та графітації мають підвищену температуру. Утилізація підвищеної температури газів є джерелом вторинних енергетичних ресурсів на виробництві.

Незважаючи на значний потенціал, утилізація вторинних енергоресурсів для виробництва теплової енергії не є технологією достатньо поширеної в практиці України, тому проекти, які вирішують питання очистки виробничих газів та утилізації тепла є актуальними і затребуваними [1].

Метою магістерського проекту є проектування системи очищення димових газів печей прожарювання вуглецевої сировини з утилізацією тепла.

Для реалізації поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

1. Проаналізувати технологію прожарювання коксу з точки зору утворення шкідливих викидів.
2. Дослідити зміну температури по довжині печі прожарювання.
3. Обґрунтувати систему очищення димових газів з утилізацією тепла.

4. Розрахувати основні апарати системи газоочищення газів, які відходять від печей прожарювання.

5. Розробити схему автоматизації роботи системи газоочищення, яка забезпечує безперебійну роботу апаратів

6. Визначити основні техніко-економічні показники запроєктованої системи очищення.

## 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Технологія процесу виробництва графітової продукції

Основні стадії процесу виробництва графітової продукції наступні:

- підготовка сировини (коксу або антрациту) шляхом первинної кальцинації для зниження вмісту води та летких речовин;
- подрібнення сировини та її гранулювання для подальшої підготовки до утворення вуглецевої маси;
- перемішування та пресування з наступним утворенням блоків визначених розмірів;
- прожарювання вуглецевих блоків для утворення цілісної однорідної вуглецевої сировини з твердою структурою;
- насичення обпалених вуглецевих блоків вуглецевою зв'язувальною речовиною з метою збільшення концентрації блоків та додаткове обпалювання;
- графітизація вуглецевих блоків для формування кристалічної решітки вуглецю та утворення графіту;
- механічна обробка кінцевої продукції [2].

Підготовка вуглецевих матеріалів значною мірою визначає стабільність технологічного процесу виробництва електродної продукції і виходу придатного на переділах пресування, випалення, графітації і механічної обробки. При підготовці сировини здійснюється ряд технологічних операцій : витримка пека при температурі, сушка просмаженого вуглецевого наповнювача або про жарення вуглецевого наповнювача, дроблення, розмел і розсівання на сортові фракції вуглецевого наповнювача.

На рисунку 1.1 показана технологічна схема виробництва графітованої продукції.



Рисунок 1.1 - Технологічна схема виробництва графітової продукції

### 1.1.1 Підготовка сировини

На завод пек поставляють в рідкому виді в залізничних цистернах, що обігріваються, і у разі споживи розігрівають до температури не менше 120-130°C (марки А і Б) і 160-180°C (марка В). Після цього пек зливають в пекоприймачі або пекоплавители, місткість яких від 50 до 500 т. Загальна місткість пекоскладу має бути не менш 15-добового запасу.

У виробництво пек поступає через сітчастий фільтр (осередки розміром 1 мм). У бачках стабілізації (напірні бачки), що обігріваються, оснащених мішалками, осереднюється температура циркулюючого в них пеку. При досягненні заданих температур пек з бачка стабілізації через дозатор подається в змішувачі.

Усі вуглецеві матеріали, що поступають на електродний завод, підлягають термообробці: сушці або прожарюванню. Сушать термоантрацит і прожарений кокс. Прожарюють антрацити і кокс, отриманий при температурах коксування не нижче 1000°C.

*Сушка.* Термоантрацит, що поступає на завод, або прожарений кокс після відбору проб і перевірки їх на відповідність сертифікатам вивантажують з вагонів в закриті склади сировини. При цьому необхідно стежити, щоб різні види сировини не змішувалися між собою.

Вологість просмаженого матеріалу перед наступними технологічними стадіями його переробки не повинна перевищувати 0,3%, а за час зберігання і транспортування він може набрати до 10% і більше вологи. Для сушки вуглецевої сировини застосовують барабанні сушарки.

*Прожарювання.* Для стабілізації властивостей вуглецевої сировини, що визначають її поведінку при подрібненні, взаємодії при змішуванні і гомогенізації, пресуванні, випаленні і графітації, її необхідно прожарювати.

При прожарюванні відбувається зміна розмірів і маси шматків вуглецевої сировини. Спад маси пов'язаний з видаленням з матеріалу вологи і летючих речовин. Зміна розмірів, пов'язана з ущільненням структури, є складним фізико - хімічним процесом, на різних стадіях якого переважають хімічні зміни, а потім структурні перетворення.

При нагріванні в інтервалі температур 100-400°C сировина як би повертається до температури коксування, кокс розм'якшується і спучується. Від 400°C починається постійне виділення летючих, а приблизно 500°C - об'ємна усадка коксу. Найбільш інтенсивні усадкові явища в крекінговому і піролізному коксі відбуваються при температурах максимального виділення летючих (550-700°C). В інтервалі температур 700-1000°C летючі речовини, що виділяються, майже повністю зазнають пірогенетичне розкладання до елементного вуглецю і водню. У цьому інтервалі швидкість газовиділення зменшується, але зростає глибина піролізу.

Об'ємна усадка антрацитів, що містять від 2 до 4,5% летючих речовин, коливається в межах 7,5-13,5%. Зміна вмісту летючих у вуглецевих матеріалах при прожарюванні залежить від швидкості нагріву і хімічній перебудові речовини, що протікає при цьому [2].

### 1.1.2 Випалення

Випалення полягає в поступовому нагріві без доступу повітря до  $1300^{\circ}\text{C}$ , витримці при цій температурі і повільному охолодженні.

При випаленні відбувається видалення летких речовин і коксування єднального. Кокс, що утворюється, міцно зв'язує зерна твердих вуглецевих матеріалів. Випалення здійснюють в кільцевих багатокамерних печах - закритих або відкритих, аналогічних печам для випалення вогнетривкої цеглини. Число камер в закритій печі залежно від її продуктивності складає від 20 до 60. Кожна камера розділена вертикальними перегородками на п'ять касет, в які завантажують обпалювані електроди. Згори камери закриваються знімними зведеннями. Продукція нагрівається теплом топкових газів, які рухаються по каналах в перегородках і бічних стінках камер. В якості палива застосовується природний газ і мазут.

### 1.1.3 Графітація

Графітацією називають технологічну операцію дії високих температур ( $2500-3000^{\circ}\text{C}$ ) на кокс, вугілля або вироби з них. Графітації піддають головним чином напівфабрикати (заготівлі), що пройшли такі технологічні операції, як пресування і випалення. У результаті такої високотемпературної обробки різко змінюються властивості початкових матеріалів: підвищуються їх щільність, хімічна стійкість, електропровідність і теплопровідність, а також стають жирними і залишають слід на папері, тобто матеріали набувають властивості, характерні для природного графіту. Звідси і виник термін графітування - отримання виробів з характерними ознаками природного графіту.

Процес графітування належить до енергоємних електротермічних виробництв: витрата електроенергії від виду і розмірів виробів складає  $3000-10000$  кВт·год/т.

Процес графітування складається з наступних операцій:

1. Підготовка печі до завантаження.
2. Завантаження печі.

3. Приготування пересипних і допоміжних матеріалів.
4. Графітування.
5. Вивантаження і розбракування графітованих заготівель.
6. Охолодження оборотної шихти в печах графітування.
7. Штабелювання, зберігання і транспортування графітованих заготівель.
8. Сушка зволоженого графітованого коксу на печах графітування (допоміжна операція).

*Режими графітування.* Завантаження печі складається з ряду послідовних операцій : підготовка подину, укладання виробів, завантаження пересипки і теплоізоляційної шихти.

Щоб уникнути теплових втрат і витоку струму через подину, перед кожною кампанією її контролюють і відновлюють.

У середині печі, між струмопідвідними електродами, укладаються вироби, призначені для графітування. Їх укладають перпендикулярно осі печі одне на інше на пересипку, насипану рівним шаром на подину. Перший ряд укладають на відстані 250-300 мм від кінців струмопідвідних електродів. Відстань між кожним поруч укладених виробів повинна складати 20 % від діаметру виробу, що графітується. Проміжки між рядами заповнюють пересипкою. невеликою кулею пересипки заповнюють обвішай укладений керн.

Для зручності і більшої точності укладання виробів користуються дерев'яними шаблонами, які встановлюють між вертикальними рядами (рис. 1.2).

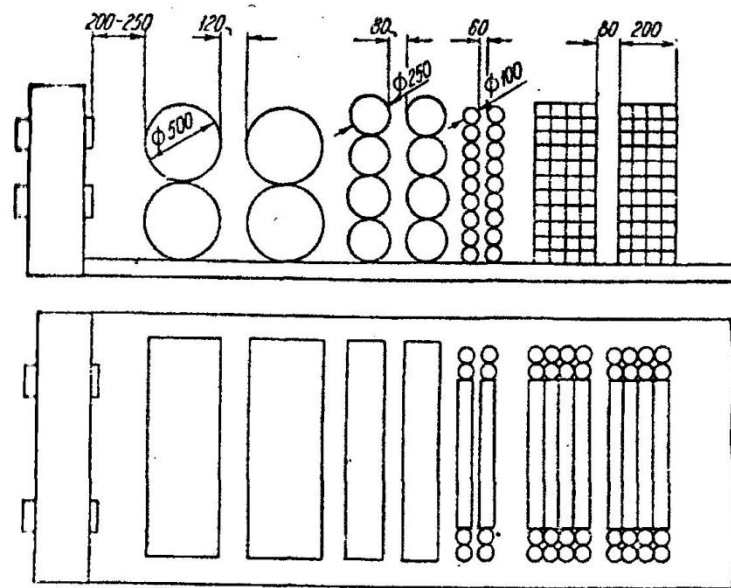


Рисунок 1.2 - Схема укладання виробів в печі

З боків керна, що укладається, встановлюють металеві щити. Після того, як вироби укладені, простір між рядами і металевими щитами заповнюють пересипкою. Простір між металевими щитами і бічними стінами печі заповнюють теплоізоляційною шихтою. Після цього виділяють шаблони і щити, а згори завантаженого керна виробів насипають шар теплоізоляційної шихти. Одночасно збирають бічні стіни.

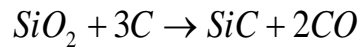
До допоміжних матеріалів відносяться: пересипка, теплоізоляційні матеріали і шихта для набивання подини.

Гранулометричний склад пересипного матеріалу різний. При графітуванні великих електродів максимальна величина шматків досягає 30 мм. При графітуванні дрібних виробів максимальне зерно знижується до 6-10 мм. Бажано, щоб усі зерна по своїх розмірах були близькі.

Як теплоізоляційна шихта найчастіше застосовують суміш коксової дрібниці, піску і деревної тирси. Співвідношення цих матеріалів за об'ємом рівне 2:2:1. Суміш повинна добре перемішуватися. Теплопровідність такої шихти рівна  $0,15 \text{ кал/см}^2$  і близька до теплопровідності азбесту. Насипна вага шихти  $800-900 \text{ кг/м}^3$ .

Шихту для подини готують з суміші піску і коксової дрібниці. Шихту складають по стехіометричній формулі:





Не можна допускати надлишку коксу, тому що провідність подини може зрости, але не можна допускати і надлишку піску, бо це призведе до швидкого виходу з ладу подини в результаті плавлення надлишкового піску [1].

## 1.2 Організація процесу графітизації в умовах ПрАТ«Укрграфіт»

*Сировинні матеріали.* Сировиною для отримання штучного графіту служать продукти нафтової і кам'яновугільної промисловості: піролізний і крекінговий нафтовий кокс, антрацити і термоантрацити, пековий кокс. Ці продукти розрізняються не лише за способом отримання, але і за вмістом вуглецю, домішок, фізико-хімічними і механічними властивостями.

Нафтовий кокс є продуктом коксування нафтових залишків, наприклад гудронів і крекінг-залишків. Їх властивості залежать не лише від складу початкової нафти, але і від способів її переробки.

Антрацити застосовуються в основному у виробництві вугільних електродів і вугільних виробів. Термоантрацити готують термообробкою антрацитів при температурі біля 1400°C. Пековий або смоляний кокс отримують при переробці кам'яновугільної смоли. По своїх достоїнствах для виробництва штучного графіту він близький до нафтового коксу. Пековий кокс містить меншу кількість летких речовин. Щільність його доходить до 1,80 - 1,90 г/см<sup>3</sup>.

Характеристика сировини була б неповною, якщо не згадати про матеріали, що пов'язують. Без них в даний час немислиме виробництво монолітних вуглеграфітових виробів. Як єднальна речовина (що пов'язує) служать кам'яновугільні пеки з різними температурами розм'якшення і смолопеки.

*Підготовчі операції.* Перед використанням сировина проходить ряд підготовчих операцій. Першою з них є попереднє дроблення. Сирі вуглецеві матеріали з складів подаються в дробарки. Розмір шматків після дроблення досягає 40 - 50 мм.

Роздроблений вуглецевий матеріал поступає в печі прожарювання, де з нього віддаляються леткі речовини і волога. Щільність і електропровідність матеріалу зростають. Зазвичай температура прожарювання підтримується не нижче за температуру подальшого випалу.

Прожарений матеріал після охолодження надходить у відділення подрібнення, де він розмелюється до зерен розміром 0,5 - 10 мм. У ситовому відділенні за допомогою вібраційних сит, що обертаються, він розсівається за фракціями й зсипається в сортові бункери. У пресовому відділенні вуглецевій масі надають потрібну форму і отримують так звані «зелені» заготовки [3].

На рис. 1.3 приведена схема організації виробництва на ПрАТ «Укрграфіт», яка наочно ілюструє черговість операцій, що проводяться.

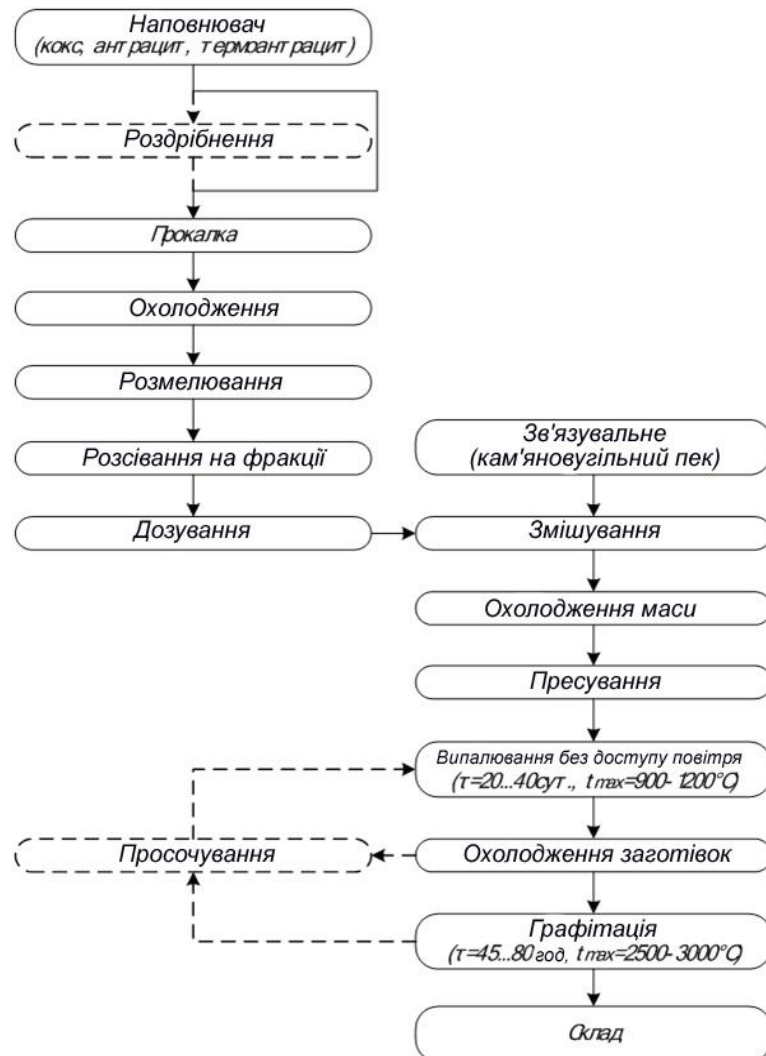


Рисунок 1.3 - Схема виробництва графітованої продукції на ПрАТ «Укрграфіт»

Пресування маси проводять одним з двох способів: формуванням в закриту матрицю і продавлюванням через мундштук певної форми [3,4]. Після завантаження вуглецевої маси в циліндр преса її ущільнюють (підпресовують). Для підтримки необхідної температури маси електродні преси обігриваються паром. Потужність пресів коливається в широких межах. Для пресування великогабаритних зелених заготовок, наприклад, масою до 30 т необхідні потужні преси. Ущільнена електродна маса відресовується через мундштук при тиску 0,175 – 0,350 МПа. У закритій формі пресують при підвищеному тиску, який складає зазвичай 0,20 МПа і вище. Вироби після відпресовки мають ще температуру біля 350°C і можуть деформуватися під дією власної маси. Для запобігання деформації їх охолоджують до твердіння у водяній ванні [5, 6].

*Випал.* Після пресування і подальшого охолодження вуглеграфітові вироби, що складаються з вуглецевого наповнювача й органічної речовини, що пов'язує, піддають випаленню. Метою випалу є термічна обробка виробів до температури 900-1200°C, при якій органічна речовина, що пов'язує, повинна перейти в кокс і скріпляти частинки наповнювача. Випалення проводиться звично в закритих багатокамерних кільцевих печах типу Рідгаммера, де нагрів здійснюється теплотою спалюваного газу. З цією метою поміщені в касети вироби засипають, а верх печі замурують. Як засипка часто вживають гранульовану коксо-пісочну суміш. Під склепінням печі у вогневих колодязях спалюється генераторний газ. Температура засипки, що заміряється за допомогою термопар, досягає 1200 - 1500°C. Операція випалення дуже тривала і продовжується до 20 - 40 діб.

Вивантаження обпалених виробів здійснюється лише після повного охолодження печі. Після вивантаження придатні вироби піддають механічному очищенню від часток засипки, що припікся. Для додання ним необхідних розмірів і форми їх обробляють на токарних верстатах [7,8].

При випаленні відбувається коксування, що пов'язує, а при обпалюванні заготовки спікаються в міцні моноліти. На перших стадіях випалу з

пресованих виробів віддаляються леткі речовини, які присутні в речовині, що пов'язує.

Засипка, що щільно облягає заготовки, оберігає їх від деформації в період розм'якшення. Велика швидкість підйому температури недопустима: вона може привести до інтенсивного виділення летких і розтріскування обпалюваних виробів. Речовина, що пов'язує, надалі коксується, і коксові решітки, що утворилися при цьому, міцно зв'язують воєдино вуглецеві зерна наповнювача. Тривала витримка (близько 50 годин) при максимальній температурі випалу дозволяє отримати вугільні вироби з підвищеною щільністю.

*Графітування.* Графітування вуглецевих матеріалів - є завершальною стадією тривалого і багато-передільного процесу виготовлення всіх видів графітованих виробів. Графітуванню в основному піддають заготовки, що зазнали пресування і випал. Від цих операцій вони успадковують велику і нерівномірну пористість і анізотрію. Електропровідність і теплопровідність, а також низькі фрикційні властивості вироби, набувають в процесі графітування [9].

Вимоги до готових графітованих виробів, зрозуміло, не обмежуються тільки цими властивостями. Вони повинні володіти рядом інших якісних показників дуже важливих при експлуатації: характеристик міцності, теплофізичних і деяких хімічних властивостей, які так само формуються при графітуванні.

Таким чином, вимоги до готових графітованих матеріалів різноманітні, а можливості процесу графітування обмежені, і полягають в дії високої температури на вироби, що графітуються. Тому основні напрями в організації властивостей виробів, що графітуються, закладаються на різних ступенях технології: при виборі сировини і методів його переробки.

## 2 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Технологічна схема прожарювального відділення

Принципова технологічна схема прожарювального відділення з пічним агрегатом з барабанною піччю, що обертається, представлена на рис. 2.1.

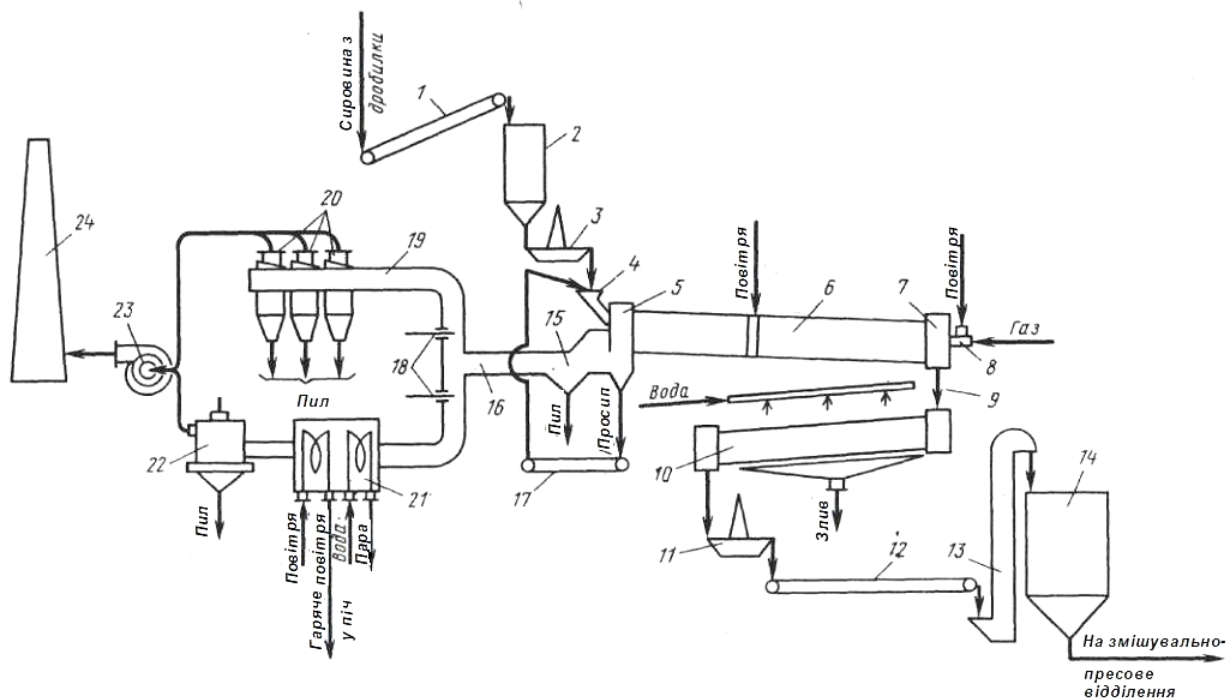


Рисунок – 2.1 Принципова схема прожарювального відділення :

1 - система конвеєрів; 2 - пічний бункер; 3 - ваги-дозатор;  
 4 - завантажувальний пристрій; 5 - верхня голівка печі; 6 – піч прожарювання; 7- нижня голівка печі; 8 - пристрій газоопальника; 9 - перевантажувальна тічка; 10 - холодильник; 11 - ваговимірювач; 12 - стрічковий конвеєр; 13 - елеватор; 14 - силос запасу; 15 - пилоосаджувальна камера; 16 - газохід; 17 - система транспортерів повернення просипу; 18 - шибери; 19 - обвідний борів; 20 - батарея циклонів; 21 - котел утилізатор; 22 - електрофільтр; 23 - димосос; 24 – димар

Прожарений матеріал з печі по перевантажувальній тічці 9 поступає у барабанний холодильник, що обертається, 10 із зовнішнім водяним охолодженням. Охолоджений до 80°C кокс або термоантрацит з холодильника по тічці поступає через ваговимірювач 11 на стрічковий конвеєр 12 і далі до

елеватора 13. Елеватор подає прожарений матеріал в силос запасу 14, звідки у міру потреби стрічковим конвеєром його направляють в заготівельне відділення.

Димові гази, що відходять з печі, через пилоосаджувальну камеру і газохід поступають в котел-утилізатор 21 або по обвідному борову скидаються в атмосферу димососом 23 через батарею циклонів 20 і димар 24. Просип з пилосбірника верхньої голівки печі 5 з потужністю системи транспортерів 17 повертають на подання в піч, а пил, обложений в пилоосаджувачі 15, електрофільтрі 22 і циклонах 20 направляють на утилізацію.

Результати досліджень показують, що при нагріванні вуглецевого тіла розміри шматків змінюються прямо пропорційною зміні його маси. Найбільша зміна об'єму відбувається при температурах, при яких виділяється найбільша кількість летких. Абсолютна величина усадки не однакова для різних вуглецевих матеріалів і залежить від їх природи, структури, проте найбільший вплив робить зміст летких [10].

Виділення летких речовин для усіх видів вуглецевих матеріалів розпочинається з температури  $\sim 250^{\circ}\text{C}$  і безперервно наростає з підвищенням температури. Проте швидкості газовиділення з підвищенням температури наростають неоднаково для усіх вуглецевих матеріалів. У антрацитів, наприклад, кількість летких, що виділяються, наростає плавніше, ніж у нафтових коксів. Характер і швидкість наростання газовиділення у коксу пояснюється температурним режимом коксування, а у антрацитів мірою метаморфізму. Газовиділення при прожарюванні наростає до певного інтервалу температур: для нафтового коксу цей інтервал складає  $550 - 650^{\circ}\text{C}$ , а для донецьких антрацитів  $700 - 850^{\circ}\text{C}$ . Досягнувши максимальної величини, газовиділення при подальшому підвищенні температури різко знижується і при  $1100 - 1400^{\circ}\text{C}$  в основному завершується.

Після завершення дегазації матеріалу припиняється його ущільнення і відбувається відносна стабілізація усадки, стабілізуються і фізико-хімічні властивості. Це відбувається при температурі прожарювання не нижче  $1300^{\circ}\text{C}$

для коксу і 1400°C - для антрацитів. У печах прожарювання мають бути створені умови, щоб прожарювання матеріалів протікало при цих температурах.

Вуглецеві матеріали прожарюють в спеціальних печах різних конструкцій. Ту або іншу конструкцію печі вибирають з урахуванням технологічних вимог, економічних міркувань і місцевих заводських умов. Вживані нині в промисловій практиці печі прожарювання можуть бути розділені на дві основні групи: барабанні, що обертаються, і реторти.

Ці печі різко відрізняються конструкцією і технологічними умовами прожарювання матеріалів - не лише видом теплоносія, але і головним чином умовами теплопередачі. У печах реторт застосований непрямий нагрів - теплом, що передається через стінку з вогнетривкої цеглини. Ці печі розраховані на використання тільки газоподібного палива. У печах, що обертаються, має місце пряме нагрівання, коли опалювальні гази безпосередньо контактують з прожарюваним матеріалом. Ці печі можуть працювати і на газоподібному, і на рідкому паливі.

## 2.2 Трубочата піч прожарювання

Прожарювання нафтового коксу є необхідним етапом його підготовки до використання у виробництві анодної і графітової електродної продукції для потреб алюмінієвої і електросталеплавильної промисловості. Прожарений кокс користується в Україні постійним попитом, який за рахунок внутрішнього виробництва задовольняється далеко не повністю. Тільки в алюмінієвій промисловості дефіцит вітчизняного прожареної сировини становить близько 500 тис. т/ рік. З урахуванням очікуваного зростання виробництва алюмінію і електродів цей дефіцит в найближчій перспективі може значно зрости. Покриття зростаючої потреби вітчизняної металургії в прожареному коксі за рахунок імпорту стикається останнім часом з істотними труднощами, зумовленими скороченням надходження коксу на зовнішній ринок. У зв'язку з цим інтенсифікація вітчизняних процесів виробництва прожареного нафтового коксу є досить актуальною. ПрАТ «Укрграфіт» є

виробником прожареного коксу, в якому в якості прожарювальних агрегатів застосовуються трубчаті обертаючі печі [9].

Промислова піч циліндричної форми з обертовим рухом навколо поздовжньої осі, призначена для нагріву сипучих матеріалів з метою їх фізико-хімічної обробки. Розрізняють: за принципом теплообміну - з противотоком і з паралельним струмом газів і матеріалу; за способом передачі енергії - з прямим, непрямим (через стінку муфеля) і комбінованим нагрівом оброблюваного матеріалу. За призначенням розрізняють: для спікання шихт у виробництві глинозему, отримання цементного клінкеру, окисного, відновного, хлоруючого випалу, прожарювання гідроокису алюмінію, коксу, карбонатів, сульфатів і ін., зневоднення матеріалів, вилучення цинку і свинцю (Вельца-печі), отримання заліза або сплавів кольорових металів їх прямим відновленням з руд в твердій фазі, випалювання вогнетривкої сировини та ін.

Основними є в яких спалюється пиловидне, тверде, рідке або газоподібне паливо безпосередньо в робочому просторі печі і гріють газу рухаються назустріч оброблюваного матеріалу рис. 2.2.

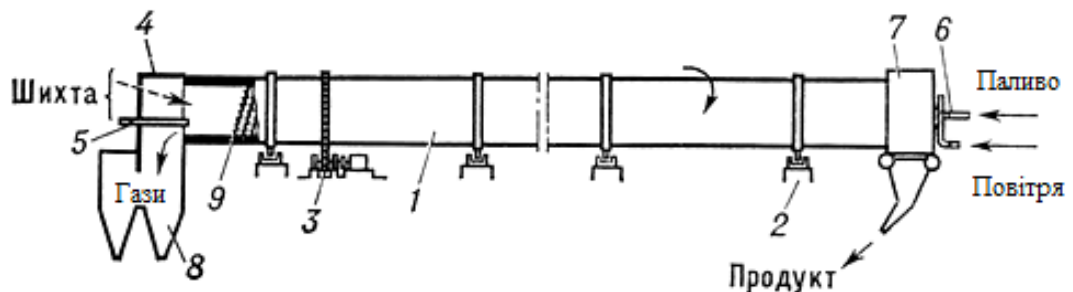


Рисунок 2.2 – Трубчатая піч прожарювання

Металевий барабан 1, футерований вогнетривким цеглою, встановлюють під невеликим кутом до горизонту на опорні ролики 2. У ряді випадків діаметр барабана роблять змінним по довжині. Барабан приводять в обертання (1-2 об/хв) електродвигуном через редуктор і відкриту зубчасту передачу 3. Шихту завантажують з боку головки 4. Суху шихту подають механічними живильниками, а шихту у вигляді пульпи - наливом або через форсунки 5. Паливо (10- 30% від маси шихти) вводять через пальники (форсунки) 6, поміщені в гарячій голівці 7. Тут же вивантажують готовий



продукт, що направляється в холодильник. Гази з печі очищують від пилу (возгонів) у системі 8. Для поліпшення умов теплопередачі вбудовують різні теплообмінні пристрої 9 - перегребанні лопаті, полиці, ланцюгові завіси, насадки і т.п. З цією ж метою в ряді випадків футеровку печей виконують складної форми, наприклад чарунковій. Основні розміри печі варіюються в значних межах: довжина від 50 до 230 м, а діаметр від 3 до 7,5 м. Продуктивність досягає 150 т / год (готового продукту). Спостерігається тенденція до з'єднання з різними теплообмінними апаратами, що дозволяє при підвищенні техніко-економічних показників роботи печей зменшувати їх розміри [12].

### 2.2.1 Конструкція барабанної печі, що обертається.

Барабанна піч, що обертається, складається з корпусу із захисним і підпирними кільцями, опорних і опорно-упорних бандажів з черевиками, зубчастого вінця, опорних і опорно-упорних станцій, приводу, голівки, пилової камери, вузлів ущільнення голівок і футерування.

Незважаючи на те що конструкція печі жорстка, вона забезпечує погоджене теплове розширення окремих елементів, що гарантує міцність апарату і збереження футерування.

Подрібнену вуглецеву сировину за системою конвеєрів транспортують в приймальний пічний бункер 2. Кокс або антрацит за допомогою вагового дозатора 3 спрямовується в прожарення пекти 5. Пекти протиточного типу: сировина через завантажувальний пристрій 4 подають назустріч потоку газів, що відходять, отриманих в результаті спалювання природного газу і горючих компонентів летких речовин, що виділяються в процесі прожарювання. Природний газ вводиться в піч через пристрій газоопальника 8, встановлене в торцевій стінці нижньої голівки печі 7. Повітря на горіння подається вентиляторами двома потоками: один безпосередньо до запальника, інший через стінку печі в зону інтенсивного виділення летких. Кокс прожарюють при 1200-1250, антрацит - при 1250-1300 °С (рис. 2.3) .

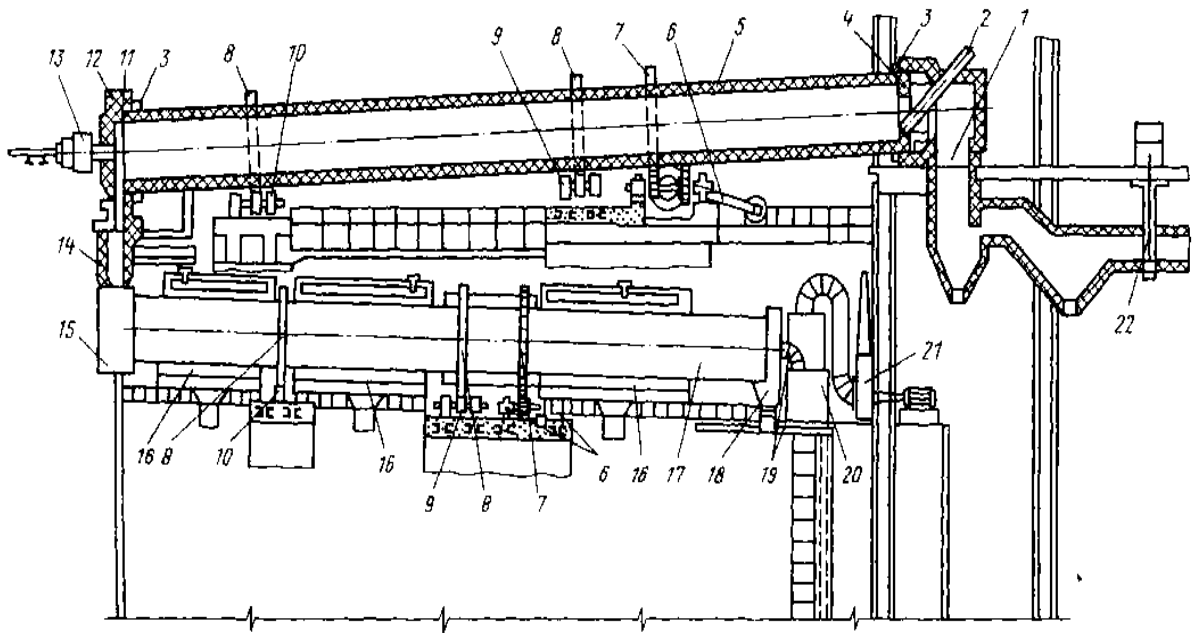


Рисунок 2.3 Пічний агрегат з барабанною піччю, що обертається :

1 - пилова камера; 2 - завантажувальна тачка; 3 - вузол ущільненні з я голівок печі; 4 - підпірне кільце; 5 - корпус печі; 6 - привод; 7 - зубчастий вінець; 8 - бандаж; 9 - опорно-упорна станція; 10 - опорна станція; 11 - захисне кільце; 12 - нижня голівка печі; 13 - газоопальниковий пристрій; 14 - перевантажувальна тачка; 15 - верхня голівка холодильника; 16 - ванна холодильника; 17 - корпус холодильника; 18 - нижня голівка холодильника; 19 - повітрязабірник; 20 - рукавний фільтр; 21 - димосос; 22 – шибер

Корпус печі складається з окремих секцій, зварених із стандартних сталевих листів. Секції між собою сполучені також зварюванням. На кінці корпусу барабана з боку входу теплоносія встановлено захисне кільце, що екранує торець футерування "гарячого" кінця печі і що запобігає осьовому зрушенню футерування. Захисні кільця набирають з окремих жаростійких L-образних сегментів з підвищеною межею плинності, закріплених на корпусі апарату за допомогою болтових з'єднань; проміжок між ними 5 мм. Підпірне кільце встановлене на протилежному кінці корпусу барабана і служить для відвертання присипки матеріалу з барабана у бункер пилової камери[13,14].

На корпусі печі закріплені бандажі, що спираються на ролики. Ролики розміщені на масивних сталевих плитах, вмонтованих в залізобетонні фундаменти таким чином, що пекти злегка нахилена до горизонту у бік "гарячого" кінця барабана. Корпус печі між точками опори працює на вигин. Допустима напруга металу на вигин визначає вибір товщини корпусу барабана і відстані між опорами, які зростають зі збільшенням діаметру апарату. Під опорними бандажами і зубчастим вінцем знаходяться підсилювальні кільцеві накладки такої ж товщини, як корпус, або тонше. При нерівномірному розподілі навантаження на корпус барабана, викликаному дефектами монтажу і регулювання печі, а також різкими відхиленнями його температури від норми, виникає дотична напруга, яка може деформувати або навіть зруйнувати корпус. Тому необхідно ретельно перевіряти концентричність посадки бандажів, перекіс роликів, вживаний для утримання печі в середньому положенні уздовж її осі, щільність прилягання футерування до корпусу і тому подібне.

Опорні бандажі виготовлені з твердої сталі. Черевики під бандажами встановлюють з проміжком 2-5 мм, розрахованим у кожному конкретному випадку залежно від температури корпусу печі в цьому перерізі з такою умовою, щоб при робочих температурах цього проміжку не було. У місцях установки бандажів корпус перегрівається. Тому в усіх печах, у яких в зоні прожарювання передбачені опори, футерування руйнується особливо швидко.

Кожна з опор під бандажем складається з двох роликів з осями, встановленими в роликотішипниках. Для регулювання печі опорні ролики можуть переміщатися по опорних плитах. Для забезпечення тривалої служби дорогих деталей бандажів опорні ролики виготовляють із сталей м'якших, ніж бандажі.

Для відвертання надмірних осьових переміщень барабана печі і порушення зачеплення зубчастого вінця і підвенцової шестерні у найбільш близького до приводу бандажа розміщують наполегливо-опорну станцію. Окрім горизонтальних роликів, в цьому місці встановлюють наполегливі, такі,

що обертаються на вертикальних осях. Наполегливі ролики можна переміщати уздовж осі печі, а потім закріплювати в потрібному положенні[15,16].

Для приводу печі на її корпусі змонтований зубчастий вінець. Кріплення його виконують різними способами (черевиками, тангенціальними пластинами або шарнірами і тому подібне), але в усіх випадках передбачено теплове розширення барабана печі. Зі збільшенням діаметру печі сталевий вінець може складатися з двох частин і більше. Окрім зубчастого вінця, в облаштування приводу барабанної печі, що обертається, входять ще електродвигуни основного і допоміжного приводів, редуктори і підвенцова шестерня. Зміна частоти обертання барабана печі досягається відповідною зміною числа оборотів двигуна основного приводу. Підвенцова шестерня знаходиться в зачепленні із зубчастим вінцем в одній з нижніх чвертей останнього. Для налаштування зачеплення підвенцову шестерню сполучають з редуктором шпинделем, що допускає зміщення осей до 100 мм

Верхній, завантажувальний кінець печі входить в пилову камеру, що служить для збору просипу матеріалу і частково обложеного пилу, винесеного з печі димовими, що відходять.

Нижній, розвантажувальний кінець барабана печі входить у відкату голівку, в торці якої знаходиться пристрій газоопальника, призначений для подання в піч палива - природного газу і первинного повітря. На рівні барабана печі в торці голівки передбачений технологічний люк, призначений для обслуговування печі, подання і видалення футерувальної цеглини і так далі

Обидві голівки печі забезпечені футеруванням.

Оскільки піч прожарювання працює під розрідженням, щоб уникнути підсосів зовнішнього повітря в місцях з'єднання барабана, що обертається, на з верхньою і нижньою голівками встановлені пристрої ущільнювачів.

### 2.2.2 Режим роботи печі

При прожарюванні відбувається зміна розмірів і маси шматків вуглецевої сировини. Спад маси пов'язаний з видаленням з матеріалу вологи і летких речовин. Зміна розмірів, пов'язана з ущільненням структури, є

складним фізико-хімічним процесом, на ранніх стадіях якого переважають хімічні зміни, а потім структурні перетворення.

При нагріванні в інтервалі температур 100-400 °С сировина як би повертається до температури коксування (піролізний в крекінговий кокс - до 420-460 °С, пековий кокс - до 850-1000°С), кокс розм'якшується і спучується. Від 400°С починається постійне виділення летких, а приблизно близько 500°С - об'ємна усадка коксу. Найбільш інтенсивні усадкові явища в крекінговому і піролізном коксі відбуваються при температурах максимального виділення летких (550--700°С). Об'ємна усадка цього коксу, що містить в середньому 6,5 % і більше летких речовин, складає 20-24 %, а для окремих шматків, внаслідок неоднорідності їх за умовами коксування, - до 30 % і більше. У пекового коксу, що містить близько 1 % летких, при 700°С усадка мінімальна (до 0,3 %), оскільки вона частково сталася ще в процесі коксування.

У інтервалі температур 700-1000°С леткі речовини, що виділяються, майже повністю зазнають пірогенетичне розкладання до елементних вуглецю і водню. У цьому інтервалі швидкість газовиділення зменшується, але зростає глибина піролізу, внаслідок чого відбувається ущільнення структури коксу. Цьому ж сприяє те, що одночасно протікає (вище 700°С) деяке впорядкування молекулярної структури коксу. Відомо, що чим більше здатний кокс до трьохмірному впорядкуванню, тим при нижчій температурі прожарювання спостерігається його максимальна усадка і визначується нею щільність матеріалу. Це підтверджується даними А.Ф. Красюкова [17], згідно з якими максимальна щільність малосірчистого крекінгового коксу спостерігається при температурі прожарювання 1300°С, сірчистого крекінгового коксу - при 1400, піролізного при 1415°С. Кокс при усадці не має орієнтованих напрямів.

Об'ємна усадка антрацитів, що містять від 2 до 4,5% летких речовин, коливається в межах 7,5-13,5%. При прожарюванні антрацитів в інтервалі до 900°С і змін структурних параметрів фактично майже не спостерігається. З подальшим підвищенням температури до 1300°С відзначаються значні структурні перебудови. У площині нашарування при цій температурі усадка

припиняється, а при наступному підвищенні температури спостерігається навіть збільшення розміру шматків. У напрямі, перпендикулярному площині нашарування, усадка триває до 1500°C [18].

Виділення летких речовин починається при 200-250°C. Швидкість газовиділення, для усіх вуглецевих матеріалів з підвищенням температури росте неоднаково. Так, у антрацитів кількість летких, що виділяються, зростає плавніше, ніж у нафтового коксу (рис. 2.4).

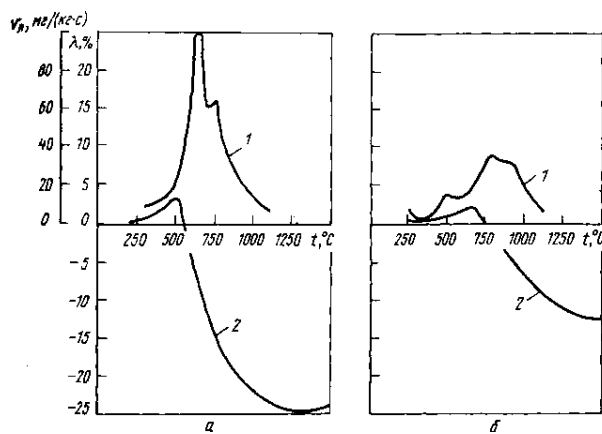


Рисунок 2.4 – Зміна швидкості виділення летких речовин  $V_d$  і об'єму вуглецевих матеріалів  $\lambda$  при прожарюванні нафтового коксу (а) і антрациту (б) :1 -виділення летких; 2 - відносна усадка

Виділення летких речовин починається при 200-250°C. Швидкість газовиділення, для усіх вуглецевих матеріалів з підвищенням температури росте неоднаково. Так, у антрацитів кількість летких, що виділяються, зростає плавніше, ніж у нафтового коксу (рис. 2.5).

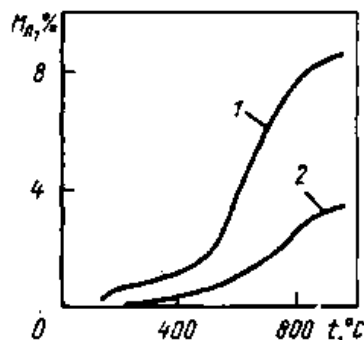


Рисунок 2.5 – Інтегральних кривих зміни долі (по масі) летких речовин  $M_A$ , що виділилися, від температури прожарювання :

1 - нафтовий кокс; 2 - антрацит

Газовиділення наростає до певного інтервалу температур, наприклад для нафтового коксу до 650-700°C, антрацитів - до 700-800 °С. При подальшому підвищенні температури газовиділення різко знижується і при 1100-1300 °с в основному завершується.

Зміна змісту летких у вуглецевих матеріалах при прожарюванні залежить від швидкості нагріву (рис. 2.6) і хімічної перебудови речовини, що протікає при цьому.

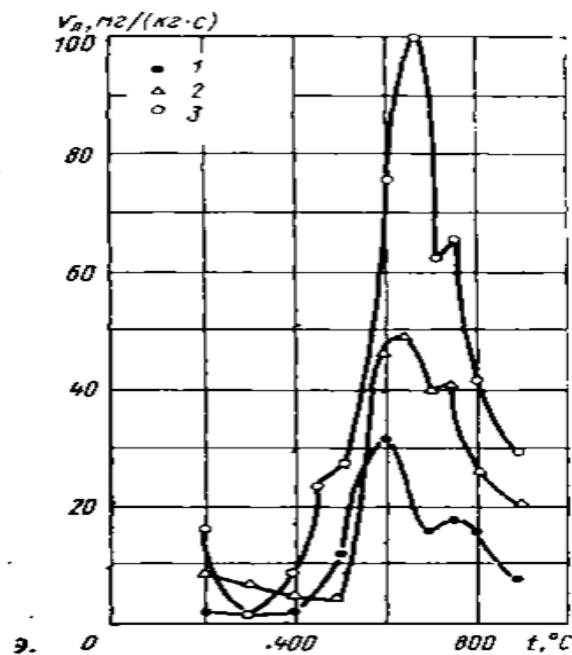


Рисунок 2.6 – Зміна швидкості виділення летких  $V_l$  з нафтового коксу при прожаренні залежно від швидкості нагріву зразка,  $t, ^\circ\text{C}$ : - 0,08; 2 - 0,16; 3 - 0,33

Найбільш характерним в зміні елементного складу матеріалу є зниження змісту водню. При температурі матеріалу приблизно до 700°C і зміст водню в летких речовинах, що виділяються з нього, не перевищує 40-50%. У міру зростання температури збільшується глибина піролізу і зміст водню в летких, що виділяються, досягає 80-90% (рис. 2.7), а вуглець, що утворився в результаті піролізу, осідає на поверхні і в порах прожареного матеріалу. Це призводить до підвищення його механічної міцності.

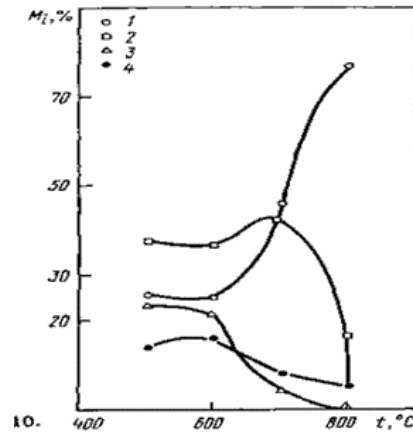


Рисунок 2.7 – Доля (по масі) газів  $M_i$  в летких речовинах, що виділяються з антрациту : 1 - водень; 2 - метан; 3 - двоокис вуглецю; 4 - окис

Одночасно із структурною перебудовою вуглецевих матеріалів в процесі прожарювання відбувається зміна їх електрофізичних властивостей. Напівпровідники за рахунок зростання площини вуглецевих стають провідниками електричного струму. При прожарюванні вуглецевої сировини до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  електропровідність його зростає на 3-5 порядків.

На зміну електропровідності при незмінних температурах прожарювання істотно впливають швидкість нагріву (рис. 2.8) і час витримки при максимальній температурі (рис. 2.9).

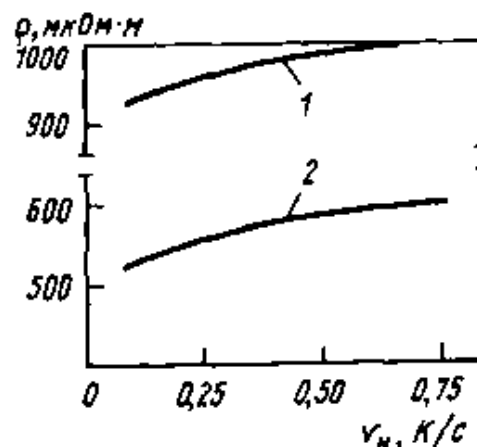


Рисунок 2.8 – Залежність питомого електроопору  $\rho$  від швидкості нагріву зразка  $V_n$  : 1 - антрацит; 2 - нафтовий кокс



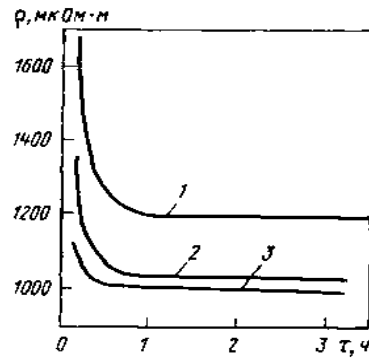


Рисунок 2.9 – Залежність питомого електроопору  $\rho$  антрациту від тривалості термообробки при  $t, ^\circ\text{C}$ : 1- 1100; 2 - 1200; 3 - 1300

Показниками, що характеризують міру прожарювання вуглецевої сировини, можуть бути його питомий електроопір, пікнометрична щільність і залишковий зміст в нім водню.

У вітчизняній промисловій практиці частіше користуються показниками електроопору і пікнометрична щільності прожареного матеріалу, а зарубіжною - показником змісту водню.

Для більшості вуглецевих матеріалів оптимальну температуру прожарювання вибирають, виходячи з умови зниження змісту водню до 0,05%.

Прожарюють різні за властивостями вуглецеві матеріали. Наприклад, нафтовий кокс містить близько 7% летких речовин, здатних згорати, антрацит - 3 - 4%, а пековий кокс - приблизно 1 %. Антрацит - щільний матеріал і має високі абразивними властивостями, кокс же пористий менш абразивен. Властивості сировинних матеріалів, особливо зміст летких речовин, сильно впливає на режим роботи печі[19].

Відповідно до послідовного ходу технологічних перетворень при прожарюванні вуглецевих матеріалів усю довжину печі слід розділити на три зони. Перша - зона тієї, що підсушила і підігрівання газами, що відходять. Це щонайдовша зона, в якій прагнуть повніше використати газів, що тепло відходять. Температура на початку зони близько 1100  $^\circ\text{C}$ , а у кінці - близько 500 -600  $^\circ\text{C}$ , чим коротше піч, тим вище температура газів, що покидають її. Друга - зона прожарювання, має найбільшу температуру газового потоку (1300 - 1400  $^\circ\text{C}$ ). Матеріал нагрівається в ній до 1250 - 1300  $^\circ\text{C}$ . Довжина зони

прожарювання визначається завдовжки факела газу, що горить, і зазвичай складає близько 5 м. Якщо прожарюваний матеріал містить велику кількість летких (наприклад, нафтовий кокс), то в результаті їх горіння зона прожарювання може зрости до 12 - 15 м. Третя - зона охолодження. Це - найкоротша зона; вона розташована в передній частині печі перед факелом палива, що горить. Нормальною довжиною для цієї зони слідує рахувати 2 - 3 м. Проте залежно від стану зони прожарювання, яка може пересуватися як в один, так і в інший бік печі, довжина зони охолодження може і скорочуватися до 1 м, і збільшуватися до 5 - 6 м. Це - порушення технологічного режиму, а тому неприпустимо.

Найбільш відповідальною є зона прожарювання, від довжини і розташування якої залежить якість прожарювання, величина чаду. У разі найбільшого видалення зони прожарювання від гарячої голівки печі різко зростає чад матеріалу, оскільки надлишок повітря, що поступає в піч, необхідний для спалювання летких речовин, проходячи над шаром вже прожареного і нагрітого до 1200°C матеріалу, спалює його. Чим довше ця ділянка, тим більше згорає матеріалу і більше збіднене киснем повітря поступає в зону прожарювання. Через нестачу кисню леткі речовини, що виділилися, повністю не згорають в печі, а догорають у кінці її, куди разом із завантажуваний матеріалом поступає повітря. Іноді леткі догорають за межами печі; при цьому спостерігається різке підвищення температури газів, що відходять. Подовження зони прожарювання є позитивним чинником, скільки створюються умови для тривалішого перебування матеріалу при найбільш високій температурі в печі і, отже, швидшого і кращого прожарювання. При великій довжині зони прожарювання може бути збільшена продуктивність печі, для цього вимагається тільки збільшити швидкість руху матеріалу за рахунок збільшення числа оборотів печі.

До параметрів технологічного режиму печі відносяться також об'єм завантаження печі матеріалом, швидкість руху матеріалу, температура і тягові умови[14,15,17].

Об'єм завантаження залежить від діаметру печі і складає 6 - 15 % її об'єму; чим більше діаметру печі, тим меншим має бути коефіцієнт заповнення. При внутрішньому діаметрі печі близько 1 м коефіцієнт заповнення допускається 12 - 15 %, а при діаметрі 2,5 - 3,5 - до 6 - 8 %. При занадто високому коефіцієнті заповнення печі погіршуються умови прожарювання, пересування матеріалу і тепловіддача футерування, чому корпус печі перегрівається, а якість прожарювання знижується. Проте при зменшенні коефіцієнта заповнення печі зменшується її продуктивність. Для створення сприятливих умов управління режимом і стабільної якості прожарювання коефіцієнт заповнення при експлуатації печі має бути постійним. Тому піч має бути обладнана точними дозаторами. Оскільки дозатори об'ємної дії, для постійності масового завантаження об'ємної дії, для постійності масового завантаження потрібно постійність гранулометричного складу матеріалів, що поступають в піч. Особливу увагу слід звертати на максимальну великість матеріалу, яка не повинна перевищувати 40 мм.

Час перебування матеріалу в печі в основному визначається її розмірами, температурним режимом і властивостями прожарюваних матеріалів. Наприклад, для нафтового коксу, розміри шматків якого досягають 50 мм, при нормальному коефіцієнті завантаження і робочій температурі близько 1400 °З час перебування в зоні прожарювання має бути не менше 20 хв. В промисловій практиці в печах завдовжки 40 - 45 м загальний час перебування матеріалу в печі складає 80 - 90 хв.

Для раціонального ведення режиму прожарювання необхідно, щоб на печах була гнучка система регулювання розрідження в межах 1-20 Па. За нормальних умов роботи печі розрідження в її холодній голівці складає 2-5 Па. Зазвичай для зменшення віднесення матеріалу з печі прагнуть працювати на мінімально допустимому розрідженні. Величина розрідження на печі робить вплив і на стан зони прожарювання. При недостатній тязі зона прожарювання опускається до передньої голівки печі і, навпаки, при збільшенні

тяги - віддаляється від неї. Відомості про роботу печей прожарювання наведено в табл. 2.1 [18].

Таблиця 2.1 - Відомості про роботу печей прожарювання (суміш пекового коксу з нафтовим), що обертаються, на деяких підприємствах:

Показники						
Довжина печі, м	19,6	19,6	40	44	45	45
Діаметр барабана, м :						
- зовнішній	1,6	2,4	2,3	3,0	2,35	3,0
- внутрішній	0,85	1,9	1,8	2,5	1,85	2,5
Кут нахилу барабана, °С	2°30'	2°	4°	2°	2°30'	1°25'
Швидкість обертання барабана, проб/хв	4,1	1,5	1,5	2,3	2,5	3,5
Продуктивність по завантаженню, т/ч	2,5	5,5	6,5	11,0	7,0	10
Час перебування матеріалу в печі, хв	45	70	72	75	76	72
Питоме знімання по завантаженню, кг/ (м <sup>2</sup> ч)	47,5	42,5	30	32	27	28
Швидкість руху матеріалу в печі, м/хв	0,55	0,38	0,72	0,76	0,77	0,82
Коефіцієнт заповнення барабана, відношення довжини печі до внутрішнього діаметру, %	15,6	11,2	7,8	6,4	7,3	6,4
Відношення довжини печі до внутрішнього діаметру	24	106	22	18	24	18
Температура газів, що відходять, °С	400	650	700	700	350	700

### 2.2.3 Теплообмін в печі

Механізм процесу теплообміну в печі, що обертається, при прожарювання вуглецевих матеріалів дуже складений, оскільки схильний до

впливу багатьох чинників, наприклад, процесів горіння палива, хімічних процесів, спалювання летких речовин, що виділяються при прожарювання, обертання теплового агрегату.

Печі прожарювання, що обертаються, працюють за принципом відкритого нагріву, при якому факел, що горить, і димові гази, що рухаються, безпосередньо стикаються з поверхнею прожарюваних матеріалів. Факел, що горить, розташовується уздовж осі печі, випромінююча поверхня і довжина якого визначають зону прожарювання. Специфічним для теплообміну в печах, що обертаються, являється нестационарний процес теплової роботи футерування, яке впродовж кожного обороту печі спочатку сприймає тепло від газового потоку, а потім віддає його при зіткненні з матеріалом. У перший період температура футерування підвищується, в другій - знижується. Середня температура футерування - нижче середньої температури газу і вище за середню температуру матеріалу. Газовий потік віддає тепло випромінюванням і конвекцією відкритим поверхням матеріалу і футеруванню, а також газам, що виділилися з прожарюваних матеріалів. Футерування у свою чергу віддає отримане тепло відкритій поверхні матеріалу випромінюванням, закритій поверхні - теплопровідністю і в докілья - випромінюванням і конвекцією.

Передача тепла теплопровідністю залежить від температури, вмісту летких речовин, вологості, пористості і інших властивостей матеріалу, що нагрівається. Конвективний обмін залежить головним чином від швидкості руху теплоносія. У зоні високих температур основним видом передачі тепла на поверхню матеріалу, що нагрівається, є випромінювання[13].

При нагріві матеріалів в робочому просторі печі розрізняють зовнішній теплообмін, що характеризує процес передачі тепла від газового середовища і внутрішніх поверхонь печі до поверхні матеріалу, що нагрівається, і внутрішній теплообмін, що характеризує процес передачі тепла від поверхні матеріалу у внутрішні шари, а рівномірність прогрівання його по товщині. Тепло, отримане зовнішньою поверхнею матеріалу, поширюється всередину теплопровідністю завдяки різниці між температурами поверхні і

внутрішніх шарів в шматку матеріалу. Оскільки шари матеріалу в печі, що обертається, безперервно пересипаються, то в різні періоди часу нагріваються різні шари матеріалу : деякий час нагрівається відкрита поверхня шару, в інший період часу - матеріал усередині шару, а частина часу матеріал нагрівається при зіткненні з футеруванням. Процеси нагріву шматків матеріалу на футеруванні і на поверхні шару відрізняються один від одного. Найбільш інтенсивний нагрів матеріалу на поверхні шару, менш інтенсивно нагрівається матеріал, що знаходиться на футеруванні печі, а нагрів матеріалу в шарі найменш інтенсивний, оскільки теплообміну майже не відбувається із - за малої теплопередачі між шматочками матеріалу. При такому нагріві шару матеріалу, що пересипається, безперервно відбувається вирівнювання температури по товщині шару.

В цілому теплообмін в шарі при обертанні печі залежить від міри заповнення її матеріалом, швидкості обертання, кута нахилу і діаметру печі. Інтенсивність теплообміну в шарі матеріалу тісно пов'язана з умовами зовнішнього теплообміну, що відбувається між газовим середовищем, факелом, що горить, і поверхнями футерування і матеріалу.

Для досягнення максимального теплового ефекту при прожарювання вуглецевих матеріалів в печах, що обертаються, потрібні визначені довжина, міра розкриття і температура факела в зоні прожарювання. Факел має бути не гострим, а довгим.

Для інтенсифікації зовнішнього теплообміну між гарячим газовим потоком, футеруванням і прожарюваними матеріалами має важливе значення застосування паливного факела, що світиться, при спалюванні газоподібного і рідкого палива в печах, що обертаються. Світимість полум'я істотно зростає за наявності в нім дисперсного вуглецю сажі, що виходить при розкладанні вуглеводневих з'єднань. Найдрібніші частки сажі в полум'ї, що світиться посилюють передачу тепла випромінюванням[12].

На рис. 2.9 приведені теплові баланси печі, що обертається, при прожарюванні різних матеріалів. У першому випадку прожарювали суміш

нафтового коксу з пековим, а в другому - тільки пековий кокс. Вміст летких речовин в пековому коксі близько 1%, а в нафтовому 7%.

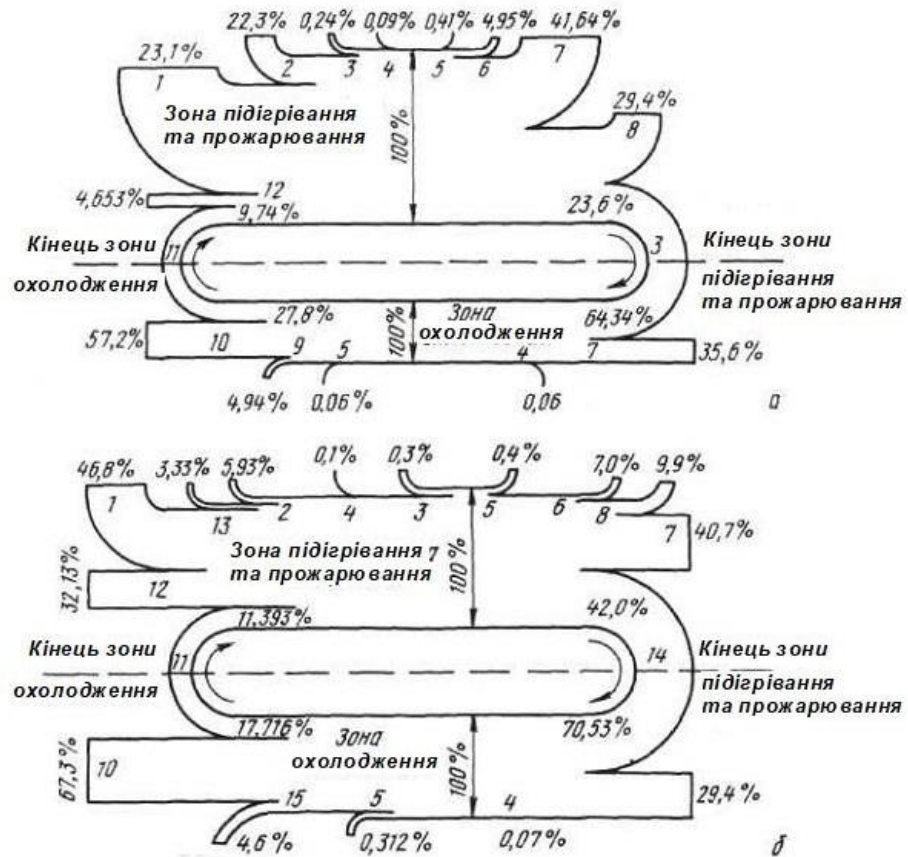


Рисунок 2.10 – Тепловий баланс печі, що обертається, при прожарюванні суміші коксу - нафтового і пекового (а) і пекового коксу (б) :

1 - хімічне тепло згорілого матеріалу; 2 - хімічне тепло летких; 3, 14 - фізичне тепло матеріалу; 4 - фізичне тепло повітря; 5 - нев'язка балансу; 6 - втрати в довкілля; 7 - хімічне тепло продуктів, що відходять; 8 - фізичне тепло продуктів, що відходять; 9 - фізичне тепло коксу; 10 - втрати тепла з водою і в навколишній простір; 11 - хімічне і фізичне тепло продуктів горіння, що відходять; 12 - фізичне і хімічне тепло газу; 13 - хімічне і 14 - фізичне тепло палива; 15 - фізичне тепло вивантажуваних продуктів

При прожарюванні суміші коксу к.п.д. печі складав 24%, а при прожарюванні пекового коксу він підвищувався до 42%. Таке різке коливання к.п.д. печі пояснюється тим, що при складанні теплового балансу печі

враховано тепло, отримане від спалювання летких речовин, що виділяються, в печі. Як випливає з теплового балансу, це - досить велика величина (22,3%) від усього тепла, що поступило в піч; при прожарюванні пекового коксу ця величина складає 3,3 %. Крім того, в продуктах горіння, що відходять, що також виходить з теплових балансів, міститься велика кількість незгорілих горючих газів. При прожарюванні сумішей з нафтовим коксом ці втрати досягають надзвичайно великої величини і складають 41,6 %, при прожарюванні пекового коксу вони значно нижче і складають близько 10 %. Пояснюється це тим, що досі не розроблений спосіб повного спалювання летких речовин, що виділяються в печі. Правильніше було б сказати, що не розроблений спосіб підведення повітря, необхідного для спалювання летких речовин в зоні підігрівання і прожарювання. Введене в піч повітря, пройшовши через розжарений шар матеріалу в зоні охолодження і у кінці зони прожарювання, втрачає стільки кисню, що в нім леткі речовини зони підігрівання не згорають або згорають в незначному ступені. Але при завантаженні матеріалу в піч поступає і холодне повітря, внаслідок чого відбувається згорання летких речовин, не згорілих в печі. Але отримане при цьому тепло не впливає на процес прожарювання, оскільки виділяється за межами печі і утилізувався в заводській котельній.

У холодильнику матеріал охолоджується до 80 - 100°C. Барабан холодильника постійно зрошується холодною водою. Витрата води складає 50 - 60 м<sup>3</sup>/ч, або близько 15 м<sup>3</sup> на 1 тону прожареного коксу. Через розвантажувальну негерметизовану тічку холодильника безперервно підсмоктується холодне повітря, яке, пройшовши уздовж холодильника, потрапляє в зону досить високих температур, сприяючи згоранню матеріалу. У холодильнику згорає прожареного коксу 80 - 100 кг/ч. Таким чином, в холодильнику спостерігаються два протилежні процеси, один з яких сприяє нагріванню матеріалу, а інший - його охолодженню.

З теплового балансу холодильника виходить, що хімічне тепло чаду матеріалу складає 30 - 40 % від загальної кількості тепла, що поступає в



холодильник, а тепло, що відводиться водою, і втрати в навколишній простір - 65 - 70 %. Це означає, що на деякій довжині холодильника матеріал зовсім не охолоджується, а тільки відбувається відбір тепла, отриманого за рахунок згорання матеріалу.

Щоб уникнути таких величезних втрат (при згоранні) прожареного коксу в холодильнику, необхідно створити герметичний розвантажувальний пристрій або створити газову завісу шляхом руху матеріалу (у переході між барабаном печі і холодильником), що перешкоджає підсосу повітря[17,20].

### 2.3 Втрати матеріалів при прожарюванні

В процесі прожарювання багато матеріалів втрачається внаслідок згорання вуглецевої частини і механічного віднесення тонкоподрібнених часток матеріалів (пилевинос). Для печей прожарювання, що обертаються, характерний високий чад найбільш цінної частини матеріалу - вуглецю: в середньому згорає близько 10% вуглецю, але іноді ця величина досягає 15 %. Більшою мірою чад матеріалів відбувається із-за підсосів повітря, тобто через відсутність належної герметизації печі. На величину чаду вуглецю, окрім підсосу повітря, впливає також порядок і умови ведення теплового режиму і спалювання летучих речовин.

При перевезенні, подрібненні і русі матеріалу в печі відбувається його стирання - утворення пилоподібних часток, розміри яких менше 0,5 - 1 мм. Міра стирання залежить від природи матеріалу і довжини печі і не залежить від числа оборотів її, діаметру і кута нахилу. Збільшення коефіцієнта завантаження печі також сприяє стиранню. Пилевинос тонких фракцій, що отримуються в результаті стирання, залежить в основному від розрідження в печі. При прожарювання пекового коксу пилевинос складає 1,2 - 2,0 %, а при прожарюванні нафтового коксу (кубового коксування) зростає до 2,9 - 3,2 %. Пилевинос антрациту в цих же умовах складає тільки 0,6 - 0,7 %, оскільки цей матеріал дуже стійкий проти стирання.

Пилевинос різко зріс після того, як нафтовий кокс стали робити способом уповільненого коксування (замість кубового способу). Цей кокс

дуже неміцний і схильний до легкого стирання, внаслідок чого утворюється велика кількість тонких пилових фракцій, що робить негативний вплив на ефективність роботи печей, що обертаються. Так при прожарюванні не класифікованого по великості коксу, що містить близько 50 % фракції менше 25 мм, продуктивність печей знижується на 30 %, а втрати при прожарюванні зростають на 50 % за рахунок пилевиносу з печі.

Для збору захоплених з печі запошених фракцій за піччю споруджують скрубери, в яких ці фракції осідають. Скрубери є гравітаційною відстійною камерою прямокутного перерізу з входом газів з одного боку і виходом - з іншою (збоку або згори). Недоліками цих скрубери є великі габарити і низька ефективність пиловловлювання. При заданій витраті запиленого газу ефективність уловлювання залежить від загальної площі камери і майже не залежить від висоти. Переріз камери вибирають так, щоб швидкість газу була невеликою і щоб не відбувалося захоплення обложеного пилу. У усіх випадках швидкість не повинна перевищувати 3 м/с. У зв'язку з тим, що міра пилевиносу залежить від швидкості руху газу в печі, слід прагнути до збільшення діаметру печі і зменшення коефіцієнта її заповнення

Оскільки скрубери не забезпечують повного очищення газів від пилу, то вона поступає в котли-утилізатори, ускладнюючи їх експлуатацію. Для очищення відпрацьованих газів від механічних домішок встановлюються споруди по очищенню газу[10,17]..

#### 2.4 Характеристика системи очистки газопилових викидів від печей прожарювання

Кількість тих, що утворюються в трубчастих печах прожарювання газів, що відходять, визначається продуктивністю печі. Зміст шкідливих домішок в газах, що відходять, утворюються, наприклад, при прожарюванні нефтекоксів, г/м<sup>3</sup> : 10 С; 0,16-0,45 SO<sub>2</sub>; 0,40-0,82 SO<sub>3</sub>; 0,007-0,020 смолянистих речовин.

На рисунку 2.11 наведено зміни температури димових газів по довжині печі при різних температурах вуглецевого матеріалу.

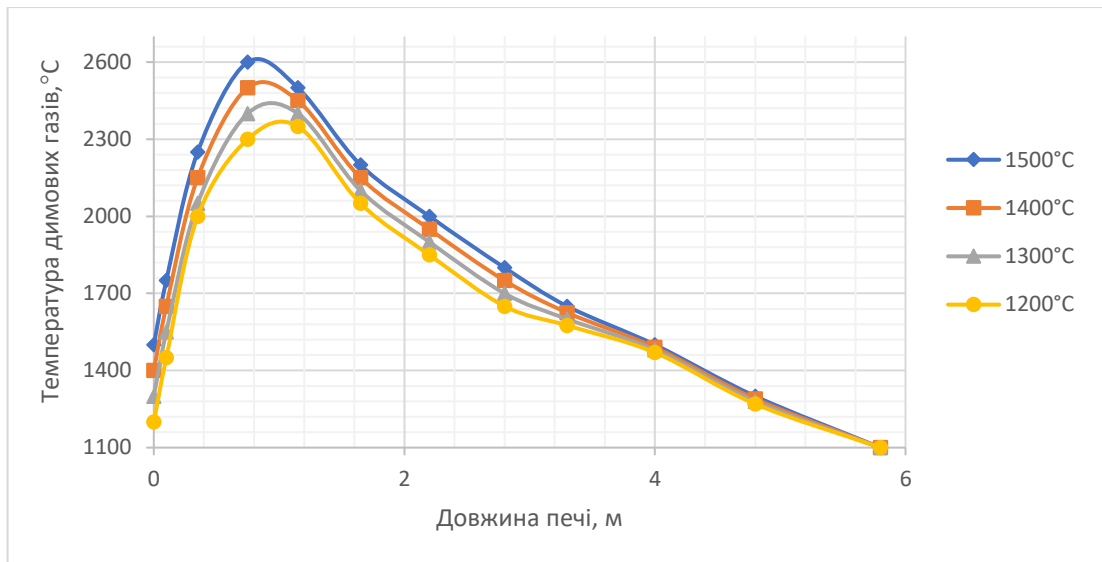


Рисунок 2.11 – Зміна температури димових газів (суцільні лінії) по довжині печі при різних температурах вуглецевого матеріалу на виході з печі

З схеми видно, що для всіх режимів роботи зміни температури потоків незначні починаючи з 4 м зменшуються починаючи з 6 м для димових газів з 1100 °C і з 500 °C для твердої фази. Значення температур, особливо димових газів, на відстані від 1 до 2-х м досягають максимального значення. Наприклад, для кінцевої температури активування вуглецевого матеріалу 1500 °C досягає 2600 °C. Останнє необхідно враховувати при підборі матеріалу футеровки, або приймати технологічні заходи для зниження температури, наприклад, подавати димові гази в зону високих температур.

На ПрАТ «Укрграфіт» Будівництво утилізаційної котельної було завершено в 2011 р. і дозволило повністю забезпечити підприємство водяною парою й гарячою водою та здійснювати більш ефективно очищення димових газів.

В утилізаційній котельні встановлено три котла-утилізатора типу РК-25-1,4/320 конструкції НТП «Котлоенергопром», м. Харків. Передбачена робота кожного котла-утилізатора в одному з трьох режимів:

1. В утилізаційному режимі з підігрівом природним газом - в номінальному режимі на котел подається до 60000 м<sup>3</sup>/ч димових газів від трьох працюючих печей. Для стабілізації горіння і підтримки номінальної

паропродуктивності на паликовий пристрій котла додатково подається 397 нм<sup>3</sup>/год природного газу.

2. В режимі спалювання вуглецевмісного пилу, в кількості 2534 кг/год, з підтриманням природним газом, в обсязі 428 м<sup>3</sup>/год, і утилізацією тепла.

3. В автономному режимі роботи на природному газі. Витрата природного газу на котел - 2000 нм<sup>3</sup>/год. Номінальна паропродуктивність котла 25 т/год.

Котли-утилізатори використовують вторинні енергоресурси підприємства (тепло димових газів печей прожарювання), а також спалюють природний газ для покриття потреб підприємства у тепловій енергії. Котли-утилізатори використовують енергетичний потенціал вихідних газів печей прожарювання № 1, № 2, № 3, № 4 та № 5, що знаходяться у цеху № 4 та мають одну димову трубу. Вихідні гази проходять через первинну піч котлів-утилізаторів, де утилізується вторинна енергія та спалюється додаткове паливо, камеру згорання, поверхню конвекції та направляються до газоочисної системи і далі до існуючої димової труби. Рукавні фільтри використовуються для очистки вихідних газів від пилу та золи.

Паровий котел РК 25-1,4/320 конструкції НТП «Котлоенергопром» вертикально-водотрубний безбарабанний з природною циркуляцією і П-образним зімкнутим компонованням поверхонь нагріву з виносним окремо стоячим водяним економайзером, призначений для теплового знешкодження та утилізації тепла димових газів від прожарювальних печей № 1, 2, 3, 4, 5 і вироблення перегрітої пари тиском 1,4 МПа, температурою 320 + 5 °С. По ходу газів послідовно розташовані: циклонний предтопок (реактор дожига), топка котла, пароперегрівача, випарний пакет, водяний економайзер.

Технічна характеристика котла-утилізатора РК-25-1.4/320 представлена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Технічна характеристика котла- утилізатора РК-25-1.4/320.

Показник	Значення
Тип котла	РК-25-1,4/320
Виробник	НТП "Котлоенергопром"
Встановлена теплова потужність, Гкал/год	20
Показник	Значення
Потужність, тонн пари на годину	25
Тиск перегрітої пари, МПа	1,4
Температура перегрітої пари, °С	320
Максимальна витрата димових газів на котел, м <sup>3</sup> /год.	60 000
Температура вихідних газів, °С	500-1100
Споживання природного газу в режимі утилізації, м <sup>3</sup> /год	397
Споживання природного газу в автономному режимі, м <sup>3</sup> /год	2000

Виробництво теплової енергії з використанням відхідних газів призведе до енергозбереження та скорочення викидів парникових газів. Загальний обсяг виробництва теплової енергії трьома котлами- утилізаторами РК-25-1.4/320 складе приблизно 115 000 Гкал на рік.

Один з котлів утилізаторів також обладнаний додатковим пальником, який здатний спалювати графітний пил, та бункером місткістю 30 тонн (8 годин експлуатації) для завантаження графітного пилу. Однак, графітний пил не передбачається використовувати у якості палива в значних кількостях через його цінність як продукту для металургійної промисловості.

Рівень виробництва теплової енергії залежить від теплових потреб, що змінюються протягом року. Використання теплоізоляційних матеріалів на поверхні нагрівання та захист зовнішніх поверхонь від температури не більше, ніж 55°С призведе до додаткового енергозберігаючого ефекту[9].

Для видалення продуктів механічного недожигу вуглецевмісного пилу, що міститься в утилізованих газах від печей прожарювання і золи, що утворюється безпосередньо при спалюванні відходів виробництва, на котлі передбачена система сухого золовидалення. Під основними елементами котла розташовані бункери для збору золи, об'ємом 5 м<sup>3</sup>, кожен з яких обладнаний течкою для золовідведення (циклонний предтопок - 1 тачка, топка котла - 2 тички, конвективна шахта - 1 тачка, газохід водяного економайзера - 1 тачка).

Температура золи, що вивантажується 80°C. З усіх точок зола пневмотранспортом направляється в бункер збору золи, об'ємом 15 м<sup>3</sup>, звідки автотранспортом вивозиться на утилізацію. Дрібні фракції золи уловлюються в рукавних фільтрах серії MBF36, розміщених після кожного котла. Уловлені частинки накопичуються в бункерах фільтрів, об'ємом 9 м<sup>3</sup>, звідки автотранспортом вивозяться на утилізацію. Інтенсивність накопичення бункера близько 18,5 годин під час роботи котла на вуглецевмісній пилу.

З метою очищення димових газів від пилу і золи, проектом передбачається установка за котлами-утилізаторами рукавних фільтрів. Передбачена установка 3-х паралельно працюючих рукавних фільтрів продуктивністю 90000 м<sup>3</sup>/год кожен. Фільтри встановлюються за котлами, перед димососами і працюють під розрідженням. Схема включення рукавних фільтрів в газовий тракт котлів-утилізаторів дозволяє працювати будь-якого з котлів з будь-яким рукавним фільтром, таким чином, забезпечена 100% взаємозамінність обладнання. Для регенерації фільтруючих елементів використовується стиснене повітря, яке буде надходити від існуючої компресорної заводу. Вловлені у фільтри пил і зола накопичуються в бункері фільтра. Видалення пилу з бункера передбачається в мішки накопичувачі («біг-бег») з вивезенням автотранспортом на утилізацію.

Коротка технічна характеристика обладнання газоочищення представлена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Коротка технічна характеристика обладнання газоочищення

п/п	Найменування	Одиниці виміру	Значення
Рукавний фільтр			
1	Тип	—	МВФ36
2	Пропускна здатність	м <sup>3</sup> /ч (нм <sup>3</sup> /ч)	90000 (53646)
3	Робоча температура	°С	185
4	Максимальна температура	°С	до 200
5	Вхідна кількість пилу	г/нм <sup>3</sup>	8,9 ÷ 27,7
6	Вихідна кількість пилу	мг/нм <sup>3</sup>	15

Система газоходів газопилових викидів передбачає забір димових газів від завантажувальних головок печей прожарювання за рахунок тяги, створюваної димососами котлів, за системою газоходів, не порушуючи аеродинамічний режим роботи печей, який забезпечує розрідження в завантажувальній голівці 50 Па. Передбачено безударне перемикання печей від утилізаційної котельної на димову трубу. Димові гази від печей збираються в загальний газохід і надходять на кожен котел. Для перерозподілу кількості утилізованих газів на кожен котел передбачена система шиберів, які при необхідності відсікають котел від загального газоходу. Гази котлів, що відходять, направляються на рукавний фільтр, а далі об'єднуються у загальний газохід і спрямовуються на існуючу димову трубу. Непрацюючі котли відсікаються від загального газоходу шиберами. У разі виникнення аварійної ситуації передбачено відвід газів, що відходять через систему газоходів на димову трубу для запобігання зупинки печей прожарювання. Також передбачена спеціальна схема, що запобігає утворенню застійних зон в колекторах газоходів від печей і перед котлами - утилізаторами, шляхом об'єднання торцевих частин колекторів газоходом [10].

Внаслідок функціонування утилізаційної котельні вдалося уникнути споживання вугілля, що привело до зменшення забруднення повітря викидами оксидів азоту, триокису та двоокису сірки, частками золи та палива, що не

згоріло, оксидами вуглецю та ін. Більше того, утилізація вторинних енергетичних ресурсів з відхідних газів привела до зменшення викидів оксидів азоту та монооксиду вуглецю, а також викидів пилу в атмосферне повітря.

Крім того, зменшене споживання природного газу та електроенергії для технологічних процесів, що також привело до зменшення атмосферного забруднення та оказує позитивний екологічний вплив.

За рахунок конструктивних особливостей котлів забезпечено утримання в відхідних газах після утилізаційної котельної оксиду вуглецю на рівні нижче ГДК, а для очищення димових газів від пилу за котлами-утилізаторами встановлено 3 паралельно працюючих імпульсних рукавних фільтри типу ФРКІ-1200. Схема включення рукавних фільтрів у газовий тракт котлів-утилізаторів дозволяє працювати будь-якому з котлів з будь-яким рукавним фільтром, таким чином, забезпечена стовідсоткова взаємозамінність обладнання.

Щорічне скорочення антропогенних викидів за джерелами парникових газів (CO<sub>2</sub>), що прогнозується до 2020 року, представлені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Щорічне скорочення антропогенних викидів за джерелами парникових газів (CO<sub>2</sub>), що прогнозується до 2020 року

Рік	Скорочення викидів, тонн CO <sub>2</sub>
2016	31443
2017	35786
2018	37841
2019	39580
2020	45923
Всього	472460

Отже, досягнуто не тільки важливе з точки зору енергозбереження використання тепла відхідних газів, а й скорочено емісію забруднюючих речовин від печей прожарювання. У газах, що надходять в атмосферне повітря після утилізаційної котельної, вдалося досягти вмісту пилу (зважених речовин) – не більше 50 мг/м<sup>3</sup> і оксиду вуглецю – не більше 250 мг/м<sup>3</sup>).



## 2.5 Аналіз методів знешкодження викидів при прожаренні сировини

Для знешкодження газів печей прожарювання, що відходять, пропонуються наступні схеми:

1. піч - пилоосаджувальна камера - котел-утилізатор - груповий циклон - димосос – димова труба.

Зазвичай використовувані групові циклони ЦН- 11 або ЦН- 15 забезпечують уловлювання пилу з газів на 65-78%. Пил використовується як готовий продукт і спрямовується на виготовлення електродної маси разом з основним потоком матеріалу. Проте практика експлуатації цієї схеми виявила ряд істотних недоліків, а саме:

- враховуючи відносно високу початкову запылену газового потоку і ефективність роботи циклону, кінцева запылена складала 300 - 1000 мг/м<sup>3</sup>

Розглядаючи склад газів, що відходять, можна дійти висновку, що майже усі токсичні компоненти, за виключенням ( $\text{SO}_2 + \text{SO}_3$ ), можуть бути знешкоджені термічним способом. Пропонувалася наступна схема очищення газів :

піч - пилоосаджувальна камера - топка-реактор з котлом-утилізатором - циклон - димар.

Відповідно до цієї схеми газу печі прожарювання, що мають температуру 300-350 °С, спрямовуються в топку-реактор, де в результаті спалювання природного газу і згорання що містяться в газах вугільного пилу і смолянистих речовин розвивається температура 1100-1300 °С, достатня для повного знешкодження газів від смолянистих речовин. Тепло гарячих газів потім утилізувалося в котлі-утилізаторі з отриманням пари. Остаточному очищенню від пилу (золи), що не згорає, газу піддаються в циклоні. Потім вони прямують або на очищення від сірчистих з'єднань в скруберах з використанням як зрошуюча рідина вапняного молока, або на розсіювання через димар.

Проте ця схема вимагає значної витрати природного газу, необхідного для спалювання смолистих речовин. Витрата природного газу порівнянна з витратою газу для основного процесу, що робить економічно неможливим

експлуатацію цієї схеми. На Челябінському електродному заводі, ВАТ "Укрграфіт" (Дніпровський електродний завод) знижували питому витрату

природного газу з метою дожигу тільки СО. Проте при цьому на поверхнях теплообмінних пакетів котла утилізатора відбувалося утворення відкладень смолянистих речовин разом з вуглецевим пилом, що погіршувало умови теплопередачі і значно знижувало ефективність роботи котла-утилізатора. Окрім того відкладення смолянистих з вуглецевим пилом приводили на перших теплообмінних пакетах в умовах високих температур до періодичного їх займання і деформації устаткування, а на останніх в місцях введення охолоджувального агента до утворення конденсатів і хімічної корозії із-за наявності кислих компонентів в газі. Після декількох років експлуатації подібні схеми були демонтовані і замінені на схеми з циклонами.

У окремих випадках, наприклад в цехах по виробництву анодної маси великих алюмінієвих заводів, передбачаються інші схеми очищення газів печей прожарювання, що відходять. Так, на Новокузнецькому алюмінієвому заводі була запроєктована двоступінчаста схема очищення : пекти груповий циклон ЦН- 15 - електрофільтр. Проте досвід експлуатації електрофільтрів показав, що створює небезпеку займання і вибуху, а також викликає необхідність періодичної зупинки апаратів на очищення від налиплого пилу. Тому в цехах анодної маси більшості алюмінієвих заводів в основному використовується одноступінчаста схема очищення газів в групових циклонах ЦН- 15, що забезпечує уловлювання пилу тільки на 75 % і без очищення від смолянистих і З.

Застосування схем з високоефективними апаратами очищення від пилу такими як рукавні фільтри і скрубери Вентурі в деяких зарубіжних країнах, таких як КНР, показало їх неефективність з ряду причин. При використанні рукавних фільтрів наявність високих температур і вуглецевих часток, що горять, призводила до прогару рукавів і зниженні ефективності до 70 - 75%, а іноді і повному виходу з ладу пиловловлюючих установок. Застосування мокрих схем очищення також малоефективно внаслідок поганої змащуваності

і високої адгезійної здатності пилу. Крім того застосування мокрих апаратів очищення на електродних заводах країн СНД не представляється можливим через відсутність брудних оборотних циклів водопостачання.

Для зменшення викидів в довкілля на ВАТ "Укрграфіт" була зроблена реконструкція одноступінчастої схеми з циклонами на двоступінчасту із застосуванням на першому ступені циклонів ЦН- 15, а на другій високоефективних циклонів СЦН- 40. Це дозволило понизити концентрацію пилу на виході з установок до 120 - 210 мг/м<sup>3</sup>, залежно від виду прожарюваної сировини, а на виході з труби до 150-170 мг/м<sup>3</sup> при викиді суміші газів від усіх печей прожарювання.

### 3 ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

Відповідно до завдання до магістерського проекту об'єм промислових газів, що відходять, від печі прожарювання складе 26000 нм<sup>3</sup>/год, без врахування повного допалювання СО [29].

1. Температура газів, що відходять, становить 250 °С.
2. Медіанний діаметр становить  $d_m = 0,35$  мкм.
3. Запиленість попереду котла-утилізатора – 3186 мг/м<sup>3</sup>.
4. Розрідження газів: 2,252 кПа
5. Барометричний тиск: 101,3 кПа.

Згідно проведеному теоретичному аналізу, перед повним допалюванням СО газу, які відходять від печей прожарювання мають наступний склад:

Складові газу	%
NO <sub>2</sub>	2,7
SO <sub>2</sub>	11,9
CO	34,5
O <sub>2</sub>	2,1
H <sub>2</sub> O	8,7
C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	0,2
C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> S	0,1
N <sub>2</sub>	39,8

#### 3.1 Вибір та розрахунок газоочисних апаратів

##### 3.1.1 Розрахунок повного допалювання СО, що міститься в газах.

При роботі з допалюванням СО між верхом горловини конвертера і нижньою кромкою каміна, що накриває конвертер, засмоктується деяка кількість повітря, яка витрачається на допалювання СО до СО<sub>2</sub>. Частина цього повітря потрапляє в порожнину конвертера і збільшує вміст в ній азоту.

Гази печі прожарювання, що мають температуру 300-350 °С,

спрямовуються в топку-реактор, де в результаті спалювання природного газу і згорання що містяться в газах вугільного пилу, зі смолянистих речовин розвивається температура 1100-1300 °С, достатня для повного знешкодження газів від смолянистих речовин. Тепло гарячих газів потім утилізувалося в котлі-утилізаторі з отриманням пари.

Теоретично необхідна кількість повітря для горіння,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ :

$$L_0 = (0,5 \times \text{CO} + 0,5 \times \text{H}_2 - \text{O}_2) \div 21,$$

де CO, H<sub>2</sub> і O<sub>2</sub> — склад хімічних компонентів в газовій суміші, %.

$$L_0 = (0,5 \times 34,5 - 2,1) \div 21 = 0,722 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Дійсна кількість повітря,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ :

$$L_{\text{д}} = L_0 \times \alpha,$$

де  $\alpha$  — коефіцієнт підсосу повітря, приймаємо 1.5, оскільки при даному коефіцієнті повністю згоратимуть горючі компоненти, тоді:

$$L_{\text{д}} = 0,72 \times 21,5 = 1,083 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Об'єм димових газів,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ :

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 \times (\text{CO} + \text{CO}_2)$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0,01 \times 34,5 = 0,345$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \times (\text{N}_2 + 79 \times L_{\text{д}})$$

$$V_{\text{N}_2} = 0,01 \times (39,8 + 79 \times 1,083) = 1,254$$

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 \times (\alpha - 1) L_0$$

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 \times (1,5 - 1) \times 0,722 = 0,076$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \times (\text{H} + \text{H}_2\text{S} + \sum_{\text{m}}^{\text{n}} \text{C}_m\text{H}_n \times 0,124 \times d_r) + 0,0161 \times L_0,$$

де  $d_r$  — вологовміст газового палива, приймаємо  $d_r = 10$  г/кг.

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,01 \left( \frac{10}{2} 0,2 + \frac{22}{2} 0,1 \times 0,124 \times 10 \right) + 0,0161 \times 0,722$$

$$= 0,035$$

$$V_{\text{д}} = \sum_{i=1}^n V_i$$

$$V_{\text{д}} = \sum_{i=1}^n 0,345 + 1,254 + 0,076 + 0,027 + 0,119 + 0,002 + 0,001 + 0,035$$

$$= 1,86$$

Склад газів після повного допалювання CO, %:

$$\%R_iO_j = \frac{V_{R_iO_j}}{V_D} \times 100 \%$$

Складові газу	%
NO <sub>2</sub>	1,4
SO <sub>2</sub>	6,4
CO <sub>2</sub>	18,5
O <sub>2</sub>	4,1
H <sub>2</sub> O	1,9
C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	0,14
C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> S	0,06
N <sub>2</sub>	67,5

Густина газової суміші за нормальних умов, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_0 = \frac{0,01}{22,4} \sum R_iO_j \times M_{R_iO_j},$$

де M - молекулярна маса компонента газової суміші, кг/моль.

$$\rho_0 = \frac{0,01}{22,4} \times (67,5 \times 28 + 0,06 \times 246,42 + 0,14 \times 154,2120 + 1,9 \times 18 + 4,1 \times 32 + 18,5 \times 44 + 6,4 \times 64 + 1,4 \times 46) = 1,51 \text{ кг/м}^3$$

Густина газів за робочих умов, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_r = \rho_0 \frac{273 \times (P_{\text{бар}} \pm P_r)}{(273 + T_r) \times 101,3}$$

де  $\rho_0$  – густина газів за нормальних умов, кг/м<sup>3</sup>;

$P_{\text{бар}}$  – нормальний атмосферний тиск, Па;

$P_r$  – розрідження газу, кПа;

$T_r$  – температура газів, °С.

$$\rho_r = 1,51 \frac{273 \times (101,3 - 2,252)}{(273 + 1100) \times 101,3} = 0,293 \text{ кг/м}^3$$

Витрата газів за нормальних умов після допалювання:

$$V_H = V_0 \times V_D,$$

де  $V_H$  – витрата газів за нормальних умов, нм<sup>3</sup>/год.

$$V_H = 26000 \times 1,86 = 48360 \text{ нм}^3/\text{год}$$



31,0	1,4	50000	194	1200	240	105	1030	1032	1,176	13,0	4,85	6,6	53
------	-----	-------	-----	------	-----	-----	------	------	-------	------	------	-----	----

### 3.1.3 Розрахунок рукавного фільтру типу ФРІР

Вихідні дані:

1. Об'ємна витрата газу, що очищається, за н. у.  $V = 13,43 \text{ м}^3/\text{с}$ .
2. Густина газу при н. у.  $\rho_1 = 1,51 \text{ кг}/\text{м}^3$ .
3. Температура газу на виході з котла-утилізатора складає  $240^\circ \text{С}$ .  
При транспортуванні газів від котла утилізатора до рукавного фільтру температура знижується на 10 градусів  $t = 230^\circ \text{С}$ .
4. Запиленість газу, що поступає на очищення,  $C_{\text{вх}} = 3,186 \text{ г}/\text{м}^3$ .
5. Тиск перед фільтром,  $P_T = 95 \text{ 028 Па}$ .
6. Щільність частинок пилу  $\rho_{\text{ч}} = 2050 \text{ кг}/\text{м}^3$ . (за даними ПрАТ «Укрграфіт»)
7. В якості фільтрувальної тканини обрано оксалон, характеристики якої:

Фільтрувальний матеріал, артикул	4949 METEOR	
Склад:	волокно сітка	Оксалон Базальт
Вага	902-998 $\text{г}/\text{м}^2$	
Товщина	1.5-2.0 мм	
Повітропроникність	119-166 $\text{л}/\text{дм}^2/\text{хв}$	
Розривний внутрішній тиск	6985 кПа	
Температура:	постійна короткочасна	290 $^\circ \text{С}$ 350 $^\circ \text{С}$
Розривне зусилля:	породільне поперечне	min 400 кг min 200 кг
Застосування	фільтрація газів	

Склад димового газу представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Склад газу, що відходить від печей прожарювання за даними ПрАТ «Укрграфіт»

Компоненти	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub>
%	1,4	6,4	18,5	1,9	4,1+67,5+0,2*

\* C<sub>12</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>16</sub>H<sub>22</sub>S складає малий відсоток, тому їх значенням нехтуємо, та додаємо їх відсоток до суміші (O<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>).



Дисперсний склад пилу наведено в таблиці 2.4. (за даними ПрАТ «Укрграфіт»)

Таблиця 3.2 – Дисперсний склад пилу

мкм	> 500	500-160	160-70	70-0
%	0,8	0,8	13,8	84,6

В результаті математичної обробки дисперсного складу пилу, який міститься в відхідних газах печей прожарювання, було встановлено, що медіанний діаметр часток пилу становить  $d_m = 70$  мкм.

Визначаємо питоме газове навантаження на рукавний фільтр [30]:

$$q = q_n \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5,$$

де  $q_n$  - нормативна питома навантаження, що залежить від виду пилу і її схильності до агломерації, для розрахунків слід прийняти  $q_n = 2,0 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \text{ хв})$  (рис.3.1);  $C_1$  - коефіцієнт, що характеризує особливість регенерації фільтруючих елементів, 1;  $C_2$  - коефіцієнт, що враховує вплив концентрації на питоме навантаження, 1,1 (рис. 3.2);  $C_3$  - коефіцієнт, що враховує вплив дисперсного складу пилу в газі, 1,2 (табл. 3.3);  $C_4$  - коефіцієнт, що враховує вплив температури газу, 0,7 (табл. 3.4);  $C_5$  - коефіцієнт, що враховує вимоги до якості очищення, 0,95.

Значення $q_n, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{хв})$				
3,5	2,6	2,0	1,7	1,2
Пил шкіри. Тирса. Картонний пил. Полівінілхлорид після розпилювання. Борошно деревне. Деревний пил	Азбест. Волокнисті та целюлозні матеріали. Пил при вибиванні із форм. Пил від полірування лакових, фарбувальних поверхонь. Пил від піскоструменевих апаратів. Піщаний абразивний пил	Глинозем. Цементний пил. Керамічні барвники. Вугілля. Вапно. Каолін. Гума. Пил гірських порід. Плавиковий шпат	Кокс. Летка зола. Металопорошки. Окиси металів. Пластмаси. Барвники, силікати. Смоли сухі. Хімікати з нафтопродуктів. Виділення формальдегідного пилу	Активоване вугілля. Технічний вуглець. Мийні речовини. Сублімація кольорових і чорних металів

Рисунок 3.1 – Залежність нормативного питомого навантаження від виду пилу і її схильності до агломерації

Для коефіцієнта, що враховує вплив особливостей регенерації фільтрувальних елементів, для цього апарату коефіцієнт  $C_1 = 1$ .

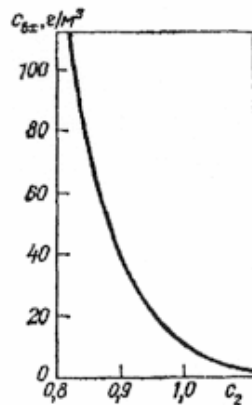


Рисунок 3.2 – Залежність коефіцієнта  $C_2$  від концентрації пилу на вході в фільтр  $C_{вх}$ .

Таблиця 3.3– Залежність коефіцієнта  $C_3$  від діаметра частинок

$d_m$ , мкм	<3	3-10	10-50	50-100	>100
$C_3$	0,7-0,9	0,9	1,0	1,1	1,2-1,4

Таблиця 3.4 – Залежність коефіцієнта  $C_4$  від температури газу

$t$ , °C	20	40	60	80	100	20	140	160
$C_4$	1	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,70

Коефіцієнт  $C_5$ , викладаючи вимоги до якісних очисток, оцінюється за концентрацією пилу в очищеній газеті. При концентрації пилу у відхідних газах  $30 \text{ мг/м}^3$   $C_5 = 1$ , а при  $10 \text{ мг/м}^3$   $C_5 = 0,95$ .

$$q = 2,0 \times 1 \times 1,1 \times 1,2 \times 0,7 \times 0,95 = 1,7556 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{хв})$$

Визначаємо густину перед рукавним фільтром за робочих умов:

$$\rho_r = \rho_0 \frac{273 \times (P_{бар} \pm P_r)}{(273 + T_r) \times 101,3} = 1,51 \frac{273 \times (101,3 - 2,252 - 1,176)}{(273 + 230) \times 101,3} = 0,792 \text{ кг/м}^3$$

Витрата газів за робочих умов попереду рукавного фільтру:

$$V_r = V_0 \frac{(273 + T_r) \times 101,3}{273 \times (P_{бар} \pm P_r)} = 48360 \frac{(273 + 230) \times 101,3}{273 \times (101,3 - 2,252 - 1,176)} = 92 \ 223,72 \text{ м}^3/\text{Год}$$

Визначаємо фільтруючу поверхню апарату[31]:

$$F_\phi = V_r / 60 \times q,$$

$$F_\phi = 92223,72 / 60 \times 1,7556 = 875,52 \cong 876 \text{ м}^2.$$

Найбільш підходящий фільтр марки ФРІР 1200, технічна характеристика якого приведена нижче [23]:

1. Продуктивність по газу, що очищається, тис. м <sup>3</sup> /год.	до 110000
2. Питоме газове навантаження, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> хв	0,7-1,8
3. Площа фільтрації, м <sup>2</sup>	1200
4. Гідравлічний опір фільтру, кПа	не більше 2000
5. Кількість фільтрувальних рукавів, шт	448
6. Розмір рукава фільтрувального, мм:	
довжина	6300
8. Маса фільтру, кг	33900
9. Витрата стислого повітря, нм <sup>3</sup> /хв	не більше 3,6
10. Тривалість циклу регенерації, хв	не більше 4

У цій установці реалізовані принципи регенерації фільтру - продуванням стислим повітрям. Регенерація фільтрів здійснюється поданням імпульсів стислого повітря тривалістю 0,2 с, усередині фільтрів, фільтри різко розширюються, і "струшують" "шуби", що накопичилися на ній, в той же час відбувається продування фільтрувальних тканин в напрямках, зворотних потоків забрудненого повітря.

Визначимо фактичне газове навантаження на фільтр:

$$q_{\phi} = \frac{V}{F_{\phi}} = \frac{25,62}{1200} = 0,02135 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ с} = 1,281 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ хв})$$

Гідравлічний опір фільтрувальної перегородки включає втрати напору за рахунок самої перегородки ( $\Delta P_T$ ) і втрати за рахунок осіла на перегородку пилу ( $\Delta P_{ш.п.}$ ):

$$\Delta P_{\Pi} = \Delta P_T + \Delta P_{ш.п.},$$

де  $\Delta P_T$  – гідравлічний опір тканині фільтру, Па:

$$\Delta P_T = K_{\Pi} \times w \times \mu_{г.см},$$

де  $K_{\Pi}$  – постійна фільтрування;

$w$  – швидкість фільтрування, м/с;  $w = q_{\phi} = 1,281 \text{ м}^3/\text{хв} = 0,02135 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

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

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

$$\Delta P_{ш.п.} = \Delta P_{\phi} - \Delta P_{к} - \Delta P_{т.}$$

Гідравлічний опір корпусу фільтру[32]:

$$\Delta P_{к} = \zeta \frac{\rho_{г} \times W_{вх}^2}{2},$$

де  $\rho_{г}$  - густина газу за робочих умов, г/м<sup>3</sup>;

$W_{вх}$  - швидкість газу, що приймається, у вхідному патрубку фільтру;

$$W_{вх} = 8 \text{ м/с};$$

$\xi$  - коефіцієнт гідравлічного опору корпусу; для правильно сконструйованих рукавних фільтрів зазвичай складає 1,5 – 2,0, приймаємо  $\xi = 1.5$  [11].

$$\Delta P_{к} = 1,5 \frac{0,792 \cdot 8^2}{2} = 38,016 \text{ Па.}$$

Опір фільтрувальної перегородки фільтру, Па:

$$\Delta P_{\phi.п} = \Delta P_{т} + \Delta P_{ш.п.},$$

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

$$\Delta P_{т} = A \times W_{\phi} \times \mu_{г.см.},$$

де  $A$  – постійна фільтрування;

$W_{\phi}$  – швидкість фільтрування, м/с;  $W_{\phi} = q_{\phi} = 1,281 \text{ м/хв} = 0,02135 \text{ м/с};$

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

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

$$\Delta P_{ш.п.} = \Delta P_{\phi} - \Delta P_{к} - \Delta P_{т}$$

Час періоду між регенераціями рукавного фільтру визначимо по формулі:

$$t_p = \frac{\rho_{ч}(\Delta P - AB)}{A \times W_{\phi} \times z_1},$$

де  $A$  та  $B$  – постійні фільтрування;

$W_{\phi}$  – швидкість фільтрування, м/с;  $W_{\phi} = q_{\phi} = 1,281 \text{ м/хв} = 0,02135 \text{ м/с};$

$\rho_{ч}$  – щільність частинок пилу, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{ч} = 2050 \text{ кг/м}^3$

$z_1$  – концентрація пилу в газі перед фільтром, г/м<sup>3</sup>.

Розраховуємо постійні фільтрування А і В:

$$A = \frac{817 \mu W(1-\varepsilon_{\Pi})}{\varepsilon_{\Pi}^3 \times d_m^2}$$

$$B = 0,82 \times 10^{-6} \times d_m^{0,85} \times \varepsilon_{\text{TK}}^3(1-\varepsilon_{\Pi}) \times h^{2/3}$$

$$\varepsilon_{\Pi} = 1 - 79 \times d_m^{0,47} = 1 - 79 \times (70 \times 10^{-6})^{0,47} = 0,1193$$

де  $\varepsilon_{\Pi}$  - пористість шару пилю;

$\varepsilon_{\text{TK}}$  - пористість тканини (оксалон (сітка – базальт)), долі од.;  $\varepsilon_{\text{TK}} = 0,55$ ;

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

$$h = 7,2 \times 10^5 \text{ [11]}$$

$$A = \frac{817 \times (25 \times 10^{-6}) \times 0,02135(1-0,1193)}{0,1193^3 \times (70 \times 10^{-6})^2} = 4,6 \times 10^7 \text{ м}^{-1};$$

$$B = 0,82 \times 10^{-6} \times (70 \times 10^{-6})^{0,85} \times 55^3(1-0,1193) \times (7,2 \times 10^{-5})^{2/3} = 2,84 \times 10^{-7} \text{ м/кг.}$$

Обчислюємо динамічний коефіцієнт в'язкості газу:

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

де  $\mu_0$  - динамічний коефіцієнт в'язкості газу при нормальних умовах,

Па·с;

$C'$  - постійна Сезерленда;

$T$  - абсолютна температура, К,  $T = 273 + t_r$ . [32]

Обчислюємо динамічний коефіцієнт в'язкості газу:

$$\mu_{\text{CO}_2} = 13,7 \times 10^{-6} \frac{273+254}{273+230+254} \left( \frac{273+230}{273} \right)^{1,5} = 23,85 \times 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{NO}_2} = 13,8 \times 10^{-6} \frac{273+128}{273+230+128} \left( \frac{273+230}{273} \right)^{1,5} = 21,93 \times 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{SO}_2} = 11,58 \times 10^{-6} \frac{273+306}{273+230+306} \left( \frac{273+230}{273} \right)^{1,5} = 20,73 \times 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 8,83 \times 10^{-6} \frac{273+673}{273+230+673} \left( \frac{273+230}{273} \right)^{1,5} = 17,76 \times 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{N}_2} = 16,65 \times 10^{-6} \frac{273+104}{273+230+104} \left( \frac{273+230}{273} \right)^{1,5} = 25,86 \times 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\mu_{\text{O}_2} = 19,1 \cdot 10^{-6} \frac{273+125}{273+230+125} \left( \frac{273+230}{273} \right)^{1,5} = 30,27 \times 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

Знаходимо динамічну в'язкість суміші:

$$\mu_{\text{см}} = (23,85 \times 18,5 + 21,93 \times 1,4 + 20,73 \times 6,4 + 17,76 \times 1,9 + 25,86 \times 67,6 + 30,27 \times 4,2) 10^{-6} / 100 = 25,07 \times 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Гідравлічний опір тканини, Па:

$$\Delta P_T = 4,6 \cdot 10^7 \times 0,029 \times 25,07 \times 10^{-6} = 33,44 \text{ Па}.$$

Гідравлічний опір шару пилю визначимо, прийнявши опір рукавного фільтру  $\Delta P = 2500$  Па, тоді:

$$\Delta P_{\text{ш.п.}} = 2500 - 25,07 - 33,44 = 2441,49 \text{ Па}.$$

Тривалість періоду фільтрування між двома регенераціями:

$$t_p = \frac{2050 (2500 - (4,6 \times 10^7) \times (2,84 \times 10^{-7}))}{4,6 \times 10^7 \times 0,02135 \times (3,186 \times 10^{-3})} = 1629,36 \text{ с} = 27,2 \text{ хв}.$$

Визначимо ефективність рукавного фільтру. Якщо прийняти залишкову запиленість газу  $z_2 = 15 \text{ мг/м}^3$ , виходячи з технічної характеристики роботи рукавного фільтру марки ФРІР-1200, тоді

$$\eta = (z_1 - z_2) / z_1$$

де  $z_1$  - запиленість на вході;

$z_2$  - запиленість на виході.[11]

$$\eta = (3,186 - 0,015) / 3,186 = 0,99 \text{ або } 99 \text{ \%}.$$

### 3.2 Вибір та розрахунок апаратів по утилізації пилю

Кількість вловленої пилю, т/год.:

$$M = \frac{(z_1 - z_2) \times V}{10^6} = \frac{(3,186 - 0,015) \times 25,62 \times 3600}{10^6} = 0,292$$

Визначаємо масу накопиченої пилю в бункері рукавного фільтру за формулою, т/доб.:

$$M_{\text{доб.}} = G_{\text{сух}} \times 24,$$

де  $G_{\text{сух}}$  – маса сухого пилю, т/год.

$$M_{\text{доб.}} = 0,292 \times 24 = 7 \text{ т/доб.};$$

Знаходимо загальний об'єм бункера – накопичувача пилю,  $\text{м}^3$ :

$$V_{\text{б.п.}} = \frac{M_{\text{доб.}}}{\gamma_{\text{нас.}}}$$

де  $\gamma_{\text{нас.}}$  – насипна маса пилю,  $\gamma_{\text{нас.}} = 750 \text{ кг/м}^3$ . [5].

$$V_{\text{б.п.}} = 7000 / 750 = 9,33 \text{ м}^3$$

1. Бункера для вивантаження пилу рукавного фільтру типу ФРІР 1000 наявні в кількості 1 шт, тоді одному пристрою для вивантаження обсяг пилу після очищення газу дорівнюватиме:

$$V_{\text{п.а.}} = Q_{\text{п}} = 9,33 \text{ м}^3$$

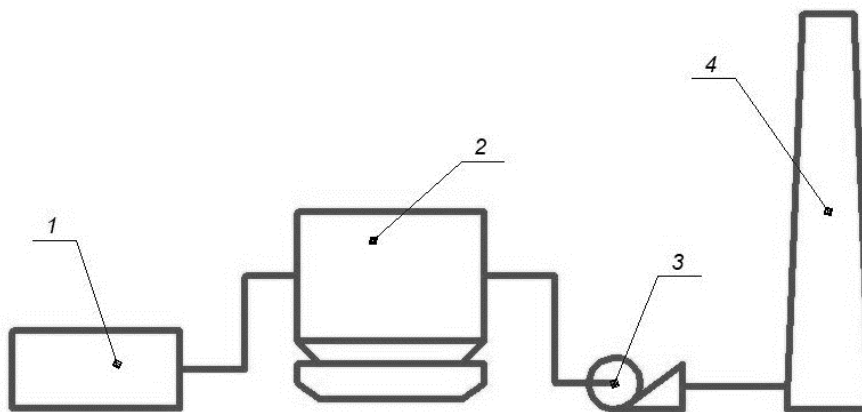
Виходячи з обсягу пилу після очищення газу для одного пристрою  $V_{\text{п.а.}} = 3,88 \text{ м}^3$ , приймаємо 1 пристрій для вивантаження пилу: шлюзовий живильник типу Ш5-30, технічна характеристика якого приведено в табл.3.55.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики шлюзового живильника [33]

Типовий розмір	Діаметр завантажувального штуцера, мм	Продуктивність, м <sup>3</sup> /ч	Ротор			Електродвигун		
			швидкість обертання, об/хв	діаметр, мм	ємність, м <sup>3</sup>	тип	потужність, кВт	швидкість обертання валу, об/хв
Ш5-30	250	1,74 – 16,57	2 - 19	300	0,0033	АИМ80В6	1,1	920

### 3.3. Аеродинамічний розрахунок газовідвідного тракту

На рисунку 3.3 наведена схема газовідвідного тракту.



1 – котел-утилізатор; 2 – рукавний фільтр; 3 – димосос; 4 – димова труба

Рисунок 3.3 – Аеродинамічна схема системи очищення газів

Вихідні дані:

1)  $q_{\text{р.у.}} = 25,62 \text{ м}^3/\text{с};$

2)  $t_{\text{г}} = 230^{\circ}\text{C};$

3)  $\rho = 0,792 \text{ кг}/\text{м}^3;$

$$5) P_1 = 95\,028 \text{ Па};$$

$$6) P_{p.f.} = 2500 \text{ Па}.$$

### 3.3.1 Розрахунок загального опіру

Загальний опір  $\Delta P$  складається з втрат тиску на тертя по довжині  $\Delta P_{\text{дов}}$  і втрат тиску на місцевих опорах  $\Delta P_{\text{місц}}$ :

$$\Delta P = \Delta P_{\text{дов}} + \Delta P_{\text{місц}}$$

Опір газопроводу по довжині:

$$\Delta P_{\text{дов}} = \lambda \times \frac{l}{d} \times \rho_{\Gamma} \frac{w^2}{2},$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт гідравлічного опору:

$$\lambda = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{d}}$$

Місцевий опір:

$$\Delta P_{\text{місц}} = \zeta \times \rho \times \frac{w^2}{2}$$

1. Розраховуємо діаметр початкової ділянки газоходу:

$$d = 1,13 \times \sqrt{\frac{q}{w}}$$

приймаємо  $w$  від 5 до 20 м/с,  $w = 18$  м/с.

$$d_2 = 1,13 \times \sqrt{\frac{25,62}{18}} = 1,348 \text{ м}$$

Приймаємо стандартний діаметр 1,425 м, тоді перерахуємо  $w$  :

$$w = 1,27 (q/d^2) = 1,27 (25,62 / 1,425^2) = 16,02 \text{ м/с}$$

Умовно розділимо газовий тракт на наступні ділянки в залежності від взаємного розташування джерела викидів, очисних апаратів, димової труби:

- ділянка 1 – котел-утилізатор – рукавний фільтр;
- ділянка 2 – рукавний фільтр – димосос;
- ділянка 3 – димосос – димова труба.

Визначимо довжини окремих ділянок.

Ділянка 1.

Довжина ділянки 1 = 25,5 м.



а) Визначимо втрати тиску на тертя по довжині  $\Delta P_{\text{дов}}$ :

$$\lambda = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{1,425}} = 0,032$$

$$\Delta P_{\text{дов}} = 0,032 \times \frac{25,5}{1,425} \times 0,792 \frac{16,02^2}{2} = 58,19 \text{ Па} \sim 59 \text{ Па}$$

б) Розраховуємо суму місцевого опору:

Місцеві опори на ділянці 1:

- секційне коліно 2 шт  $\zeta = 1,3$ .

- конфузор  $\zeta = 1,3$

- диффузор,  $\zeta = 0,1$ .

$$\Sigma \zeta = 0,1 + 1,3 + (1,3 \times 2) = 4$$

$$\Delta P_{\text{місц}} = 4 \times 0,792 \frac{16,02^2}{2} = 406,52 \sim 407 \text{ Па}$$

Загальний опір:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{дов}} + \Delta P_{\text{місц}} = 59 + 407 = 466 \text{ Па}$$

Ділянка 2.

Довжина ділянки 2 = 18,1 м.

а) Визначимо втрати тиску на тертя по довжині

$$\lambda = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{1,425}} = 0,032$$

$$\Delta P_{\text{дов}} = 0,032 \times \frac{18,1}{1,425} \times 0,792 \frac{16,02^2}{2} = 42,30 \text{ Па} \sim 43 \text{ Па}$$

б) Розраховуємо суму місцевого опору:

Місцеві опори на ділянці 2:

- диффузор,  $\zeta = 0,1$ .

- секційне коліно 2 шт  $\zeta = 1,3$ .

$$\Sigma \zeta = (1,3 \times 2) + 0,1 = 2,7$$

$$\Delta P_{\text{місц}} = 2,7 \times 0,792 \frac{16,02^2}{2} = 274,39 \sim 275 \text{ Па}$$

Загальний опір:

$$\Delta P = 43 + 275 = 318 \text{ Па}$$

Ділянка 3.

Довжина ділянки 3 = 8,4 м.

а) Визначимо втрати тиску на тертя по довжині

$$\lambda = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{1,425}} = 0,032$$

$$\Delta P_{\text{дов}} = 0,032 \times \frac{8,4}{1,425} \times 0,792 \frac{16,02^2}{2} = 19,17 \text{ Па} \sim 20 \text{ Па}$$

б) Розраховуємо суму місцевого опору:

Місцеві опори на ділянці 3:

- секційне коліно шт  $\zeta = 1,3$ .

$$\Delta P_{\text{міст}} = 1,3 \times 0,792 \frac{16,02^2}{2} = 132,12 \sim 133 \text{ Па}$$

Загальний опір:

$$\Delta P = 20 + 133 = 176 \text{ Па}$$

Результати розрахунків зведено в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати аеродинамічного розрахунку газового тракту

Номер ділянки	Діаметр, м	Швидкість газу, м/с	Довжина, м	Опір тертю, Па	Сума місцевих опорів, Па	Загальний опір, Па
1	1,425	16,02	25,5	59	407	466
2	1,425	16,02	18,1	43	275	318
3	1,425	16,02	8,4	20	133	176
Рукавний фільтр						2500
$\Sigma P_{\Delta}$						3460

Таким чином, обрано та розраховано принципіальну схему газоочищення, яка містить у своєму складі котел-утилізатор, рукавний фільтр. Дана схема газоочищення дозволяє забезпечити концентрацію пилу в газі на виході  $15 \text{ мг/м}^3$ . Виконано розрахунок газовідвідного тракту, загальний гідравлічний опір якого склав 3460 Па.

### 3.3.2 Вибір димососу

Димосос вибираємо на основі аеродинамічного розрахунку газовідвідного тракту.

1. Необхідна продуктивність димососу з урахуванням 10% запасу

$$V_{\text{д}} = 1,1 \times V \times \frac{101325}{9865,6} = 1,1 \times 25,62 \frac{101325}{9865,6} = 289,44 \text{ м}^3/\text{с}$$

На другій розрахунковій ділянці, де встановлюємо димосос,

$$Q_p = 298,44 \text{ м}^3/\text{с} = 1074384 \text{ м}^3/\text{год. за робочих умов}$$

Тоді:

$$Q_d = 1,1 \times 1074384 \times \frac{101,3}{101,3} = 1181822,4 \text{ м}^3/\text{год.}$$

2. Коефіцієнт перерахунку на каталожні умови димососа:

$$K = \frac{(273+T_r) \times 101325 \times p_{го}}{(273+T_b) \times 98652,6 \times p_{во}} = \frac{(273+220) \times 101325 \times 1,29}{(273+30) \times 98652,6 \times 1,29} = 1,67$$

Тиск, що створюється димососом (розрідження), приведене до умов каталогу, по якому вибирається димосос  $\Delta p_{кат}$ , приймається рівним [31]:

$$\Delta p_{кат} = \beta_2 \times \Delta p_p \times K_p = 1,2 \times 3460 \times 1,67 = 6933,84 \text{ Па}$$

де  $\beta_2$  – коефіцієнт запасу тиску. Приймаємо коефіцієнт запасу тиску  $\beta_2 = 1,2$  [32];

$\Delta p_p$  – сумарний опір газовідвідного тракту, отриманий в результаті аеродинамічного розрахунку  $\Delta p_p = 3460 \text{ Па}$ .

З каталогу відповідний димосос марки ДН-17, загальні основні характеристики якого:

- продуктивність 110 000 м<sup>3</sup>/ч;
- тиск 8 800 Па;
- потужність, 500 кВт;

### 3.4 Забезпечення функціонування проектного об'єкту

#### 3.4.1 Аналіз газоочисної системи, як об'єкта автоматизації

Ефективна робота газоочисної системи неможлива без її автоматизації, що сприяє підвищенню надійності роботи газоочисних апаратів в процесі знешкодження газів, що відходять від печей прожарювання.

Очищення технологічних газів здійснюється за наступною схемою. Гази від печей прожарювання направляються в котел-утилізатор типу Г1030Б. Потім гази по газоходу направляються за допомогою вентилятора в рукавний фільтр типу ФРІР-1200. Після рукавного фільтра газ надходить у димову трубу.

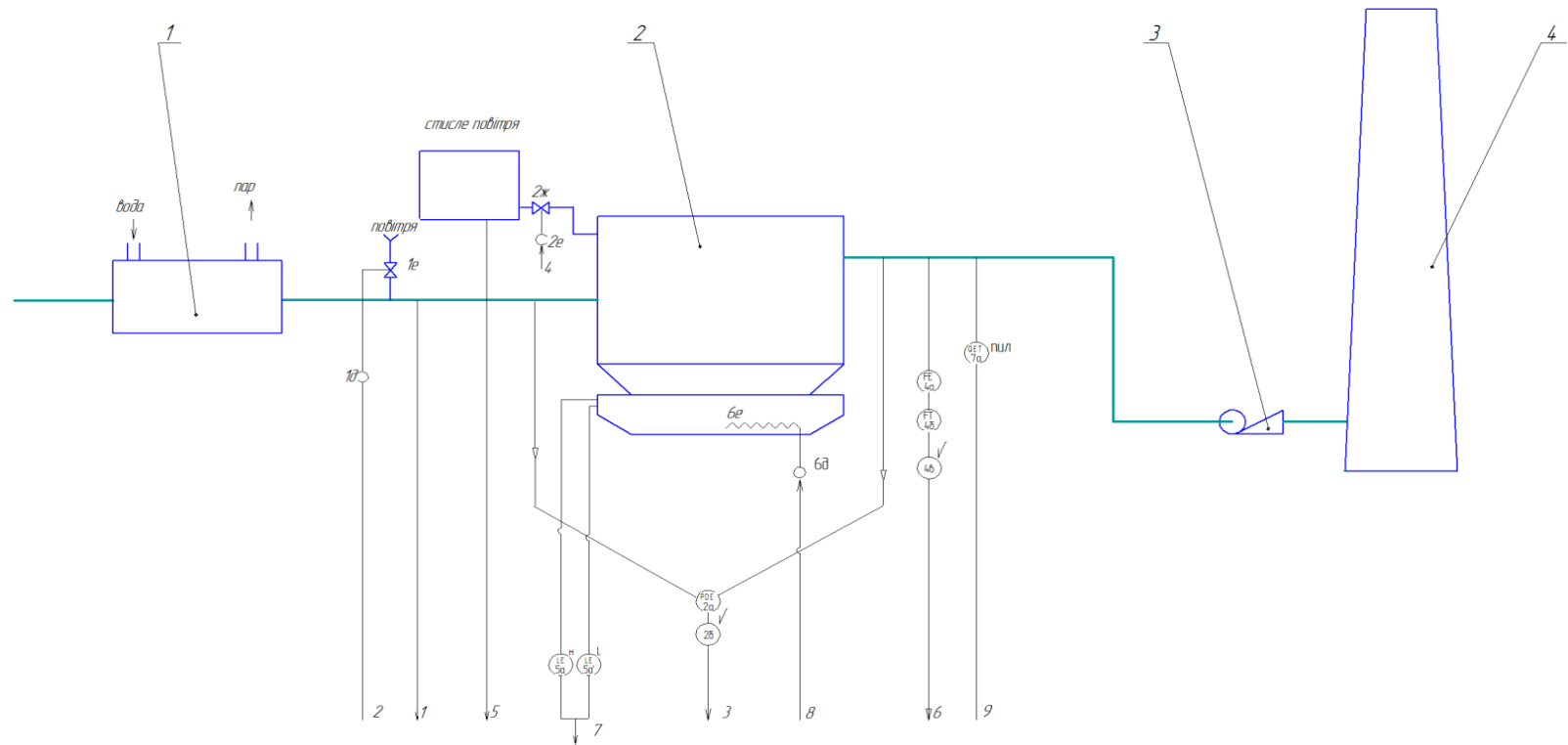
Котел-утилізатор типу призначений для зниження температури перед рукавним фільтром. Для запобігання прогару рукавів фільтра ФРІР необхідно регулювати температуру газового потоку.

Принцип дії рукавного фільтра полягає в наступному. Газ, що підлягає очищенню через колектор запиленого газу підводиться у нижню частину кожної секції й надходить усередину рукавів. Фільтруючись через тканину, газ проходить у камеру очищеного газу, звідки через відкритий відсічний клапан надходить у колектор чистого газу.

У початковий період роботи фільтра запилений газовий потік проходить через чисту тканину. Частки пилу осідають на зовнішній поверхні рукава. Далі на лобовій стороні фільтра починає формуватися суцільний шар із часток пилу. Які не можуть проникнути вглиб тканини. Цей вторинний шар починає сам затримувати частки пилу, у результаті його товщина поступово зростає, і він стає фільтруючим середовищем. У міру збільшення товщини шару часток пилу на фільтруючій поверхні росте й гідравлічний опір рукавного фільтра й пропускна здатність рукава погіршується. Для її відновлення необхідно здійснювати періодичну регенерацію фільтра. Регенерацію фільтра починають при досягненні встановленого верхнього рівня опору фільтра.

Основні закономірності процесу фільтрації дозволяють сформулювати завдання автоматизації рукавного фільтра: створення найбільш сприятливих умов для протікання фільтрації. При цьому рукавний фільтр працює з максимальною ефективністю очищення й має найкращі економічні показники при обмеженні обумовлених властивостями фільтруючого матеріалу, потужністю димососа. Основне завдання автоматизації може бути розділена на ряд приватних завдань, розв'язок яких дозволяє вибрати й стабілізувати раціональні режими роботи рукавного фільтра. До цих завдань відноситься керування процесом регенерації тканини, вивантаженням уловленого пилу.

Розроблена схема автоматичного контролю й регулювання процесу очищення технологічного газу представлена на рис. 3.4.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прилади на місці	TE <sub>1a</sub>	NS <sub>12</sub>	NS <sub>2a</sub>	NS <sub>2b</sub>	PI <sub>30a</sub>	PIA <sub>4a</sub>	LA <sub>3b</sub>	KS <sub>6a</sub> → FI <sub>6b</sub> → FI <sub>6b</sub>	BR <sub>7a</sub> пил
Прилади на щиті	PIA <sub>1b</sub> → PI <sub>1b</sub>		PS <sub>2b</sub> → PD <sub>2c</sub>	PI <sub>30b</sub>	FIA <sub>4a</sub>	LA <sub>3b</sub>	KS <sub>6a</sub> → FI <sub>6b</sub> → FI <sub>6b</sub>		BR <sub>7a</sub> пил
Параметр	температура		перелад тиску	тиск	витрата		рівень пилу у бункері		заповненість

1 – котел-утилізатор; 2 – рукавний фільтр; 3 – димосос; 4 – димова труба

Рисунок 3.4 Схема автоматичного контролю та регулювання системи газоочищення

Для регулювання температури газу перед рукавним фільтром передбачена установка первинного перетворювача типу ТСМ-0879-01 (поз. 1а), на щиті – вторинний перетворювач типу Ш 69000 (поз. 1б). Далі сигнал надходить на регулятор Ш 4524 (поз. 1в). За допомогою пускача ПБР-2М (поз. 2г) сигнал направляється на виконавчий механізм МЭО-16/10-0,25-82 (поз. 2д), що приводить у рух засувку (поз. 1е).

Для регулювання процесу регенерації рукавного фільтра (при досягненні гідравлічного встановленого опору) передбачена установка первинного перетворювача типу Сапфір – 22ДД (поз. 2а) з блоком добування корення (2б), на щиті – вторинний перетворювач типу РП – 160 –1р (поз. 2в), що включає обладнання світлової сигналізації. Вихідний сигнал регулятора БРЕ-1 (поз. 2 г) надходить на виконавчий механізм МЭО – 16/25-0,63-82 (поз. 2е) (керований за допомогою магнітного пускача ПБР – 1д, а далі – регулювальний орган – електромагнітний клапан (поз. 2 е).

Для контролю системи стисненого повітря здійснюється контроль тиску в газоході стисненого повітря. На місці встановлюємо дифманометр типу Сапфір 22 (поз.3а), на щиті вторинний перетворювальний прилад РП-160 (поз.3б). Витрата газу вимірюється за допомогою первинного вимірювального приладу (4а,4б, 4в). Даний прилад складається з первинного вимірювального перетворювача ДК-6 (поз. 4а), вимірювального перетворювача РП-2 (поз. 4б), блока добування корення БИК-1 (поз. 4в). Далі сигнал надходить на вторинний прилад Диск 250 модель 1111 (поз.4 г). Рівень пилу в бункерах рукавного фільтру (на схемі показано 1 бункер) контролюється за допомогою СУС (поз. 5а,5б). По витіканню часу командоапарат (поз. 6а) посиляє сигнал на пускач ПБР -2М (поз. 6г). Далі сигнал надходить на виконавчий механізм МЭО – 16/25-0,63-82 (поз. бд), керуючий регулювальним органом виступає шнековий конвеєр (поз. 6е). Контроль запиленості на виході з газоочисної системи здійснюється пиломіром у комплекті з пилезбірним обладнанням ПК-4 (поз. 7а). Вторинним вимірювальним приладом є потенціометр КСУ-2-0022 (поз. 7б) [12].

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Виробництво ... пов'язано з підвищеною небезпекою для працюючих в цехах, яка обумовлена наявністю або можливістю виникнення потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

Небезпечні фізичні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі машини і механізми; рухомі частини виробничого обладнання;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці ПДР = 80 дБ;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищена або знижена вологість повітря;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- недостатня освітленість робочої зони ПДР = 300 лк.

Небезпечні хімічні та шкідливі виробничі фактори за характером впливу на організм людини:

- токсичні;
- дратівливі;
- канцерогенні.

По дорозі проникнення в організм людини через:

- органи дихання;
- шлунково-кишковий тракт;
- шкірні покриви і слизові оболонки.

Гранично допустима концентрація (ГДК) на робочих місцях:

- смолисті возгони - 0,2 мг / м<sup>3</sup>;

- в тому числі бенз(а)пірен - 0,0015 мг / м<sup>3</sup>;
- пил вуглецевий - 6 мг / м<sup>3</sup>;

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого й трудового процесу

Професія: кранівник

№	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норматив. значення (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	III клас Шкідливі та небезпечні умови та характер праці			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> Загазованість повітря СО	20 мг/м <sup>3</sup>	15 мг/м <sup>3</sup>				80
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4	4				80
3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	92	80	4,6 p			90
4	Шум, дБА	80	65 дБА				80
5	Інфразвук, дБ						
6	Ультразвук, дБ						
6	Мікроклімат в приміщенні в теплий період року						
	- температура повітря, °С	15...26	>90°С				90
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2...0,6	0,4			10	80
	- відносна вологість повітря, %	<75	55	1,5p			
	- інфрачервоне випромінювання,	140	120				90
7	Атмосферний тиск				560		
8	Важкість праці	2	2				

## 4.2 Заходи з поліпшення умов праці

Технічними вимогами з охорони праці призначений усунення причин нещасних випадків і професійних захворювань.



Об'єм виробничого приміщення на кожного працюючого становить не менше 15 м<sup>3</sup>, площа кожного приміщення не менше 4,5 м<sup>2</sup>, а висота виробничого приміщення не менше 3,2 м.

На робочих місцях обов'язково наявність засобів колективного захисту:

- Засоби нормалізації повітряного середовища;
- Засоби штучного освітлення;
- Засоби захисту від тепловипромінювання;
- Засоби захисту від ураження електричним струмом (огорожі, ізолюючі пристрої і покриття, застосування розділяючих трансформаторів, пристрої вирівнювання потенціалів і зниження напруги, пристрої дистанційного управління, запобіжні пристрої, знаки безпеки;
- Засоби захисту від високих і низьких температур;
- Засоби захисту від впливу механічних факторів;
- Засоби захисту від впливу хімічних чинників;
- Засоби захисту від шуму.

Засоби індивідуального захисту захищають працюючих від отруєння та професійних захворювань, а також запобігають можливість ураження електричним струмом, тепловими та іншими випромінюваннями.

У виробничих приміщеннях виробляти робіт в спецодезі з використанням засобів індивідуального захисту:

- каска в усіх виробничих приміщеннях;
- протишумові навушники (беруші) - в приміщенні ШБМ, дробарок;
- респіратор у всіх приміщеннях (при роботі в зонах впливу парів пеку, поглинального масла, респіратор, що охороняє від дії парів);
- гумові рукавички;
- захисні окуляри;
- захисні пасти і мазі в зонах підвищеної концентрації парів пеку поглинального масла.

### 4.3 Виробнича санітарія

Стелі, стіни, обладнання у виробничих будівлях і приміщеннях офарблюємо в кольори холодних тонів. В приміщеннях не мають природного освітлення і неопалюваних в кольори теплих тонів. Для влаштування підлог застосовуємо матеріали, що дозволяють створити неслизьку і гладку поверхню.

У виробництвах з виділенням пилу прибирання приміщень механізоване за допомогою стаціонарних або пересувних пиłosосних установок.

Побутові приміщення поміщаємо поза цехом. При великій кількості робочих ці приміщення поміщаємо в окремо розташованих будинках з'єднаних з цехом роздільної галереєю.

Приміщення для відпочинку обладнані умивальниками з підведенням гарячої та холодної води, пристроями питного водопостачання сатураторами. З метою зниження шкідливого впливу надлишкового тепла на організм людини приймаємо газовану підсолону воду, що містить 0,5% кухонної солі, з розрахунку 4 - 5 літрів на людину в зміну.

Відстань від робочих місць до пристроїв водопостачання не перевищує 75 метрів. Для підтримки заданої температури в кімнатах відпочинку встановлюємо утеплюють пристрої, охолоджуючі пристрої або природна вентиляція.

Робота дробарок і кульового млина обумовлена високим рівнем шуму, що також негативно позначається на здоров'ї і працездатності персоналу. Для захисту від шуму передбачені наступні заходи:

- екранування обладнання шумоізолюючими і шумопоглинаючими матеріалами;
- дистанційне спостереження і керування роботою обладнання;
- застосування засобів індивідуального захисту.

Поряд з небезпечними хімічними речовинами при дробленні, грохоченні і подрібненні нафтового коксу утворюється велика кількість пилу, яка ускладнює виробничий процес і є небезпечним виробничим фактором.

При випалюванні коксу виділяється діоксид сірки який може викликати отруєння людини, а також надлишкової теплоти, яка викликає перегрів людини і втрату свідомості.

Для захисту персоналу від запиленості та загазованості передбачені наступні заходи:

- застосування місцевої припливно-витяжної вентиляції, повітряних завіс, бортових відсмоктувачів;
- герметизація устаткування;
- екранування обладнання або робочих місць;
- застосування засобів індивідуального захисту.

Опалення в виробничих приміщеннях слід передбачати повітряне поєднане з приточною вентиляцією, або водяне із застосуванням нагрівальних приладів. Поверхня нагрівальних приладів повинна бути гладкою, легкодоступною для чищення. Технологічне обладнання, в процесі роботи якого можливі виділення шкідливих речовин у повітря виробничих приміщень, повинно бути обладнане місцевою витяжною вентиляцією (укриття, кожухи, щілинні відсмоктувачі, козирки, витяжні парасольки, всмоктувальні лійки тощо), що залежить від конструкції обладнання. Робота місцевих витяжних установок повинна бути зблокована з роботою обслуговуючого обладнання.

Об'єднання в загальну аспіраційну систему відсмоктувачів від обладнання та устаткування, що є джерелом виділення смолистих речовин, органічних розчинників, не допускається.

При розрахунку продуктивності аспіраційних установок повинен прийматися запас в 10% на подсосы повітря через нещільності. Продуктивність аспіраційної установки повинна розраховуватися на одночасну роботу всіх приєднаних до неї місцевих відсмоктувачів. Видалення

пилу у відділенні механічної обробки вугільних, графітованих виробів УКМ і у відділеннях сортування і фізико-механічних випробувань УВМ повинно проводитися спеціальними пилоприймачі, приєднаними до систем пневмотранспорте.

При проектуванні загальнообмінної вентиляції необхідно керуватися наступною схемою: у виробництві вугільних і графітованих виробів (дозуючо-змішувальне, пресове відділення), у виробництві УКМ (дільниці приготування препрега, автоклавного затвердіння, распрессовки) механічний приплив слід подавати у верхню зону, 2/3 механічної витяжки здійснювати з нижньої зони і 1/3 з верхньої; в прожарюванном, розмеленого, змішуючом, обжиговом, відділеннях графітації, механічною обробки вуглепластиком механічний приплив слід подавати вище робочої зони, а витяжку здійснювати з нижньої зони. у відділенні випалу необхідно влаштовувати примусовий приплив повітря, що відходять від печі гази очищати в електрофільтрах, або допалювати (окисляє) в спеціальних установах.

У виробництві УВМ: чистку пічної арматури проводити у місцях, обладнаних місцевими витяжними пристроями типу витяжного шафи; сортувальні столи обладнувати місцевою витяжною вентиляцією з похилими панелями рівномірного всмоктування. У приміщеннях, де виділяються речовини I-II класу небезпеки, рециркуляція віддала для систем вентиляції кондиціонування і повітряного опалення не допускається. Місце забору припливного повітря слід вибирати, взявши до уваги розу вітрів і джерела забруднень повітря технологічними та вентиляційними викидами розміщених на майданчику цехів, з навітряного боку відносно джерел забруднення. Для роздачі припливного повітря в приміщеннях з пиловиділенням слід передбачати повітророзподільники з швидким загасанням швидкості приточного струменя.

Кондиціонування приміщення не повинні повідомлятися із приміщеннями, що мають постійно відкриті прорізи, ворота, двері.

Кабіни кранівників повинні бути обладнані вентиляцією згідно з "Санітарними правилами по влаштуванню і обладнання кабін машиністів кранів". Для прибирання пилу з устаткування і будівельних конструкцій приміщення слід проектувати централізовані пилоприбиральні установки.

Параметри мікроклімату на робочих місцях повинні відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень. Вимоги до освітлення Природне і штучне освітлення у виробничих і допоміжних приміщеннях повинно відповідати главі Сніп "Природне і штучне освітлення. Норми проектування" та змін до неї. Штучне освітлення в прожарюванном, дробильно-розмеленого. Локалізоване розташування світильників слід застосовувати в приміщеннях транспортних галерей у майданчиків технологічного обладнання, у приміщеннях переробки, пересипка і приготування шихти.

Комбіновану систему освітлення (загальне рівномірне і місцеве освітлення) необхідно передбачати в приміщеннях вузла дозування, на майданчику змішувальних машин, пресів, на дільницях ручний викладки і намотування препрега, волокна, джгута, автоклавування, механічної обробки вуглепластиків, вугільних і графітованих заготовок.

Для загального освітлення виробничих приміщень слід використовувати газорозрядні джерела (типу ДРЛ або ДРІ). Для освітлення диспетчерських пультів, кімнат відпочинку, пультів управління технологічними процесами слід застосовувати люмінесцентні лампи ЛБ. Лампи розжарювання необхідно застосовувати переважно для місцевого освітлення.

Аварійне освітлення необхідно передбачати в основних виробничих приміщеннях. У приміщеннях дробильно-розмельного, змішувального-пресового, прожарювального, обпалювального переділів зовнішнє скління слід виконувати з склоблоків. Чистку заповнень світлових прорізів і світильників виробляти 4 і 18 разів на рік відповідно. Контроль освітленості слід проводити не рідше одного разу в рік, а також при введенні освітлювальної установки, після її реконструкції відповідно

На підприємствах повинні бути передбачені механічна прання, хімчистка, ремонт і сушіння спецодягу і спецвзуття, а також знепилювання. При проведенні робіт, пов'язаних з інтенсивним пилогазовиділенням, робітники повинні бути забезпечені фільтрувальними респіраторами та протигазами, марки коробок яких повинні підбиратися в залежності від складу виявляються в повітря робочої зони шкідливих речовин.

Робочі завантаження-вивантаження випалювальних і графітованих печей повинні забезпечуватися спецодягом та спецвзуттям із термостійких матеріалів із захисними носками (напівчоботи з глухим клапаном і застібкою).

Робітники виробничих ділянок, в яких зазначається підвищений рівень шуму, повинні забезпечуватися засобами індивідуального захисту органів слуху.

Відповідно до вимог санітарних норм параметри повітряного середовища для робочої зони виробничих приміщень

Таблиця 4.2 – Значення нормованих параметрів повітряного середовища в робочій зоні виробничих приміщень

Характеристика виробничих приміщень за надлишковими тепловиділеннями (більш або менш 23 Вт/м <sup>3</sup> )	Категорія роботи по тяжкості	Період року (теплий, холодний)						Температура повітря поза постійних робочих місць, Т, °С	
		На постійних робочих місцях							
		Температура повітря, t, °С		Відносна вологість повітря, φ, %		Швидкість руху повітря, W, м/с			
Більш 23 Вт/м <sup>3</sup>	2 Середньої важкості	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
		Холодний період							
		16-25	3-19	0-60	75	0,3	Не більше 0,4	19-22	12-20
		Теплий період							
		18-35	15-26	40-60	75	0,4	0,2-0,6	22-24	13-28

#### 4.4 Електробезпека

Всі конструктивні елементи обладнання повинні бути надійно заземлені. Усі струмопровідні частини надійно заізолювані від можливого з'єднання з корпусом обладнання. Порушення ізоляції призводить до того, що одночасний дотик до конструкцій, що знаходяться під потенціалом і до

заземленим предметів викликає протікання електричного струму через тіло людини. Сила струму вище 0,1А є смертельною для людини.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом передбачені наступні заходи:

- Електрична ізоляція;
- Заземлення або занулення корпусів обладнання;
- Застосування огорожувальні засоби захисту;
- Застосування заборонних та попереджувальних знаків безпеки;
- Застосування запобіжних захисних засобів.

До роботи з електроустановками допускаються особи, не мають медичних протипоказань, встановлених Міністерством охорони здоров'я СРСР, та пройшли інструктаж, навчання безпечним методам праці і перевірку знань правил безпеки та інструкцій відповідно до займаної посади.

Для забезпечення електробезпеки робіт передбачені наступні організаційні заходи: призначення осіб, відповідальних за організацію та проведення робіт; оформлення наряду чи розпорядження на проведення робіт; допуск до проведення робіт; організація нагляду за веденням робіт; оформлення закінчення роботи, перерв у роботі, переведення на інші робочі місця.

Кранівник повинен бути забезпечений захисними засобами. За ступенем надійності ізолюючі захисні засоби поділяються на основні та додаткові. Основними вважаються захисні засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу установки і робить допустимим безпосередній дотик до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою. Додаткові захисні засоби служать для посилення дії основних засобів та захисту від напруги дотику і крокової напруги. У кранових електроустановках основними захисними засобами є ізоляційні рукавички, а додатковими - ізоляційні калоші і килимки.

#### 4.5 Пожежна безпека

Пожежі на підприємствах представляють велику небезпеку для працюючих і можуть заподіяти величезний матеріальний збиток. Заходи щодо пожежної профілактики поділяються на організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають правильну експлуатацію машин і внутрішньозаводського транспорту, правильне утримання будівель, території, протипожежний інструктаж робітників і службовців, організацію добровільних пожежних дружин, пожежно-технічних комісій, видання наказів з питань посилення пожежної безпеки і т. д.

До технічних заходів належать, дотримання протипожежних правил, норм при проектуванні будівель, при влаштуванні електропроводів і обладнання, опалення, вентиляції, освітлення, правильне розміщення обладнання.

Заходи режимного характеру — це заборона паління у невстановлених місцях, виробництва зварювальних та інших вогневих робіт у пожежонебезпечних приміщеннях і т. д.

Експлуатаційними заходами є своєчасні профілактичні огляди, ремонти і випробування технологічного обладнання.

Видалення газів і диму з палаючих приміщень виробляється через віконні отвори, аераційні ліхтарі, а також за допомогою спеціальних димових люків, легкоскридних конструкцій. Димові люки призначені для видалення продуктів горіння, забезпечення незадимленої суміжних приміщень і управління процесами горіння на пожежах (з тим, що - б надати полум'я бажане напрямом).

Димові люки встановлюють в підвальних приміщеннях, в перекриттях складських і бесфонарних виробничих будівель. У практиці гасіння пожеж найбільше поширення одержали наступні принципи припинення горіння: 1) ізоляція вогнища горіння від повітря чи зниження шляхом розведення повітря негорючими газами концентрації кисню до значення, при якому не може



відбуватися горіння; 2) охолодження вогнища горіння нижче Визначених температур; 3) інтенсивне гальмування (інгібірування) швидкості хімічної реакції в полум'ї; 4) механічний зрив полум'я в результаті впливу на нього сильного струменя газу чи води; 5) створення умов вогнеогорожних, тобто таких умов, при яких полум'я поширюється через вузькі канали.

Апарати пожежогасіння поділяють на пересувні (пожежні автомобілі), стаціонарні установки і вогнегасники (ручні до 10 л і пересувні або стаціонарні об'ємом понад 25 л).

Вогнегасники по виду вогнегасних засобів поділяють на рідинні, вуглекислотні, хімпінні, повітряно-пінні, порошкові і комбіновані.

Пожежні сповіщувачі перетворюють неелектричні фізичні величини (випромінювання теплової і світлової енергії, рух частинок диму) в електричні, які у вигляді сигналу певної форми направляються по проводах на приймальну станцію. За способом перетворення пожежні сповіщувачі підрозділяють на параметричні, перетворюють неелектричні величини в електричні з допомогою допоміжного джерела струму, і генераторні, в яких зміна неелектричної величини викликає появу власної ЕРС.

Сповіщувачі пожежі поділяють на прилади ручної дії, призначені для видачі дискретного сигналу при натисканні відповідної пускової кнопки, і автоматичного дії для видачі дискретного сигналу при досягненні заданого значення фізичного параметра (температури, світлового спектру випромінювання, диму та ін).

В залежності від того, який з параметрів газоповітряного середовища викликає спрацьовування пожежного сповіщувача, вони бувають: теплові, світлові, димові, комбіновані, ультразвукові. За виконанням пожежні сповіщувачі ділять на нормального виконання, вибухобезпечні, іскробезпечні, герметичні; за принципом дії — максимальні і диференціальні.

Можливість виникнення звичайних пожеж в цеху виробництва вкрай обмежена, так як конструктивні елементи будівель виконуємо з вогнетривких матеріалів.

Таким чином, основні заходи з профілактики пожежної безпеки в цеху виробництва направляємо на запобігання загорянь нафтового коксу кам'яновугільного пеку та теплоносія. За ступенем пожежної небезпеки цех виробництва відносять до категорії П-І.

Якщо пожежа виникає поза корпусу електролізу, його ліквідують шляхом застосування води, піни, вуглекислого газу тощо

Для кожного переділу, дільниці та служби в цеху розробляють інструкцію пожежної безпеки. Ступінь вогнестійкості будівель І з часом вогнестійкості 2,5 години.

#### 4.6 Захист від запиленості та загазованості виробничих приміщень

При впливі при виробництві речовин на організм людини настає отруєння і втрата працездатності або смерть людини.

Поряд з небезпечними хімічними речовинами при дробленні, грохочення і подрібненні нафтового коксу утворюється велика кількість пилу, яка ускладнює виробничий процес і є небезпечним виробничим фактором.

При випалюванні коксу виділяється діоксид сірки який може викликати отруєння людини, а також надлишкової теплоти, яка викликає перегрів людини і втрату свідомості.

Для захисту персоналу від запиленості та загазованості передбачені наступні заходи:

- застосування місцевої припливно-витяжної вентиляції, повітряних завіс, бортових відсмоктувачів;
- герметизація устаткування;
- екранування обладнання або робочих місць;
- застосування засобів індивідуального захисту.

4.7 Розрахунок системи припливно – витяжної вентиляції кабіни закритого типу мостового крану з використанням осьового вентилятора

Кабіна ГПМ (крану) – це основне робоче місце з якого кранівник керує його роботою, тобто спостерігає за до знімних вантажозахоплювальних

органом і вантажем, забезпечуючи безпеку знаходяться в робочій зоні людей, збереження обладнання і споруд [27].

Для забезпечення нормальних умов і безпеки праці кабіна управління ГПМ повинна відповідати вимогам з електробезпеки, ергономіці, пожежної безпеки, санітар - но – гігієнічним нормам.

Санітарно – гігієнічні умови в кабіні визначаються сукупністю характеристик за ступенем забрудненості повітря, мікроклімату, освітлення, шуму і вібрації. Ці характеристики, як правило, не повинні перевищувати відповідних допустимих значень, зазначених у нормативних документах [27-9].

Для забезпечення необхідних санітарно – гігієнічних умов роботи кранівника велике значення має конструктивне виконання кабін управління, конструкція яких представлена на рис. 41.

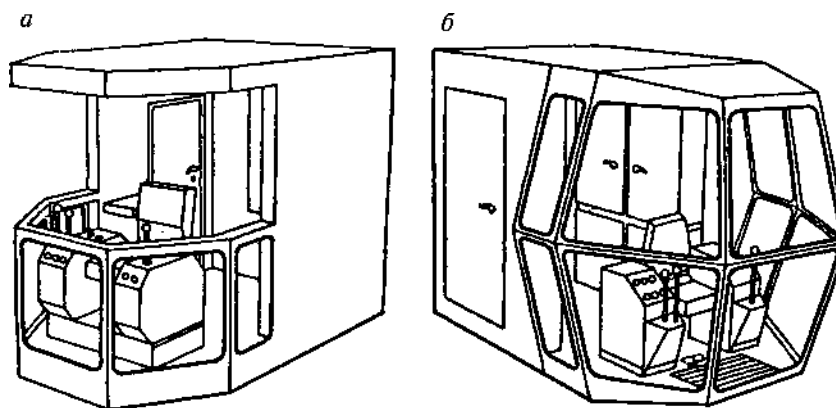


Рисунок 4.1 – Відкрита (а) і закрита (б) кабіни управління

Відкриті кабіни встановлюють в основному на кранах, робота - датків у приміщеннях, за умови, що в зоні, де нормовані параметри забруднення повітря і шуму перевищують допустимі, робота крана триває не більше 20% робочого часу в зміну.

Закрита кабіна у передній частині має ліхтар, який конструюють таким чином, щоб забезпечити коефіцієнт обзорності (відношення площі скління до площі ліхтаря) не менше 0,8. Рекомендовані кути огляду в основній зоні для стаціонарних закритих кабін баштових і порталних кранів складають

60 – 30°, мостових та козлових кранів – 45 – 30°. Для гарячих це - хів і умов холодного клімату рекомендується подвійне скління. При роботі в кабіні виділяються діоксид вуглецю, пари вологи і тепло від самого кранівника, а також ззовні можуть потрапляти речовини, використовувані у відповідному виробництві, де працює ГПМ. Крім того, в умовах сонячної інсоляції, за рахунок процесу радіації може виникнути, особливо в літній час, надлишок явного тепла. В зимовий період року, навпаки, може виникнути дефіцит тепла.

При обмеженому робочому просторі, чим є внутрішній об'єм кабіни управління, наявність перерахованих вище факторів може призвести до перевищення допустимих значень забруднення і мікрокліматичних показників повітря.

Найбільш поширеною заходом щодо забезпечення допустимого рівня забруднення повітря та параметрів мікроклімату є використання вентиляції та опалення.

Вентиляція в кабіні застосовується, як правило, припливно - витяжна з використанням осьового вентилятора. Швидкість руху повітря в кабіні повинна бути 0,1 – 0,3 м/с.

Вихідні дані:

1. Габарити кабіни:
  - висота кабіни = 2,0 м<sup>2</sup>;
  - ширина кабіни = 1,2 м<sup>2</sup>;
  - довжина кабіни = 2,2 м<sup>2</sup>;
2. n-1 – кількість тих, що працюють;
3. скління кабіни – одинарне безпрослойне в металевій палітурці;
4. скління кабіни – 30 % (звичайне забруднення стек- ла, лицьова і бічна сторони кабіни);
5. середня температура січня – «-2,8°C», липня «+23,8°C»;
6. атмосферний тиск – 760 мм.рт.ст.;
7. характер виконуваної роботи – фізична середня;
8. температура повітря в кабіні – зимою «+25°C», літом «+35°C»;

9. розташування кабіни по відношенню до сторін світла – Південно – Схід.

При знаходженні кранівника в кабіні під час роботи може виникнути надлишок тепла і вологи від нього, а також нагріваючи кабіни від сонячної радіації. Тепловтрати можуть відбуватися в перехідний і зимовий період року.

Визначаємо кількість повітря, необхідного для видалення двоокису вуглецю, що виділяється, по формулі:

$$L_{CO_2} = \frac{G_{CO_2} \times 10^{-3}}{K_d - K_{пр}},$$

де:  $G_{CO_2}$  – кількість  $CO_2$ , що виділяється, за 1 годину;

$$G_{CO_2} = n \times z$$

де:  $n$  - кількість людей в кабіні;

$Z$  - кількість двоокису вуглецю, що виділяється, від однієї людини, г/год; залежить від характеру виконуваної роботи, для роботи середньої важкості  $Z = 0,51$  г/год ;

$K_d$  - гранично-допустима концентрація  $CO_2$  в повітрі робочої зони, мг/м<sup>3</sup>– 20;

$K_{пр}$  - кількість шкідливих речовин ( $CO_2$ ) що залишаються в кабіні, приймається  $0,3 \times K_d$ .  $K_{пр} = 0,3 \times 20 = 6$

$$G_{CO_2} = 1 \times 51 = 51 \frac{\text{г}}{\text{год}};$$

$$L_{CO_2} = \frac{51 \times 10^{-3}}{20 - 6} = 0,0036 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Кількість повітря, необхідного для видалення зайвої вологи визначається за формулою:

$$L_{ВЛ} = \frac{G_{ВЛ} \times 10^{-3}}{\gamma \times (d_y - d_{п})}$$

де:  $G_{ВЛ}$  - кількість вологи, що виділяється в повітря, кг/ч;

$\gamma$  - питома вага припливного повітря при заданій температурі, кг/м<sup>3</sup> (таблиця. 4.4);

$d_v$  і  $d_{п}$  - вміст вологи в повітрі, що видаляється і подається в кабіну, г/кг (таблиця. 4.3);

Таблиця 4.3 Вміст вологи в повітрі при різних температурах

Температура, °С	Вміст вологи в повітрі ( $d_v, d_{п}$ ), г/кг
-15	1, 1
-10	1, 7
-5	2, 6
0	3, 8
+ 5	5, 4
+ 10	7, 5
+ 15	10, 5
+ 20	14, 4
+ 25	19, 5
+ 30	20, 3
+ 35	35, 0
+ 40	46, 3

Таблиці 4.4 - Питома вага припливного повітря  $\gamma$  при різній температурі і тиску

Температура повітря, °С	Вага 1м <sup>3</sup> сухого повітря в кг при атмосферному тиску, мм. рт. ст.	
	760	760
-25	1 424	1 393
-20	1 396	1 366
-15	1 368	1 341
-10	1 342	1 316
-5	1 317	1 291
0	1 293	1 267
+ 5	1 270	1 244
+ 10	1 248	1 223
+ 15	1 226	1 202
+ 20	1 205	1 181
+ 25	1 185	1 162
+ 30	1 165	1 141
+ 35	1 146	1 123
+ 40	1 128	1 106

Кількість вологи визначається за формулою:

$$G_{вл} = \frac{\omega \times n}{1000}$$

де:  $\omega$  - кількість вологи що виділяється організмом людини в перебігу однієї години, г/ч, г/год;

$n$ -кількість людей, що працюють у приміщенні.

Кількість вологи, що виділяється кранівником ( $\omega$ ), залежить від характеру виконуваної роботи і температури навколишнього повітря (табл.2.2)

Характер виконуваної роботи	Температура середовища в кабіні, °С									
	15		20		25		30		35	
	q	$\omega$	q	$\omega$	q	$\omega$	q	$\omega$	q	$\omega$
У спокої	100	40	70	45	50	50	30	80	0	130
Фізично легка	100	65	70	70	60	125	30	140	0	235
Фізично середня	110	110	80	160	70	180	35	230	0	290
Фізично важка	110	185	80	200	80	300	35	350	0	430

$$G = \frac{\omega \times n}{1000} = \frac{180 \times 1}{1000} = 0,12 (\text{кг/год}) \text{ для холодного період року;}$$

$$G = \frac{\omega \times n}{1000} = \frac{230 \times 1}{1000} = 0,23 (\text{кг/год}) \text{ на теплого період року;}$$

- Для холодного періоду року:

$$L_{\text{ВЛ}} = \frac{0,18}{1,185 \times (19,5 - 3,128) \times 1000} = 9,6 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{год}$$

- Для теплого періоду року:

$$L_{\text{ВЛ}} = \frac{0,23}{1,146 \times (35 - 18,28) \times 1000} = 12 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначити кількість повітря, необхідне для видалення надлишку тепла з кабіні оператора, згідно з формулою (2,5).

$$Q_{\text{ИЗБ}} = Q_{\text{ПР}} - Q_{\text{РАСХ}}, \text{ для зимового і перехідного періоду року, ккал/год;}$$

$$Q_{\text{ИЗБ}} = Q_{\text{ПР}}, \text{ для теплого періоду року, ккал/ч;}$$

Тепловтрати кабіні в зимовий період року:

$$Q_{\text{РАСХ}} = F \times K \times (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) h$$

де:  $F$  – бічна поверхня кабіні,  $\text{м}^2$  ;

$K$  - коефіцієнт теплопередачі конструкції обгороджування,  $\text{ккал/м}^2 \text{ година } ^\circ\text{С}$ , приймаємо рівним 0,9;

$h$  - поправочний коефіцієнт до розрахункової різниці температур, приймаємо рівним 0,8;

$t_{в}$  – температура внутрішнього повітря в кабіні °С;

$t_{н}$  – температура зовнішнього повітря °С;

$$Q_{ПР} = Q_{ЧЕЛ} - Q_{РАД.СОЛ}$$

Кількість тепла, що виділяється людиною, становить ккал/год.

$$Q_{ЧЕЛ} = n \times q$$

де:  $q$  – кількість тепла, що виділяється особою в залежності від характеру виконаної роботи, ккал/год (табл. 2,2);

$n$  – кількість людей в кімнаті.

$$Q_{ЧЕЛ} = 1 \times 70 = 70 \text{ ккал/год}$$

$Q_{РАД.СОЛ.}$  - тепло, що вноситься променистою енергією сонця через зовнішні обгороджування кабінки. Кількість тепла, що поступає за рахунок сонячної радіації, визначається по формулах:

Оцінка сонячного випромінювання визначається формулами:

-для зашкленених поверхонь:

$$Q_{РАД}^{СТ} = F_0 \times q_0 \times A_0$$

-для покриттів:

$$Q_{РАД}^{ПОК} = F_n \times q_n \times A_n$$

де:  $F_0, F_n$  - площі скління і елементів обгороджуванні зон скління кабінки ( $F_0 = 0,2 \times 0,4$  площі бічної поверхні кабінки  $F, F = F_0 + F_n$ ), м<sup>2</sup> ;

$q_0, q_n$  - величина сонячної радіації проходить через 1м<sup>2</sup> поверхні скління або покриття , ккал/год×м<sup>2</sup>;  $q_0 = 186, q_n = 15$ ;

$A_0$  - коефіцієнт, що враховує характер скління,  $A_0 = 0,8$ ;

$K^n$  - коефіцієнт теплопередачі покриття, приймаємо рівним 0,8 ккал/м<sup>2</sup> годину, °С.

$$F_0 = 0,3 \times F = 0,3 \times 2 \times (1,2 \times 2 \times 2,2) = 3,36 \text{ м}^2$$

- для зимового і перехідного періоду року

$$Q_{РАД}^{СТ} = 3,36 \times 186 \times 0,8 = 500 \text{ ккал/год}$$



$$F_n = F - F_0 = 11,2 - 3,36 = 7,84 \text{ м}^2$$

$$Q_{\text{РАД}}^{\text{ПОК}} = 7,84 \times 15,0 \times 0,8 = 94,1 \text{ ккал/год}$$

$$Q_{\text{ПР}} = 70 + 500 + 94,1 = 664,1 \text{ ккал/год}$$

$$Q_{\text{РАСХ}} = 11,2 \times 0,9 \times (25 - (-2,8)) \times 0,8 = 274,58 \text{ ккал/год}$$

$$Q_{\text{ИЗБ}} = 664,1 - 274,58 = 389,52 \text{ ккал/год}$$

- для теплого періоду року

$$Q_{\text{ИЗБ}} = Q_{\text{ПР}} = 664,1$$

Кількість повітря, необхідного для видалення надлишку тепла визначається з виразу:

$$L_T = \frac{Q_{\text{ИЗБ}}}{c \times \gamma_{20} \times (t_{\text{yx}} - t_{\text{п}})}$$

Де:  $c$ -питома теплоємність повітря, дорівнює 0,24 ккал/кг, с;

$\gamma_{20}$ -питома вага повітря при 20 градусах за Цельсієм, кг/м<sup>3</sup>

$t_{\text{yx}}$  – температура вихідного повітря з кабіни °С;

$t_{\text{п}}$  – температура повітря, що поступає, в кабіну °С;

для зимового і перехідного періоду року

$$L_T = \frac{389,52}{0,24 \times 1,205 (25 - (-2,8))} = 48,45 \text{ м}^3/\text{год}$$

для теплого періоду року

$$L_T = \frac{664,1}{0,24 \times 1,205 (35 - 23,8)} = 205,03 \text{ м}^3/\text{год}$$

Загальна кількість повітря що подається в кабіну визначається з виразу:

$$L_{\text{ЗАГ}} = L_{\text{СО2}} + L_{\text{ВЛ}} + L_{\text{ТЕПЛ}}$$

Таким чином:

- в холодний період року загальна кількість повітря, що подається в кабіну:

$$L_{\text{ЗАГ}} = 0,0036 + (9,6 \times 10^{-6}) + 48,45 = 48,453 \text{ м}^3/\text{год}$$

- у теплий період року:

$$L_{\text{ЗАГ}} = 0,0036 + (12 \times 10^{-6}) + 205,03 = 205,034 \text{ м}^3/\text{год}$$

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Розрахунки капітальних вкладень

Капітальні витрати  $C_k$  розраховують у вигляді питомих величин, віднесених до  $1000 \text{ м}^3$  газу ( $\text{грн}/1000\text{м}^3$ ) [34]:

$$C_k = (C_{\text{осн. о.}} + C_{\text{м.}} + C_{\text{мон.}} + C_{\text{н.}} + C_{\text{зд.}}) \cdot 1000/3600 \cdot Q_c \cdot \tau,$$

де  $C_{\text{осн. о.}}$  - вартість основного встаткування, грн;

$C_{\text{м.}}$  - вартість установки й монтажу встаткування,

$$C_{\text{м.}} = 0,3 \cdot C_{\text{осн.об.}}, \text{ грн};$$

$C_{\text{мон.}}$  - вартість монтажу комунікацій,

$$C_{\text{мон.}} = 0,15 \cdot C_{\text{осн.об.}}, \text{ грн};$$

$C_{\text{н.}}$  - вартість накладних витрат спеціалізованої організації,

$$C_{\text{н.}} = 0,2 \cdot C_{\text{осн.о.}}, \text{ грн};$$

$C_{\text{зд.}}$  - вартість будинків, грн;

$Q_c$  - секундна витрата газів, що очищаються,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\tau$  - ефективний час роботи газоочищення за рік, год.

По базовому варіанту потрібне устаткування за ціною:

- Скрубер Вентурі (6 труб Вентурі та 2 краплеловлювача), 2800000 грн, 1 шт;
- порожнистий скрубери (2 шт),  $600000 \times 2 = 1200000$  грн;
- димосос, 800000 грн.;
- насоси (4 шт),  $300000 \times 4 = 1200000$  грн.;
- устаткування для шламового господарства 3000000 грн;
- газоходи (усього) 300000 грн.

КВП становить 25% від вартості основного устаткування:

$$\text{КВП} = 0,25 \cdot (2800000 + 1200000 + 800000 + 800000 + 3000000 + 300000) = 0,25 \times 8900000 = 2225000 \text{ грн.}$$

Усього вартість основного устаткування:

$$C_{\text{осн. б.}} = 8900000 + 2225000 = 11125000 \text{ грн};$$

$$C_M = 0,3 \cdot 11125000 = 3337500 \text{ грн};$$

$$C_{\text{мон}} = 0,15 \cdot 11125000 = 1668750 \text{ грн};$$

$$C_H = 0,2 \cdot 11125000 = 2225000 \text{ грн.}$$

Вартість будинку в діючому варіанті розраховується залежно від його об'єму, 1 м<sup>3</sup> промислового будинку, що має залізобетонний каркас коштує 400 грн.

Необхідна будівля будинків для насосів розміром (12 х 6 х 6)м і для розміщення засобів контролю й керування розміром (6 х 12 х 4)м.

Вартість будинку складе:

$$C_{\text{зд}} = 400(12 \cdot 6 \cdot 6 + 6 \cdot 12 \cdot 4) = 288000 \text{ грн.}$$

$$C_K = (11125000 + 3337500 + 1668750 + 2225000) \cdot 1000 / 3600 \cdot 82,26 \cdot 8280 = \\ = 18335620 \cdot 1000 / 3600 \cdot 82,26 \cdot 8280 = 7,49 \text{ грн/1000м}^3$$

По проектному варіанту потрібне встаткування за ціною:

- рукавний фільтр 9000000 грн, 1 шт;
- устаткування для вивантаження й транспортування пилу (усього) 2502300 грн;
- котел-утилізатор = 8000000 грн;
- димосос, 800000 грн, 1 шт;
- газоходи 240000 грн.

КВП становить 25% від вартості основного устаткування:

$$\text{КВП} = 0,25(9000000 + 2502300 + 8000000 + 800000 + 240000) = 0,25 \times \\ 28542300 = 5135575 \text{ грн};$$

Усього вартість основного устаткування:

$$C_{\text{осн. п.}} = 28542300 + 5135575 = 33\,677\,875 \text{ грн.}$$

$$C_M = 0,3 \cdot 33\,677\,875 = 10\,103\,362,5 \text{ грн};$$

$$C_{\text{мон}} = 0,15 \cdot 33\,677\,875 = 5\,051\,681,25 \text{ грн};$$

$$C_H = 0,2 \cdot 33\,677\,875 = 6\,735\,575 \text{ грн};$$

Необхідна будівля будинків для рукавного фільтру (15 х 18 х 11) м і для розміщення засобів контролю й керування розміром (6 х 12 х 4) м.

Вартість будинку складе:

$$C_{зд} = 400(15 \cdot 18 \cdot 11 + 6 \cdot 12 \cdot 4) = 1303200 \text{ грн.}$$

$$C_k = (33677875 + 10103362,5 + 5051681,25 + 6735575 + 1303200) \cdot 1000/3600 \cdot 82,26 \cdot 8520 = 76671693,75 \cdot 1000/3600 \cdot 82,26 \cdot 8520 = 22,54 \text{ грн/1000м}^3$$

Результати розрахунків зводимо у таблицю 5.1.

Таблиця 5.1- Капітальні вкладення в газоочисні установки.

Показники	Базовий варіант			Проектний варіант		
	Кіл-ть, шт	Ціна за одиницю., грн.	Сума, грн.	Кіл-ть, шт	Ціна за одиницю., грн.	Сума, грн.
Вартість устаткування:						
-скрубер Вентурі	1	2800000	2800000	-	-	-
-порожнистий скрубер	2	600000	1200000	-	-	-
-димосос	1	8000000	800000	1	800000	800000
-котел-утилізатор	-	-	-	1	8000000	8000000
-рукавний фільтр	-	-	-	1	9000000	9000000
-устаткування для вивантаження й транспортування пилу (усього)	-	-	-	-	-	2502300
-газоходи (усього)	-	-	300000	-	-	240000
-насоси	4	200000	800000	-	-	-
-устаткування для шламового господарства (усього)	-	-	3000000	-	-	-
-КВП (усього)	-	-	2225000	-	-	5135575
Вартість монтажу устаткування, См			3337500			10103362,5
Вартість монтажу комунікацій, Смон			1668750			5051681,25
Витрати на будинок Сзд			288000			1303200
Вартість накладних витрат спеціалізованої організації, Сн			2225000			6735575
Усього капітальні витрат, грн			18335620			56871693,75
Усього кап. витрат на 1000м <sup>3</sup> газу			7,49			22,54

## 5.2 Розрахунки витрат на очищення газів

Річні експлуатаційні витрати на очищення газу від печей прожарювання:

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

де  $C_1$  – витрати на основні й допоміжні матеріали, грн;

$C_2$  – витрати на електроенергію, грн;

$C_3$  – амортизаційні відрахування від основних фондів плюс ремонтний фонд, грн;

$C_4$  – основна й додаткова зарплата виробничих робітників, грн;

$C_5$  – відрахування на соціальне страхування, грн;

$C_6$  – витрати на поточний ремонт і зміст основних засобів, грн;

$C_7$  – інші цехові витрати, грн.

Розраховуємо вартість води, що витрачається за рік:

$$C_1 = Q \cdot m_{уд} \cdot T_{эф} \cdot Ц,$$

де  $Q$  – секундний об'єм газів, що очищаються, 1000 м<sup>3</sup>/год;

$m_{уд}$  – питома норма витрати води,  $5,8 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/1000м<sup>3</sup>;

$T_{эф}$  – фактичний час роботи газоочищення, год;

$Ц$  – ціна 1000м<sup>3</sup> води (технічної),  $Ц = 0,89$  грн.

$$C_1^6 = 82,26 \cdot 8280 \cdot 3600 \cdot 0,89 \cdot 5,8 \cdot 10^{-3} = 12657255,39 \text{ грн}$$

У проектному варіанті використовується сухе очищення газу, тому вартість води, що витрачається за рік,  $Z_1^{ін} = 0$ .

Енергетичні витрати:

$$C_2 = r \cdot l \cdot N \cdot 1000/3600 \cdot Q_c,$$

де  $r$  – вартість електроенергії, грн/(кВт ч),  $r = 1,50$  грн/(кВт ч);

$l$  – коефіцієнт враховуючий зміст обслуговуючого персоналу, ухвалюємо  $l = 1,1$  грн/(кВт ч);

$N$  – сумарна потужність електродвигунів,  $N^6 = 1800$  кВт,

$$N_{\text{пр}} = 1200 \text{ кВт}$$

$$C_2^{\text{б}} = 8280 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1800 = 24591600 \text{ грн}$$

$$C_2^{\text{пр}} = 8520 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1200 = 16869600 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування від основних фондів визначається множенням вартості основних фондів на відповідні норми амортизаційних відрахувань[32]::

- для устаткування – 15%;
- для будинку й споруджень - 5%;
- для мереж і комунікацій – 5%;
- для КВП – 25%.

Амортизаційні відрахування на устаткування:

$$A_{\text{б}} = 0,15 \cdot C_{\text{осн.об.}}^{\text{б}} = 0,15 \cdot 11125000 = 1668750 \text{ грн}$$

$$A_{\text{пр}} = 0,15 \cdot C_{\text{осн.об.}}^{\text{пр}} = 0,15 \cdot 33\,677\,875 = 5051681,25 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування на будинки:

$$A_{\text{б}} = 0,05 \cdot C_{\text{зд}}^{\text{б}} = 0,05 \cdot 288000 = 14400 \text{ грн}$$

$$A_{\text{пр}} = 0,05 \cdot C_{\text{зд}}^{\text{пр}} = 0,05 \cdot 1303200 = 65160 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування на мережі й комунікації:

$$A_{\text{б}} = 0,05 \cdot C_{\text{мон}}^{\text{б}} = 0,05 \cdot 1668750 = 83437,5 \text{ грн}$$

$$A_{\text{пр}} = 0,05 \cdot C_{\text{мон}}^{\text{пр}} = 0,05 \cdot 5051681,25 = 252584,06 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування на КВП:

$$A_{\text{б}} = 0,25 \cdot C_{\text{квп}}^{\text{б}} = 0,25 \cdot 2225000 = 556250 \text{ грн}$$

$$A_{\text{пр}} = 0,25 \cdot C_{\text{квп}}^{\text{пр}} = 0,25 \cdot 5135575 = 1283893,75 \text{ грн}$$

Усього:

$$C^{\text{б}} = 1668750 + 14400 + 83437,5 + 556250 = 2322837,5 \text{ грн}$$

$$C^{\text{пр}} = 5051681,25 + 65160 + 252584,06 + 1283893,75 = 6653319,06 \text{ грн}$$

Відрахування в ремонтний фонд становить 15% від амортизаційних відрахувань:

$$C^{\text{б}} = 0,15 \cdot A_{\text{б}} = 0,15 \cdot 2322837,5 = 348426,625 \text{ грн}$$

$$C^{\text{пр}} = 0,15 \cdot A_{\text{пр}} = 0,15 \cdot 6653319,06 = 997997,86 \text{ грн}$$

Інші цехові витрати становлять 25% від суми амортизаційних відрахувань і відрахувань у ремонтний фонд:

$$C_7^6 = 0,25(A_6 + C_6^6) = 0,25(2322837,5 + 348426,625) = 667816,03 \text{ грн}$$

$$C_7^{\text{ін}} = 0,25(A^{\text{пр}} + C_6^{\text{ін}}) = 0,25(6653319,06 + 997997,86) = 1912829,23 \text{ грн}$$

Економія від утилізації продуктів, що вловляються в процесі очищення газу:

$$\mathcal{E}_y = Q_{\text{ут}} \cdot \mathcal{C},$$

де  $Q_{\text{ут}}$  – кількість утилізованого продукту, т;

$\mathcal{C}$  – вартість сировини, що постачається та уловленого пилу за 1 т, грн.

Споживання графітового пилу було прийнятим рівним нулю, оскільки передбачається продаж пилу промисловим споживачам для використання в якості сировини, а не його використання в якості палива для котлів утилізаторів. За даними підприємства ПрАТ «Укрграфіт», графітний пил продає за ціною 1 тонна – 600 грн.

$$\mathcal{E}_y^{\text{пр}} = (3,186 - 0,015) \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 82,26 \cdot 5280 \cdot 600 = 2974901,7 \text{ грн.}$$

Прихід засобів, одержуваний завдяки тому, що встановлені котли-утилізатори з виробничою потужністю 31 тонн пари на годину. Кількість виробленої енергії за рік  $31 \cdot 8520 \cdot 0,5 = 132060$  Гкал. Вартість 1 Гкал, що виробляє ТЕЦ 365 грн, собівартість Гкал від котлів-утилізаторів 235 грн

$$\mathcal{E}_{\text{пар}}^{\text{пр}} = \mathcal{E}_{\text{год}} (C_c - C_r), \text{ грн,}$$

де  $\mathcal{E}_{\text{год}}$  – річний виробіток електроенергії в Гкал/ рік;

$C_c$  – собівартість пари з сусіднього підприємства, 365 грн/Гкал;

$C_r$  – собівартість пари від котлів-утилізаторів, 235 грн/Гкал

$$\mathcal{E}_{\text{эл}} = 132060(365 - 235) = 17167800 \text{ грн}$$

Експлуатаційні витрати

$$C_3^6 = 12657255,39 + 24591600 + 2322837,5 + 348426,625 + 667816,03 = 40587935,545 \text{ грн}$$

$$C_3^{\text{пр}} = 16869600 + 6653319,06 + 997997,86 + 1912829,23 = 26433746,15 \text{ грн}$$

Тоді загальні експлуатаційні витрати з урахуванням економії від утилізації пилу, приходу засобів від собівартості пари, що одержують у котлі-утилізаторі:

$$C_3^{\text{пр}} = 26433746,15 - (2974901,7 + 17167800) = 6291044,45 \text{ грн}$$

### 5.3. Техніко-економічне обґрунтування рішень, прийнятих у проекті.

Річний економічний ефект:

$$\Delta = [(C_6 + E_n K_6) - (C_{\text{пр}} + E_n K_{\text{пр}})]Q_{\text{пр}} = [(C_6 - C_{\text{пр}}) - E_n(K_6 - K_{\text{пр}})]Q_{\text{пр}},$$

де  $C_6$  і  $C_{\text{пр}}$  – собівартість одиниці продукції за допомогою відповідно до базової й новій техніці, грн;

$K_6$  і  $K_{\text{пр}}$  – питомі капітальні вкладення на одиницю продукції в базову й нову техніку, грн;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, для середоохоронних заходів  $E_n = 0,18$ ;

$Q_{\text{пр}}$  – річний обсяг виробництва робіт за допомогою нової техніки в розрахунковому році, тис.м<sup>3</sup>.

$$[(C_6 - C_{\text{пр}}) - E_n(K_6 - K_{\text{пр}})]Q_{\text{пр}}$$

$$\Delta = 56871693,75 - 0,18 \cdot 58336073,75 = 46317200,5 \text{ грн}$$

Строк окупності капітальних вкладень:

$$C_{\text{ок}} = (K_{\text{пр}} - K_6)/(C_6 - C_{\text{пр}}) = (56871693,75 - 18335620)/(16996335,545 - 6291044,45) = 3,6 \text{ роки}$$

де  $C_6$  і  $C_{\text{пр}}$  – собівартість річного випуску продукції відповідно по базовому й проектному варіанту, грн;

$K_6$  і  $K_{\text{пр}}$  – капітальні вкладення по базовому й проектному варіантах, грн;

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень:

$$E_{\text{пр}} = 1/C_{\text{ок}} > 0,18,$$

де  $C_{\text{ок}}$  – розрахунковий строк окупності.

$$E_{\text{пр}} = 1/3,6 = 0,27 \text{ грн. рік/грн}$$

Річна виробнича продуктивність очисної установки, м<sup>3</sup>:

$$\Pi = N \cdot T_{\text{еф}},$$



де  $N$  – технічна норма продуктивності основного апарату (доменної печі)  
в одиницю часу,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$T_{\text{эф}}$  – річний фонд ефективного часу газоочисної установки, год.

Базовий варіант та проектний варіанти:

$$P^{\text{пр}} = 26000 \cdot 8400 = 2,18 \cdot 10^8 \text{ м}^3$$

Кількість вловленого пилу з газу, який очищується т:

$$Q = (Z_1 - Z_2) \cdot P / 10^6,$$

де  $Z_1, Z_2$  - вміст пилу в газі відповідно до та після очищення,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Базовий варіант:

$$Q^{\text{б}} = (3,186 - 0,025) \cdot 2,18 \cdot 10^8 / 10^6 = 689,1 \text{ т}$$

Проектний варіант:

$$Q^{\text{пр}} = (3,186 - 0,015) \cdot 2,18 \cdot 10^8 / 10^6 = 691,3 \text{ т}$$

Приймаємо втрати вловленого продукту при утилізації 10%, тоді  
кількість утилізованого продукту (пилу):

$$Q_{\text{б}}^{\text{ут}} = 0,9 \cdot 689,1 = 620,19 \text{ т}$$

$$Q_{\text{пр}}^{\text{ут}} = 0,9 \cdot 691,3 = 622,17 \text{ т}$$

Використання проектного варіанта для очищення технологічних газів  
доменного цеху дозволяє додатково вловити 1,98 т пилу на рік.

Результати розрахунків зведено у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2- Основні техніко-економічні показники газоочисної  
установки [32]:.

Показники	Од.виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
Річна виробнича потужність газоочищення:	$\text{м}^3$	$2,18 \cdot 10^8$	$2,18 \cdot 10^8$
Кількість уловленого пилу	т	689,1	691,3
Капітальні вкладення	тис.грн.	18335,6	56871,7
Річні експлуатаційні витрати	тис.грн.	40587,95	26433,75
Кількість виробленої пари (у перерахунку на Гкал) у котлах утилізаторах	Гкал/рік	-	132060
Дохід від вироблення пару у котлах-утилізаторах	тис.грн	-	50878,06

Дохід від продажу пилу	грн		5087806
Економічна ефективність кап. вкладень	грн./ (грн/рік)	-	0,33
Річний економічний ефект	тис.грн.	-	46317,2
Строк окупності капітальних вкладень	років	-	3,6

Проект є економічно вигідним, тому що строк окупності капітальних вкладень перебуває у межах нормативу:

$$T_{\text{рок}} = 3,6 \text{ років} < T_{\text{ок}}^{\text{н}} = 5,57 \text{ років}$$

$$E_{\text{р}} = 0,27 \text{ грн}/(\text{грн}/\text{рік}) > E_{\text{н}} = 0,18 \text{ грн}/(\text{грн}/\text{рік})$$

Таким чином, строк окупності системи газоочищення в проектному варіанті за рахунок утилізації уловленого пилу та вироблені пари склав 3,6 років при економічній ефективності капвкладень 0,27 грн. рік/грн.

## ВИСНОВКИ

В результаті теоретичного аналізу та проведених розрахунків було встановлено:

1. Проаналізовано технологію прожарювання коксу с точки зору утворення шкідливих викидів та досліджено зміну температури по довжині печі прожарювання та наведення схему.

2. Найбільш ефективною є система очищення газу від печей прожарювання з наступним його використанням: котел-утилізатор, рукавний фільтр. За результатами розрахунків основні апарати системи газоочищення газів, які відходять від печей прожарювання доцільно використанням: котел-утилізатор Г1030Б, рукавний фільтр ФРІР-1200.

3. Ефективність очищення газу в рукавному фільтрі становить 99%, Що задовольняє вимоги. Кінцева запиленість газу після рукавного фільтру становить 15 мг/м<sup>3</sup>.

4. Розраховані основні техніко-економічні показники очищення. Так, строк окупності склав 3,6 років при економічній ефективності капітальних вкладень 0,27 грн/грн·рік.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А.М, Безуглов, В. М. Беленченко, Ю.И. Кураков Естественные науки №2. Экологические проблемы производства графитированной продукции. – Известия вузов, Северо-Кавказский регион, 2003. 69-70 с
2. Чалых Е. Ф., Оборудование электродных заводов: учебное пособие для вузов: отв. ред. Е. Ф. Чалых, Москва: Металлургия, 1990. 238 с.
3. Алиев Г.М., Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справочное издание: Москва: Металургія, 1986. 544 с.
4. Сугак Е.В., Моделирование и интенсификация процессов очистки промышленных газовых выбросов в турбулентных газодисперсных потоках: автореф. дис. докт. техн. наук. 11.00.11, Красноярск, 1999. 46 с.
5. Данцис Я. Б., Электротермические процессы в химической технологии / отв. ред. Я. Б. Данцис, В. А. Ершов, Г. М. Жилов, Москва : Химия, 1984. 464 с.
6. Сюняев З. И. Производство, обогащение и применение нефтяного кокса: отв. ред. З. И. Сюняев, Москва : Химия, 1973. 296 с.
7. Ахметшин Н. Ф., Сравнение графитировочных печей различной конструкции. Вопросы графитации углеродистых материалов : отв. ред. Н. Ф. Ахметшин, Москва, 1968, Ч.II. С. 21—23.
8. Старк С.Б., Газоочистные аппараты и установки в металлургическом производстве: учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва: Металлургия, 1990. 396 с.
9. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1: в качестве учеб. пособия. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 915 с.
10. Чичулин Н. И., Факторы, влияющие на радиальную разность температур электрической графитировочной печи. Вопросы графитации углеродистых материалов: отв. ред. Н. И. Чичулин, Е. И. Евсеев, Москва: 1968, Ч I. С. 42—47.

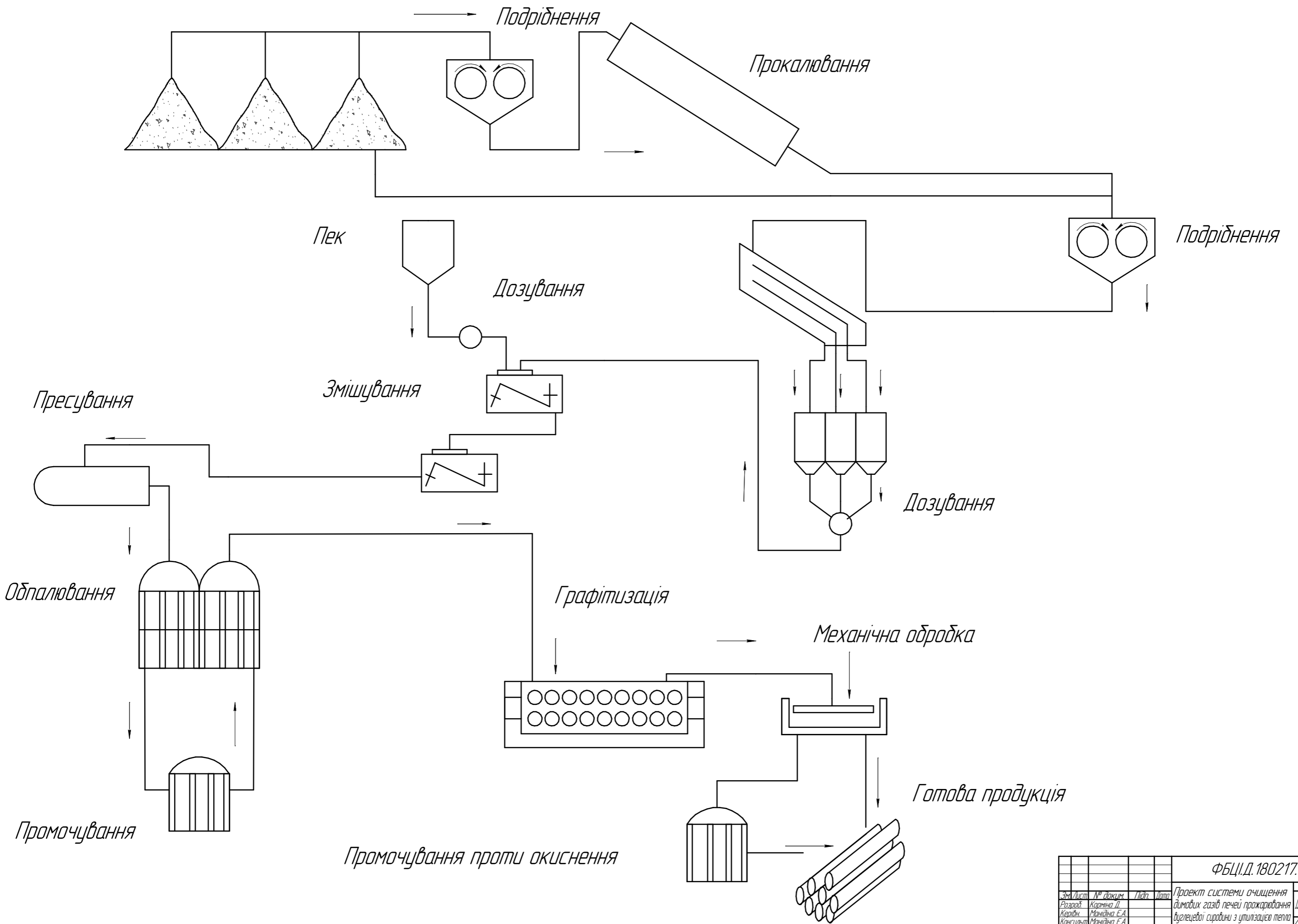
11. Шварцберг М. Б., Систематическое собрание патентов: угольные и графитовые электроды для электропечей и электролизеров, Ленинград-Москва, 1938.
12. Степаненко М. А., Исследование обжига заготовок в многокамерных печах: отв. ред. М. А. Степаненко, Е. М. Солдатенко, Н. И. Матусьяк: Кокс и химия. 1958. № 2. С. 22 — 27.
13. Павловский А. М., Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции: интенсификация процесса графитации электродов на Челябинском электродном заводе: отв. ред. Павловский А. М., Столяров З. В., Подольская Н. П., Челябинск : ГосНИИЭП, сб. научн. тр., Вып. 8. 1976. С. 48—53.
14. Чирка Т.В. Теплопроводность и электропроводность сыпучих углеродных материалов: автореф. дис. к.т.н./ Т. В. Чирка – К. : НТУУ «КП», 2013. 2 с.
15. Фиалков, А. С. Углеграфитовые материалы. - М.: Энергия, 1979. 319 с.
16. Соседов, В. П. Графитация углеродистых материалов [Текст] В. П. Соседов, Е. Ф. Чалых. - М.: Металлургия, 1987. - 174, [2] с. ил.
17. Привалов, В. Е. Каменноугольный пек : Получение, переработка, применение [Текст] В. Е. Привалов, М. А. Степаненко. - М.: Металлургия, 1981. - 208 с. ил.
18. Чалых, Е. Ф. Технология углеграфитовых материалов учеб. пособие для хим.-технол. специальностей вузов Е. Ф. Чалых. - М.: Металлургиздат, 1963. 304 с.
19. Санников А. К. Производство электродной продукции / А. К. Санников, А. Б. Сомов, В. В. Ключников и др. – М.: Металлургия, 1985 г. 129 с.
20. Чалых А.Ф. Графитация углеродистых материалов [Текст] / А.Ф. Чалых, В.П. Соседов – М.:Металургия, 1987 г. 176 с.
21. Ключников В.В., Устинов Ю.В. Производство углеродных материалов – М.: НИИГрафит, 1986. 249 с.

22. Кожемякін Г.Б. Теоретичні основи та техніка захисту повітряного басейну: метод. вказівки до виконання курсового проекту та лабораторних робіт для студ. ЗДІА напряму 6.040106 "Екологія, охорона навкол. середовища та збалансоване природокористування". Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 115 с.
23. Каталог продукции ООО «Белэнергомаш – БЗЭМ» котлы-утилизаторы и котлы энерготехнологические
24. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. Том 1
25. Павлюк Ю.С. Повітродувні та насосні станції: Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи для студ. ЗДІА спец. 7.090401 спец. "Екологіч. аудит та охорона навколиш. середовища" всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 30 с.
26. Денисов С.И. Улавливание и утилизация пылей и газов: учеб. пособие для вузов. Москва: Металлургия, 1991. 320 с.
27. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т. 3: в качестве учеб. пособия. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. 1020 с.
28. Злобинский Б. М. Охрана труда в металлургии [Текст] / Б.М. Злобинский. – М.: Металлургия, 1975. 535 с.
29. Державні санітарні норми. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень/ М-во охорони здоров'я України. Головне сан.-епідем. упр, офіційне видання. Київ, 1999. 15 с.
29. Белоконь К.В., Манідіна Є.А. Методичні вказівки до виконання дипломних робіт (проектів) за освітньо-кваліфікаційним рівнем «Магістр» для студентів ЗДІА спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» денної та заочної форми навчання. Запоріжжя: ЗДІА, 2018. 64 с.
30. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, офіційне видання. Київ, 2013. 138 с.
31. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.5-28-2006

Природне і штучне освітлення / Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, офіційне видання. Київ, 2006. 81 с.

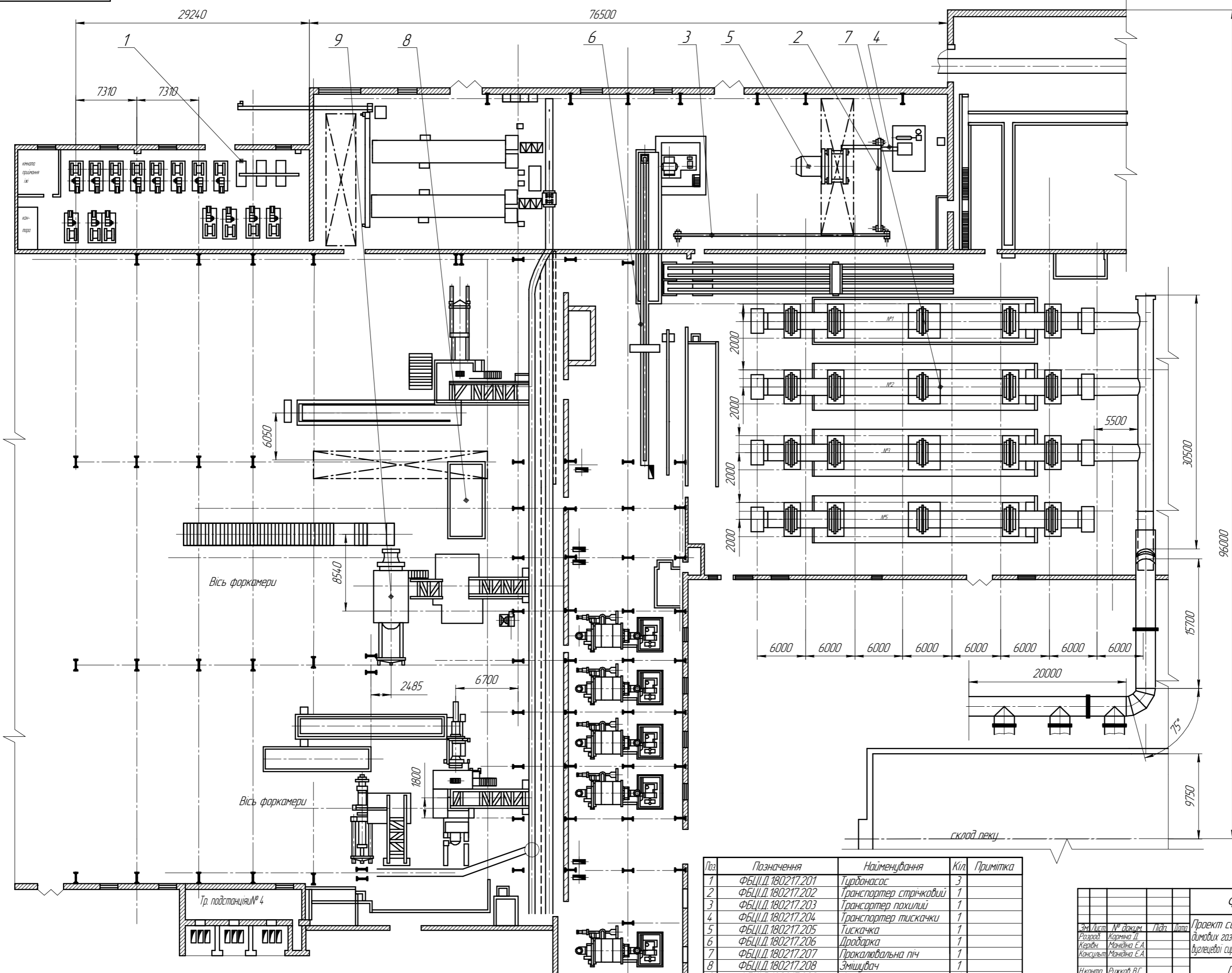
32. Беренда Н.В., Троїцька О.О, Манідіна Є.А. Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень: навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА спец. 183 "Технології захисту навколишнього середовища", 263 "Цивільна безпека" всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 196 с

# АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ОТРИМАННЯ ГРАФІТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ



				ФБЦІ.Д.180217.100 СХ		
Зм. Лист	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Маштаб
Розроб.	Корніна Д.			Д	Н	
Керівн.	Моніана Е.А.			Лист 1 / Листів 9		
Консульт.	Моніана Е.А.			Апаратно-технологічна схема отримання графітової продукції		
Начальн.	Рижков В.Г.			МОНУкріаїни, ІІ ЗНУ, каф. ПЕОП, гр.ЗНС-18-1мд		
Затв.	Кожечан Г.Б.					



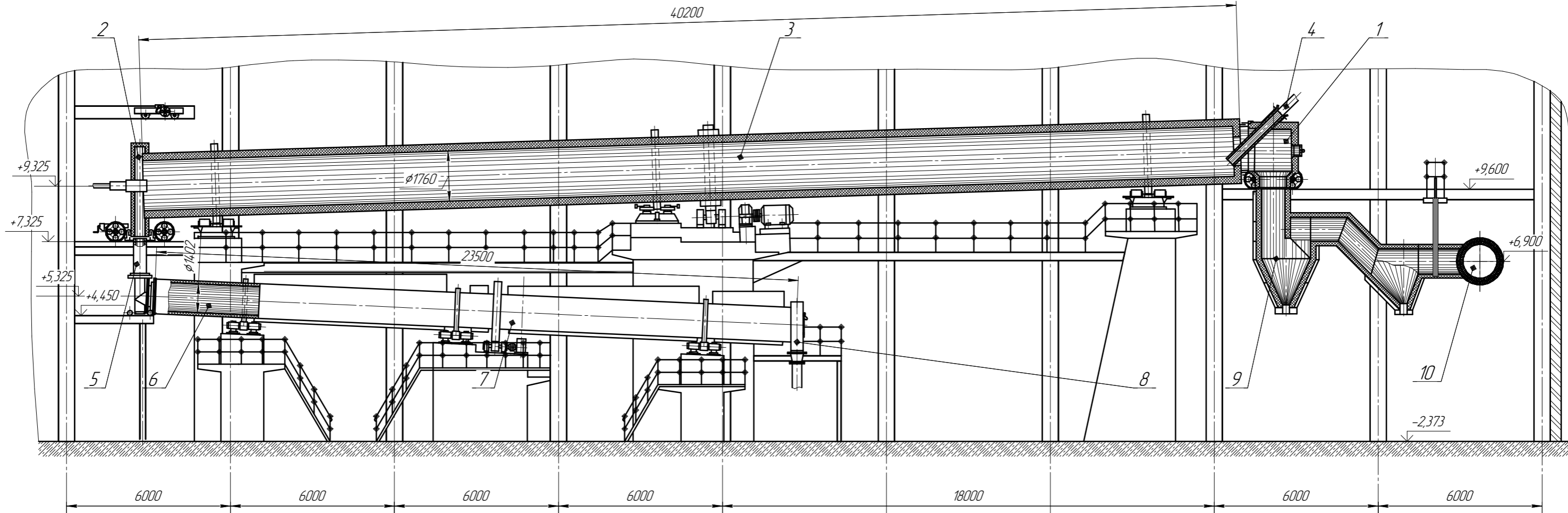


Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ФБЦ.Д.180217.201	Турбодасос	3	
2	ФБЦ.Д.180217.202	Транспортер стрічковий	1	
3	ФБЦ.Д.180217.203	Транспортер похилий	1	
4	ФБЦ.Д.180217.204	Транспортер тискачки	1	
5	ФБЦ.Д.180217.205	Тискачка	1	
6	ФБЦ.Д.180217.206	Дробарка	1	
7	ФБЦ.Д.180217.207	Прокалювальна піч	1	
8	ФБЦ.Д.180217.208	Змишувач	1	
9	ФБЦ.Д.180217.209	Форкамера	1	

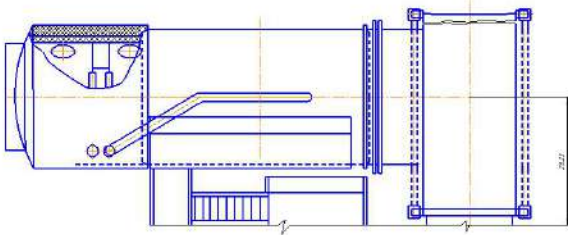
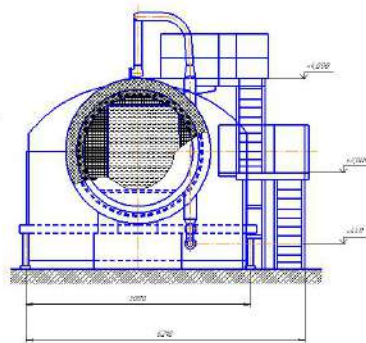
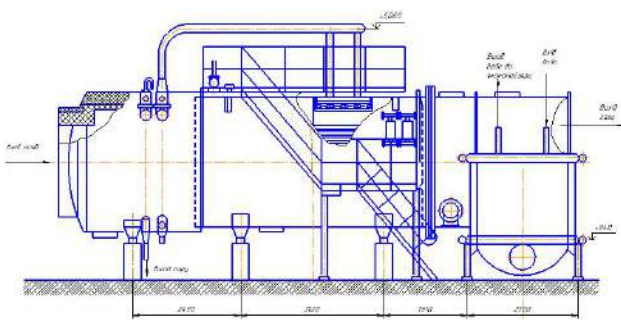
**ФБЦ.Д.180217.200 ЗВ**

Зм. Лист № докум. Підп. Штук. Розроб. Карміна Д. Керівн. Мандіна Е.А. Консульт. Мандіна Е.А.	Проект системи очищення димових газів печей прожарювання вуглецевої сировини з утилізацією тепла
Нконтр. Рижков В.Г. Затв. Коженяк Г.Б.	Лист 2 з 9 МОН України, ІІ ЗНЧ, каф. ПЕОП, гр.ЗНС-18-1мд

План цеху



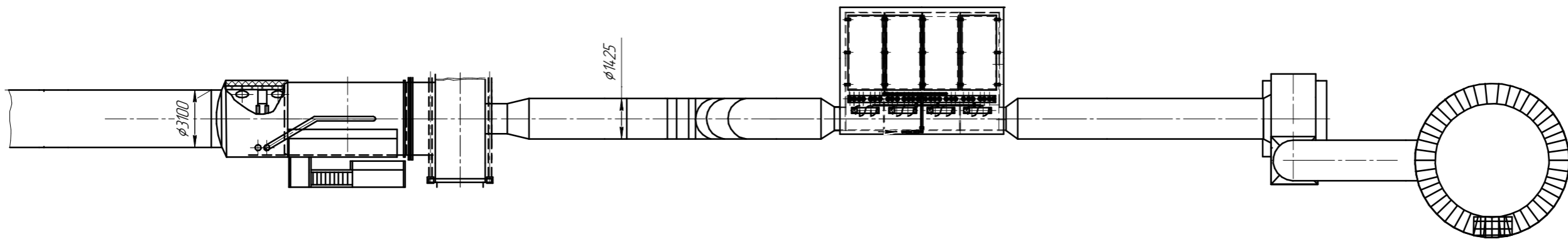
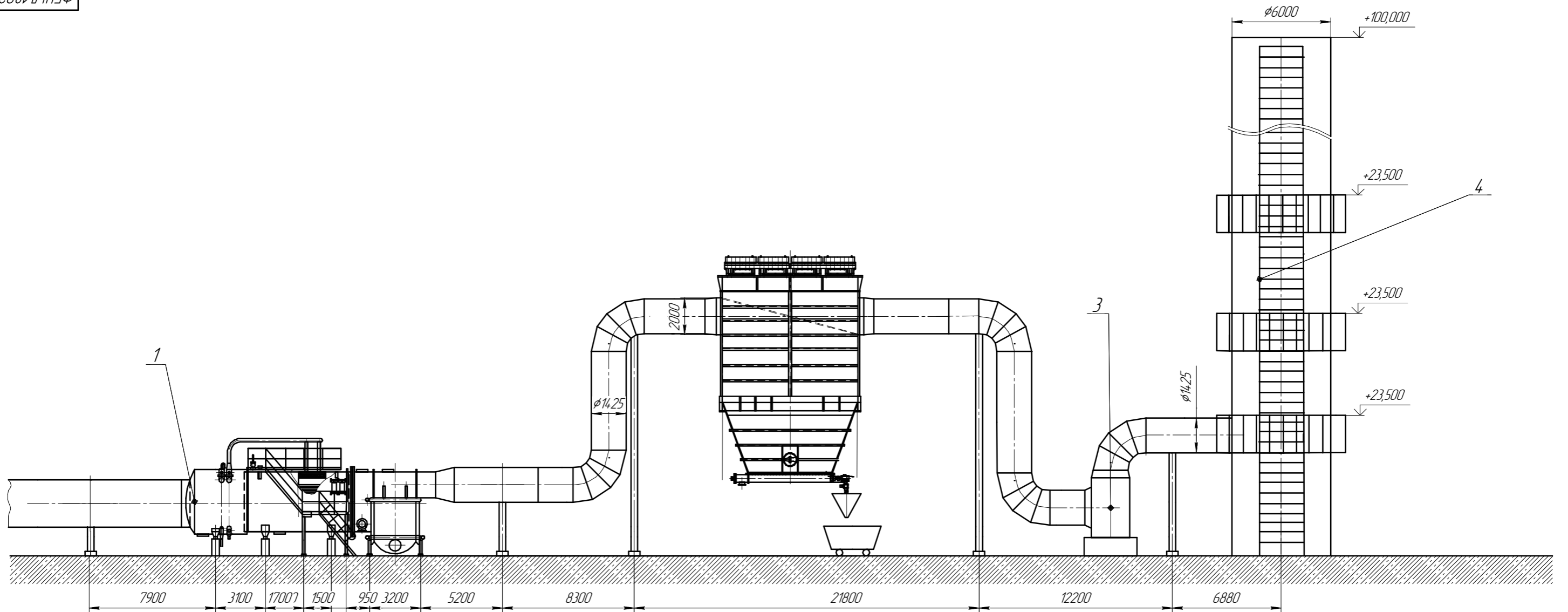
Поз	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ФБЦІ.Д.180217.301	Забантажувальна головка печі	2	
2	ФБЦІ.Д.180217.302	Топкова головка печі	1	
3	ФБЦІ.Д.180217.303	Корпус печі	2	
4	ФБЦІ.Д.180217.304	Вузел живлення печі	1	
5	ФБЦІ.Д.180217.305	Перехідник піч-холодильник	1	
6	ФБЦІ.Д.180217.306	Приймальна головка холодильника	1	
7	ФБЦІ.Д.180217.307	Корпус холодильника	1	
8	ФБЦІ.Д.180217.308	Вузел розвантажування холодильника	1	
9	ФБЦІ.Д.180217.309	Піловка камера	1	
10	ФБЦІ.Д.180217.310	Борова відхідних газів від печі	1	
<b>ФБЦІ.Д.180217.300 ЗВ</b>				
Проект системи очищення				
Зроб	№ док.	Підп.	Дата	Лит.
Розроб	Корамна Д.			Маса
Керівн.	Моніанна Е.А.			Маштаб
Консульт.	Моніанна Е.А.			1:25
Піч прожарювання				Лист з 9
Нконтр.	Рижков В.Г.			МОНУкріаїни, ІІ ЗНУ
Затв.	Кожечан Г.Б.			каф. ПЕОП, гр.ЗНС-18-1мд



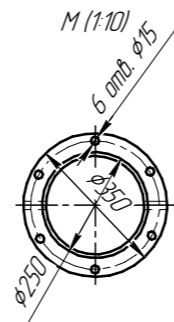
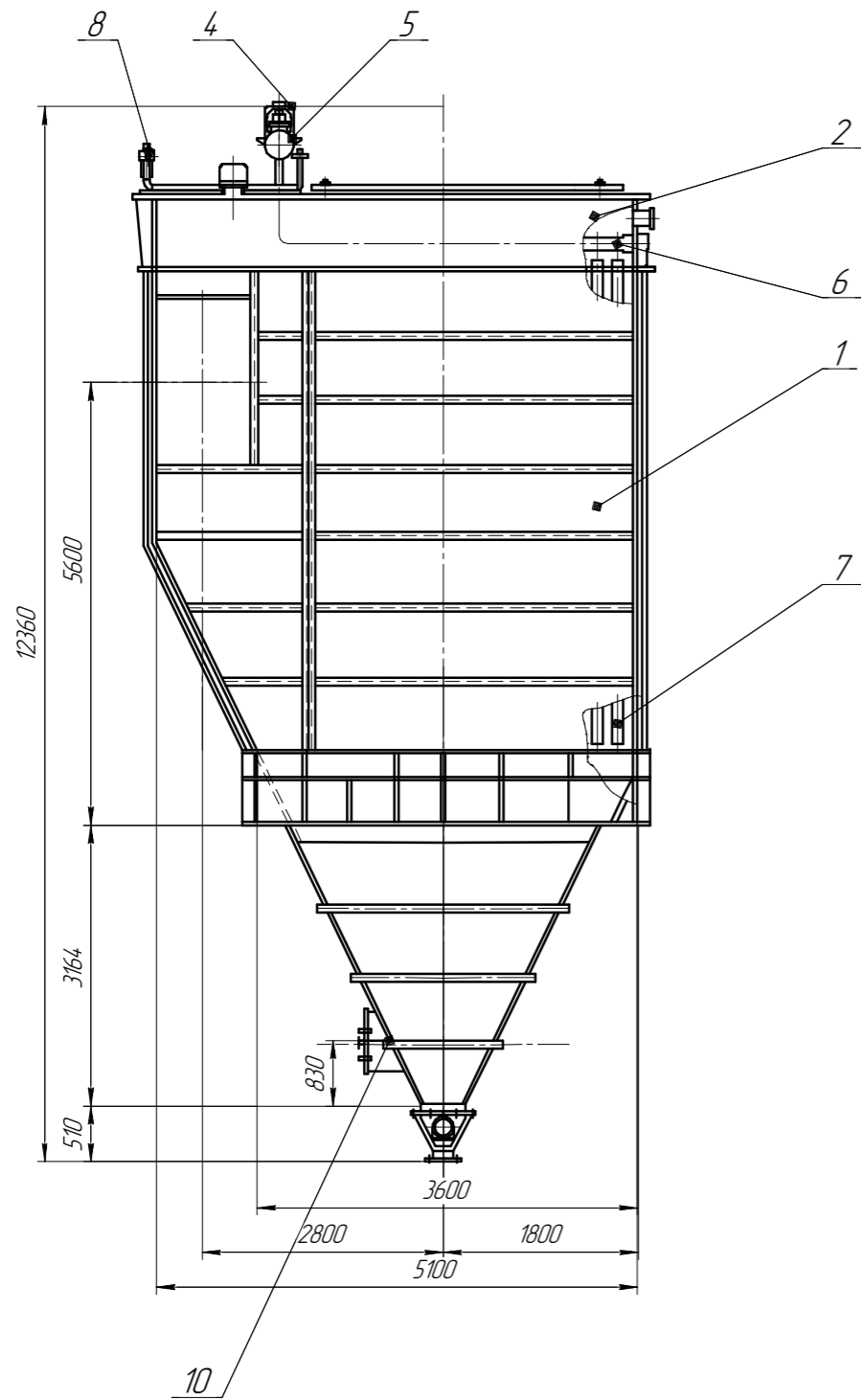
Технича карактерыстыка:

Паўмянасьць, т/год	14
Выправа газу, м <sup>3</sup> /год	55000
Тэмпература, С	
газу на ввад	200
газу на вывад	150
парэжымнага газу	250
жваўленага газу	100
Прабная павяч гэта	11

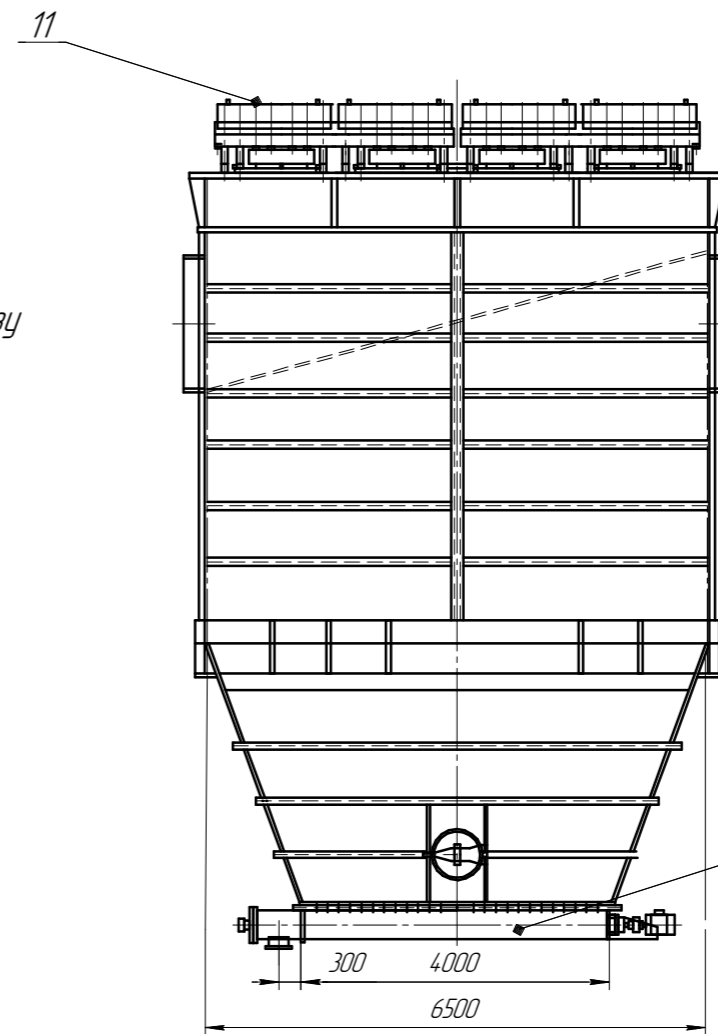




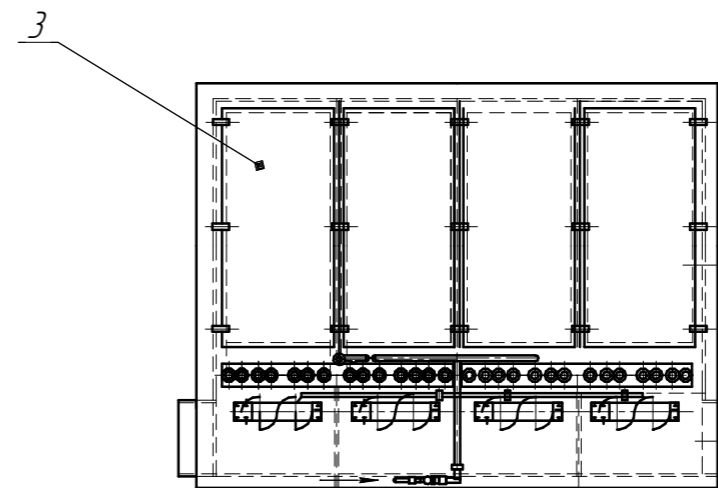
Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ФБЦІ.Д.180217.501	Котел-утилізатор	1	
2	ФБЦІ.Д.180217.502	Ручковий фільтр	1	ФРІР-1000
3	ФБЦІ.Д.180217.503	Димотяг	1	
4	ФБЦІ.Д.180217.504	Димова ґрида	1	
<b>ФБЦІ.Д.180217.500.ЗВ</b>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Корнієнко Д.			
Керівн.	Моніанко Е.А.			
Консульт.	Моніанко Е.А.			
Начальн.	Рижков В.Г.			
Затв.	Кожечан Г.В.			
Проект системи очищення димових газів печі прожарювання вуглецевої сировини з утилізацією тепла		Лист	5	Листів
Піч прожарювання		Лист	5	Листів
		Масштаб	1:25	
		МОНУкріаїни, ІІ ЗНУ, каф. ПЕОП, гр.ЗНС-18-1мд		



Вихід очищеного газу



Вхід забрудненого газу

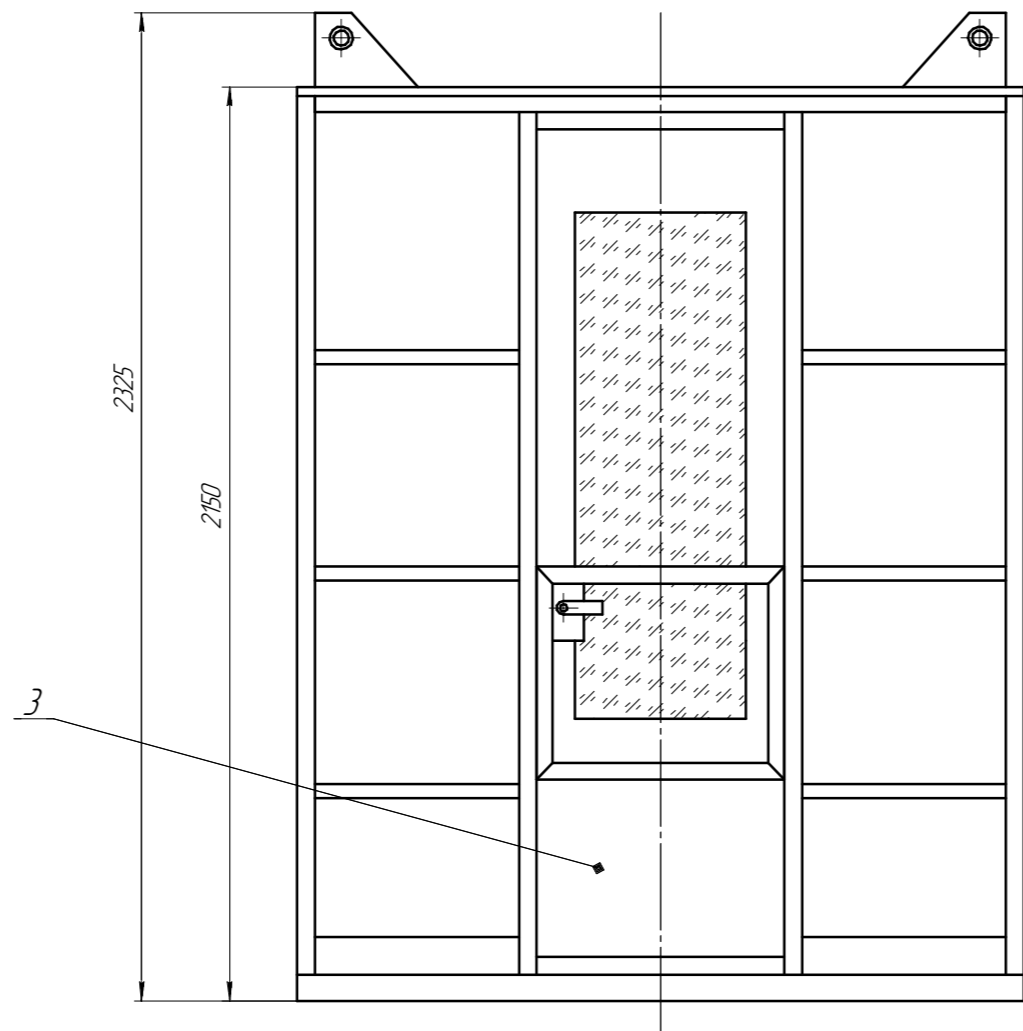
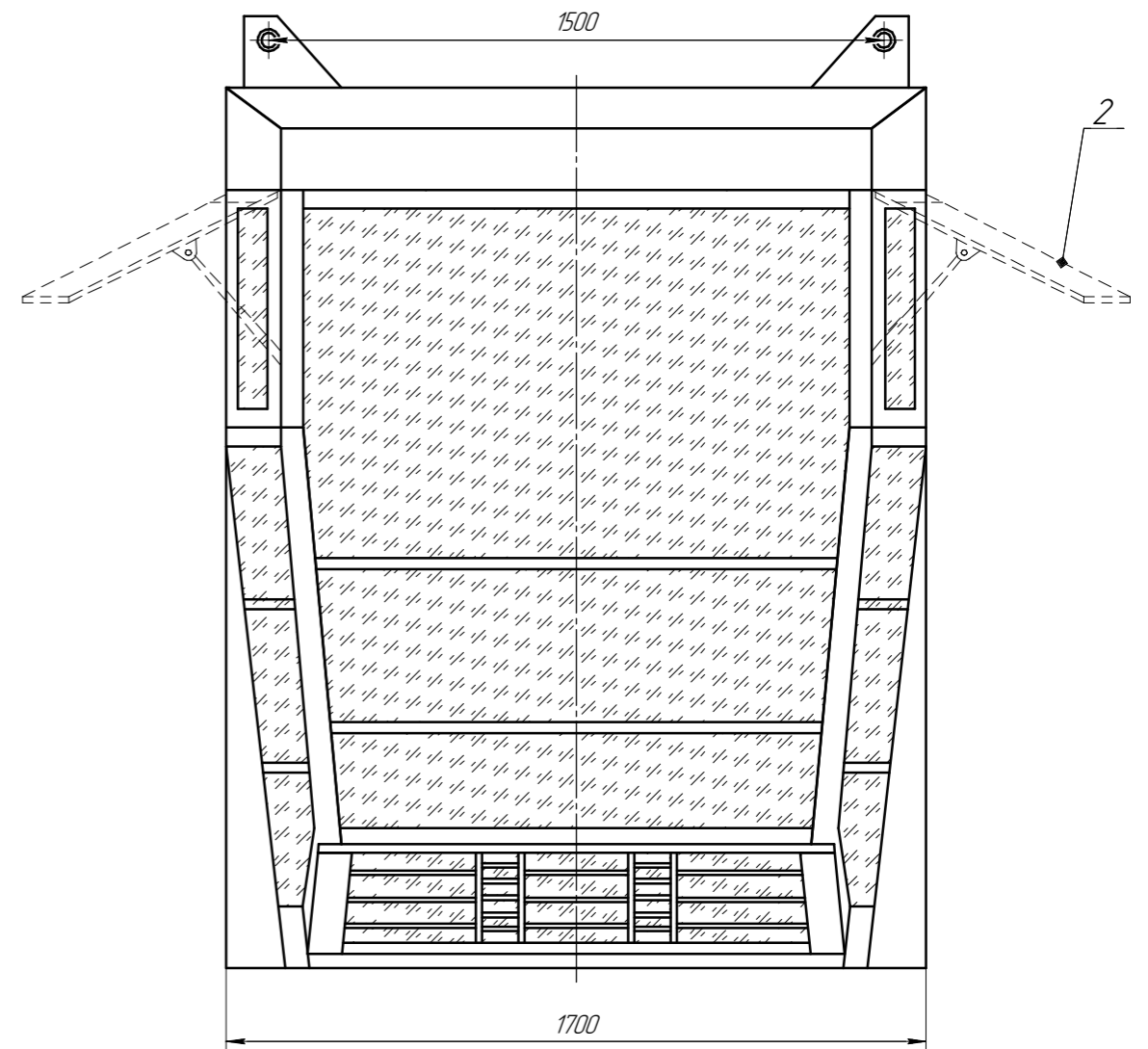
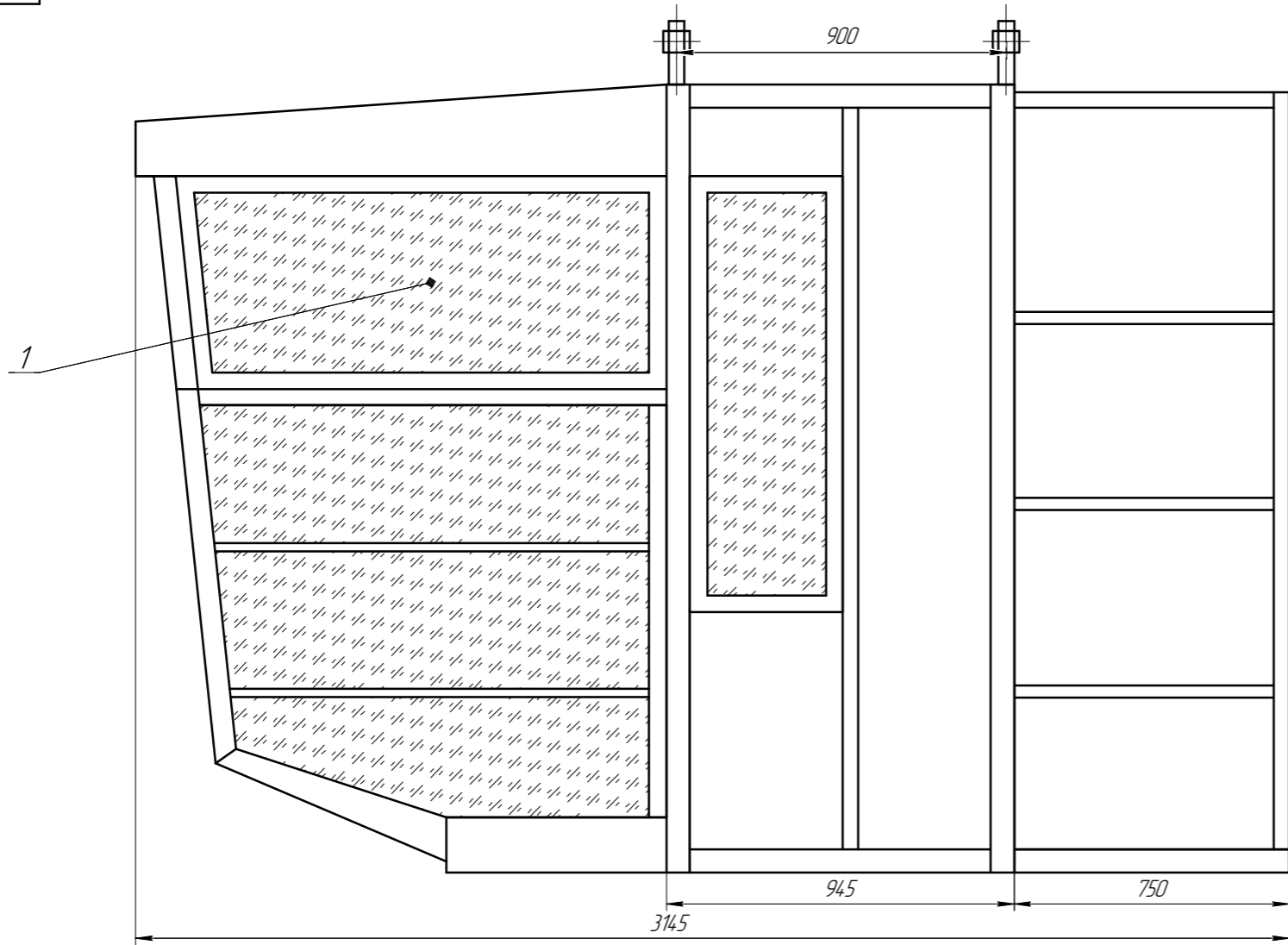


Технічна характеристика:

Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	110000
Площа фільтрування, м <sup>2</sup>	1200
Кількість фільтрувальних елементів, шт	448
Довжина фільтрувального елемента, мм	6300
Маса фільтра, т	33,9
Витрата стислого повітря, м <sup>3</sup> /хв	3,6

Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ФБЦІ.Д.180217.601	Корпус фільтра	1	
2	ФБЦІ.Д.180217.602	Камера чистого газу	1	
3	ФБЦІ.Д.180217.603	Кришка	1	
4	ФБЦІ.Д.180217.604	Клапан для продування	1	
5	ФБЦІ.Д.180217.605	Накопювач стислого повітря	1	
6	ФБЦІ.Д.180217.606	Роздавальний коректор	1	
7	ФБЦІ.Д.180217.607	Фільтрувальний елемент	1	
8	ФБЦІ.Д.180217.608	Система редукціону стислого повітря	1	
9	ФБЦІ.Д.180217.609	Вузел вивантаження пилу	1	
10	ФБЦІ.Д.180217.610	Люк	1	
11	ФБЦІ.Д.180217.611	Корпус, який утеплено	1	

				ФБЦІ.Д.180217.600 ЗВ			
Зм. Лист	№ докум.	Лист	Лист	Проект системи очищення димових газів печей прожарювання вуглецевої сировини з утилізацією тепла	Лит.	Маса	Маштаб
Розроб.	Корніна Д.				Д	Н	1:50
Керівн.	Моніана Е.А.				Лист 6	Листів	9
Консульт.	Моніана Е.А.				МОНУкріаїни, ІІ ЗНУ, каф. ПЕОП, гр.ЗНС-18-1мд		
Нконтр.	Рижков В.Г.			Рукавний фільтр типу ФРП-1200			
Затв.	Кожанякі Г.Б.						



Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
1	ФБЦІД.180217.801	Скління	1	
2	ФБЦІД.180217.802	Отвори-фортинки	1	
3	ФБЦІД.180217.803	Двері	1	
<b>ФБЦІД.180217.800 ЗВ</b>				
Зм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата
Розроб.	Корчак Д.			
Керівн.	Мандіна Е.А.			
Консульт.	Мандіна Е.А.			
Начальн.	Рижков В.Г.			
Затв.	Корчак Д.			
Проект системи очищення димових газів печей прожарювання вуглецевої сировини з утилізацією тепла		Лист в	Листів	9
Капіна керування мастового крана закритого типу		МОН	України	ІІ ЗНЧ
		каф.	ПЕОП	гр.ЗНС-18-1мд

**ОСНОВНІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ГАЗООЧИСНОЇ  
УСТАНОВКИ**

ПОКАЗНИКИ	ОД.ВИМІРУ	ВАРІАНТ	
		БАЗОВИЙ	ПРОЕКТНИЙ
РІЧНА ВИРОБНИЧА ПОТУЖНІСТЬ ГАЗООЧИЩЕННЯ	М <sup>3</sup> /РІК	2,18 · 10 <sup>8</sup>	2,18 · 10 <sup>8</sup>
КІЛЬКІСТЬ УЛОВЛЕНОГО ПИЛУ	Т	689,1	691,3
КАПІТАЛЬНІ ВКЛАДЕННЯ	ТИС.ГРН.	18335,6	56871,7
РІЧНІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИТРАТИ	ТИС.ГРН.	40587,95	26433,75
КІЛЬКІСТЬ ВИРОБЛЕНОЇ ПАРИ (У ПЕРЕРАХУНКУ НА ГКАЛ) У КОТЛАХ УТИЛІЗАТОРАХ	ГКАЛ/РІК	-	132060
ДОХІД ВІД ВИРОБЛЕННЯ ПАРУ У КОТЛАХУТИЛІЗАТОРАХ	ТИС.ГРН	-	50878,06
ДОХІД ВІД ПРОДАЖУ ПИЛУ	ГРН	-	5087806
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КАП. ВКЛАДЕНЬ	ГРН./ (ГРН/РІК)	-	0,33
РІЧНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ	ТИС.ГРН.	-	46317,2
СТРОК ОКУПНОСТІ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ	РОКІВ	-	3,6