

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИНИХ ПОЛІМЕРІВ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Гомеля М.Д.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект  
на здобуття ступеня бакалавра  
з напрямку підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього  
середовища та збалансоване природокористування»  
на тему: «Вдосконалення технологічної схеми  
очищення димових газів ТЕЦ-4» »**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ЛЕ-51

Кемаєва Олександра Юріївна

\_\_\_\_\_

Керівник:

Доцент, к.т.н., доцент

Іваненко О.І.

\_\_\_\_\_

Консультант з розділу «охорона праці»:

Доцент, к.т.н., доцент

Ковтун І. М.

\_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ЛЕ5106. 00.019 ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A1	ДП ЛЕ5106. 01.019 ТС	Технологічна схема	1	
4	A1	ДП ЛЕ5106. 02.019 ГП	Генеральний план	1	
5	A1	ДП ЛЕ5106. 03.019 ПС	Розташування споруд на плані (поперечний переріз)	1	
6	A1	ДП ЛЕ5106. 04.019 ПС	Розташування споруд на плані (поздовжній переріз)	1	
7	A1	ДП ЛЕ5106. 05.019 ТД	Таблиця даних	1	

				ДП ЛЕ51 00.019.ВП		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Кемаєва О.Ю.				Лист	Листів
Керівн.	Іваненко О.І.				2	72
Консульт.	Ковтун І.М.					
Н/контр.						
Зав.каф.	Гомеля М.Д.					

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проекту**  
**на тему: «Вдосконалення технологічної схеми очищення**  
**димових газів ТЕЦ-4»**

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИНИХ ПОЛІМЕРІВ**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.040106  
«Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ М.Д.Гомеля

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проект студенту**  
**Кемаєва Олександра Юріївна**

1. Тема проекту «Вдосконалення технологічної схеми очищення димових газів ТЕЦ-4», керівник проекту Іваненко Олена Іванівна, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «22»\_\_05\_\_2019 р. №1323-С

2. Термін подання студентом проекту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту \_\_\_\_\_ Об'ємна витрата газу 98 496 м<sup>3</sup>/год  
 $C_{\text{NOx}} = 1258 \text{ мг/м}^3$ ,  $C_{\text{CO}} = 229 \text{ мг/м}^3$ ,  $C_{\text{SO2}} = 3245 \text{ мг/м}^3$ ,  $C_{\text{част}} = 6590 \text{ мг/м}^3$ ,  
 $T_{\text{вх}} = 106 \text{ C}$ ,  $T_{\text{вих}} = 63 \text{ C}$

4. Зміст пояснювальної записки

1. Техніко-економічне обґрунтування; 2. Технологічна частина;

3. Розрахунок очисних споруд; 4. Будівельна частина; 5. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо)

1. Таблиця даних; 2. Технологічна схема; 3. Генеральний план; 4. Поперечний переріз; 5. Продольний переріз.

6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун І.М. доцент, к.т.н. доцент		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка

Студент

Кемаєва О.Ю

Керівник проекту

Іваненко О.І.

---

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проект на тему: «Вдосконалення технологічної схеми очищення димових газів ТЕЦ-4».

Пояснювальна записка: 72 с., 12 рис., 7 табл., 3 додатки, 6 літературних посилань, 4 креслення на А1.

Складається із наступних розділів: вступ, техніко – економічне обґрунтування, технологічна частина: характеристика вихідних та вимог до очищення газу для викиду, розробка та обґрунтування технологічної схеми, матеріальний баланс, короткі теоретичні відомості про хімічні, фізичні, технологічні та гідравлічні розрахунки, будівельна частина, охорона праці.

Мета роботи: вдосконалити технологічну схему очищення димових газів ТЕЦ-4»

Виконано технологічний і гідравлічний розрахунок очисних споруд, а також розрахунок матеріального балансу. Розроблені креслення технологічної схеми, генерального плану, поперечний та повдовжній перерізи.

ДИМОВІ ГАЗИ, ЕЛЕКТРОФІЛЬТР, ТЕЦ, КОТЕЛ, ЦИКЛОН, АДСОРБЕР, ГАЗОРОЗДІЛЕННЯ.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019 ЗП</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Кемаєва О.Ю.</i>						6
<i>Прийняв</i>		<i>Іваненко О.І.</i>						
<i>Реценз</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд</i>								

## АННОТАЦИЯ

Дипломный проект на тему: «Усовершенствование технологической схемы очистки дымовых газов ТЭЦ-4».

Пояснительная записка: 72 с., 12 рис., 7 табл., 3 приложения, 6 литературных ссылок, 4 чертежей на А1.

Состоит из следующих разделов: введение, технико - экономическое обоснование, технологическая часть: характеристика исходных и требований к очистке газа для выброса, разработка и обоснование технологической схемы, материальный баланс, краткие теоретические сведения о химических, физических процессах, технологические и гидравлические расчеты, строительная часть, охрана труда.

Цель работы: усовершенствовать технологическую схему очистки дымовых газов ТЭЦ-4»

Выполнен технологический и гидравлический расчет очистных сооружений, а также расчет материального баланса. Разработаны чертежи технологической схемы, генерального плана, поперечный и продольный сечения.

ДЫМОВЫЕ ГАЗЫ, ЭЛЕКТРОФИЛЬТР, ТЭЦ, КОТЕЛ, ЦИКЛОН, АДСОРБЕР, ГАЗОРАЗДЕЛЕНИЕ.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						7
Зм.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		

## ABSTRACT

Diploma project on «Improvement of technological scheme of flue gas cleaning heat electropower station - 4».

Explanatory note: 72 p. 12 fig., 7 tables, 3 applications, 6 literary references, 4 drawings format A1.

It consists of the following sections: introduction, introduction, technical - economic justification of technology: the characteristics of the initial and gas purification requirements for the release, development and justification of the technological scheme, material balance, brief theoretical information about chemical, physical processes, technological and hydraulic calculations, construction part, occupational Safety and Health.

Purpose: to improve the technological scheme of cleaning flue gases of heat electropower station - 4

The technological and hydraulic calculation of sewage treatment plants, as well as the calculation of material balance. The drawings of the technological scheme, master plan, transverse and longitudinal sections.

FLUE GASES, ELECTROFILTER, CHP, BOILER, CYCLONE, ADSORBER, GAS DIVIDE.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						8
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		



## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>11</b>
<b>1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....</b>	<b>13</b>
1.1. Характеристика підприємства.....	13
1.2. Опис технології виробництва теплоти і електроенергії на ТЕЦ.....	15
1.3. Історія розвитку підприємства.....	17
1.4. Нормування вмісту шкідливих речовин у продуктах згорання органічного палива.....	18
1.5. Розрахунок гранично допустимого викиду речовин в атмосферне повітря.....	24
<b>2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>27</b>
2.1. Характеристика вихідних та вимоги до очищення газу для викиду.....	27
2.2. Розробка та обґрунтування технологічної схеми очищення газу.....	27
2.3. Матеріальний баланс.....	29
2.3.1. Вихідні данні для розрахунку матеріального балансу...	29
2.3.2. Розрахунок матеріального балансу.....	30
2.4. Теоретичні дані про фізичні та хімічні процеси, які реалізуються в даній технологічній схемі газоочищення.....	34
2.4.1. Мембранне розділення.....	34
2.4.2. Фільтрування.....	35
2.4.3. Електростатичне осадження.....	37
2.4.4. Адсорбція.....	40
2.4.5. Гравітаційне осадження.....	43
2.4.6. Концентрування.....	45
<b>3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД.....</b>	<b>47</b>
3.1. Розрахунок циклону.....	47

3.2. Розрахунок електрофільтру.....	50
3.3. Розрахунок адсорберу.....	54
3.4. Обране обладнання.....	55
<b>4. БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>56</b>
<b>5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	<b>62</b>
5.1 Небезпека ураження електричним струмом.....	62
5.2. Повітря робочої зони.....	63
5.3. Виробничий шум та вібрація.....	65
5.4. Пожежна безпека.....	65
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>68</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>69</b>
ДОДАТОК А	
ДОДАТОК Б	
ДОДАТОК В	

## ВСТУП

Як відомо по країні в атмосферу виділяється більш ніж 17 млн тонн шкідливих речовин. Стан атмосферного повітря в Україні викликає занепокоєність екологічних організацій та медиків. Згідно з даними ВООЗ (Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я), то забруднення повітря є основним екологічним фактором збільшення проблем зі здоров'ям та підвищення рівня смертності. За цим показником лідирує Україна, не вперше котрий рік. І, як наслідок, має високий відсоток захворюваності на різні хвороби.

Джерелами забруднення в Україні є підприємства вугільної промисловості (вугілля як основне паливо), підприємства чорної металургії, енергетики, хімічної та нафтохімічної промисловості. Значний вплив саме на стан атмосферного повітря мають викиди з ТЕЦ, кількість яких щороку зростає. Тенденція зростання забруднення повітря спостерігається, нажаль, найбільше у столиці України.

Це загрожує небезпекою, бо у своєму складі димові гази мають безліч шкідливих речовин: чадний та вуглекислий газ, оксиди азоту, вуглеводні, сажу, бензопірени та важкі метали. Усім відомо, що чадний газ (CO) є надзвичайно небезпечним для людей, оскільки, при потраплянні в організм та з'єднанні з кров'яними тільцями, утворюється процес, який призводить до кисневого голодання організму.

Зокрема, вуглекислий газ та оксиди азоту, які виділяють як ТЕЦ, так і автомобілі є парниковими газами, вони призводять до часткових, а пізніше і серйозних змін клімату. Отже, маємо згубний вплив не лише на людину та її здоров'я, а й для навколишнього середовища. В Україні, а зокрема у великих промислових точках, значна частина забруднення повітря припадає на стаціонарні джерела викидів в атмосферу. Адже велика кількість застарілого обладнання та технологій підприємств по виробництву багатьох продуктів - зумовлюють викиди у катастрофічних обсягах. Всеукраїнська компетенція

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.ЗП</i>	Арк
						11
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

по атмосферному повітрю зазначає, що у 2015 році від підприємств в повітря країни надійшло понад 3,0 млн тонн забруднюючих речовин (на 1,2 млн тонни, або на 28,8% менше, ніж у 2013 році). У 2013 році щільність викидів від стаціонарних джерел забруднення у розрахунку на кілометри квадратні території країни склала 7,1 тон забруднюючих речовин, а на душу населення – 94,8 кг.

Викиди токсичних речовин в атмосферу від теплових електростанцій та теплоелектроцентралей, середній вік яких перевищує 45 років, складають найбільшу частку в промисловому забрудненні повітря. На більшості підприємств ТЕЦ обладнання для очистки від сірки в димових газах не встановлене, а ефективність існуючого пилоочисного обладнання низька, тому викиди забруднюючих речовин на українських ТЕС - одні з найбільших в світі і перевищують стандарти Європейського Союзу в десятки разів.

За оцінкою міжнародних експертів щорічні збитки, спричинені лише шкодою здоров'ю населення від викидів підприємств теплової енергетики, оцінюються в 9,1 млрд євро.

Тому, за наведеними вище причинами було розроблено технологічну схему удосконаленої очистки димових газів на ТЕЦ-4.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						12
<i>Зм.</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# 1 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

## 1.1 Характеристика підприємства

Дарницька тепло-електроцентраль (ТЕЦ-4) – одна з найбільших тепло-електростанцій, розташована на лівому березі Дніпра і її призначення – це забезпечення теплом та електрикою Дарницького, Русанівського та частини Харківського масиву. Потужність станції становить: електрична – 160 МВт, теплова – 1228 Гкал/год.

На даний момент на Дарницькій ТЕЦ працюють три турбоагрегати (потужність ТА №6,7 - по 50 МВт, ТА №5 - 60 МВт, після реконструкції частини високого тиску в 1989 році), п'ять котлоагрегатів з паровою потужністю 220 т/год і один котлоагрегат -170 т/год. Чотири енергетичні котлоагрегати ДТЕЦ реконструйовано: перші два - на водогрійні з тепловою потужністю 105 Гкал/год; третій та четвертий котли - на енергетичні котли, що працюють на понижених параметрах пари (температура пари 350 °С та тиском 1,0-1,3 МПа) і паровою потужністю 155 т/год.

На даний момент часу, відпуск тепла у вигляді гарячої води проводиться по семи тепломагістралях №1,2,3,4,5,6,9. Відпуск електроенергії з електростанції проводиться від відкритих розподільчих пристроїв, розрахованих на напругу 35, 110 кВ, і від закритого розподільчого пристрою ГРУ-10 кВ.

Паливом для енергетичних котлів є вугілля та газ, для пікових водогрійних котлів - природний газ та мазут. Обслуговування і експлуатацію котлів, турбін і допоміжного обладнання проводить персонал котлотурбінного цеху. Для зберігання твердого палива на території ТЕЦ передбачено склад палива ємністю 170 тис. тон, який оснащено краном-перевантажувачем. Для зберігання мазуту на станції передбачено чотири обваловані резервуари ємністю 5000 м<sup>2</sup>. Природний газ подається на ТЕЦ від газорозподільної станції через газорозподільний пункт.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						13
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

Відповідно до рішення Міненерго від 31.12.49 ТЕЦ була спроектована для спалювання в енергетичних котлах палива марки АШ з теплотворною здатністю та тепловіддачею в 6000 ккал/кг як основного та газу(мазузу) – допоміжного, який використовується у періоди значного навантаження на системи. Але в даний час через постачання на станцію не проектного палива з великою зольністю та жорстких норм по викидам шкідливих речовин (ТЕЦ розміщена в середині міста) тверде паливо в паливному балансі використовується частково, а саме 50-80 %.

Теплова схема електростанції передбачає поперечні зв'язки по пару та воді й була розроблена на основі принципової теплової схеми турбіни ПТ-60.

Теплоелектроцентральної спроектована в помірній кліматичній зоні. Кількість атмосферних опадів складає 652 мм в рік. Температури атмосферного повітря для даних кліматичних умов, що характерні для міста Києва, наведено нижче:

розрахункова температура повітря, для опалення -  $t_{po} = -21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

середньомісячна температура повітря, для самого холодного місяця -  $t_{сер(х.м.)} = -3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

середня температура повітря за опалювальний період -  $t_{сер.о} + 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В якості системи технічного водозабезпечення була обрана оборотна система з градирнями. Але, взагалі, згідно проекту конденсацію відпрацьованої пари в турбіні на ДТЕЦ можна проводити двома шляхами:

- переведення турбіни в режим з погіршеним вакуумом або охолодження конденсатора турбіни мережною водою;
- використання оборотної системи охолодження з градирнею №1.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						14
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

Димові гази від енергетичних та водогрійних котлів відводяться в атмосферу по трьох трубах висотою 100 м та діаметром гирла 7 м

## **1.2. Опис технології виробництва теплоти і електроенергії на ТЕЦ**

Теплоелектроцентраль (ТЕЦ) призначена для комбінованого виробництва тепла та електроенергії. ТЕЦ являє собою комплекс технологічного обладнання, за допомогою якого енергія органічного палива – кам'яного вугілля, мазуту, природного газу - перетворюється у електроенергію та тепло у вигляді гарячої води або пари, яке використовується побутовими чи промисловими споживачами.

Ралізація процесу виробництва тепла та електроенергії здійснюється в наступній послідовності:

1. Приймання кам'яного вугілля та мазуту, їх розвантаження складування та подача до котлоагрегатів виконується персоналом паливно-транспортного цеху, в розпорядженні якого знаходиться наступне обладнання: вагоноперекидач, ваги (вагонні та стрічкові), паливний склад, система стрічкових конвеєрів, вузлів пересипки та іншого обладнання.

Мазут на станцію подається в залізничних цистернах. Його вивантаження здійснюється з допомогою системи розігріву та спеціального насосного обладнання. Складування мазуту здійснюється в спеціальних мазутних ємностях.

Природний газ на станцію подається через станційний газорегуляторний пункт – ГРП, на якому здійснюється регулювання тиску природного газу та його облік.

2. Наступною ланкою технології є котлотурбінний цех (КТЦ).

В котлоагрегатах КТЦ внутрішня енергія органічного палива в результаті його керованого спалювання передається так званому робочому тілу (відповідним чином хімічно очищеній воді), яке у вигляді пари високих

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						15
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

параметрів ( $p=100\text{кг/см}^2$ ,  $T= 540^\circ\text{C}$ ) виходить з котлів і поступає на турбіни. В турбінах потенціальна енергія пари високих параметрів перетворюється в кінетичну енергію обертання ротора турбіни, який з допомогою муфти з'єднаний з ротором електричного генератора.

3. В електрогенераторі механічна енергія перетворюється в електричну, яка через систему електричних апаратів (трансформатор, вимикач, лінії зв'язку та ін.) передається в зовнішні електричні мережі та на власні потреби, що забезпечують функціонування виробничого комплексу. Все електротехнічне обладнання станції обслуговується персоналом електричного цеху.

Виробництво теплової енергії здійснюється в наступній послідовності:

1. Частина водяної пари, що розширяється в турбіні, після проходження частини її ступіней і зниження параметрів до  $(1,2 - 13)\text{кг/см}^2$ , відбирається з проточної частини турбін та подається на бойлери – пароводяні підігрівачі, в яких здійснюється підігрів мережної води, яка і поступає до споживача.

2. Відпрацьована пара, що пройшла через всю проточну частину турбіни поступає в конденсатор, де з допомогою циркуляційної води конденсується та знову у вигляді конденсату поступає в технологічний цикл (тепло конденсації пари, що передається в конденсаторі циркуляційній воді, з допомогою спеціальних технологічних споруд – градирень скидається в атмосферу). Таким чином здійснюється комбіноване виробництво тепла та електроенергії.

Якщо пари відборів недостатньо для підігріву мережної води до необхідної температури (визначається температурою зовнішнього повітря), в роботу включають водогрійні котлоагрегати, в яких мережна вода догрівається до необхідної температури.

Для забезпечення необхідної якості води, контролю за станом теплоносія на всіх етапах його перетворень в котлоагрегатах, турбінах та

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						16
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		



інших технологічних пристроях, приготування додаткової води для поповнення втрат в основному циклі та для підживлення теплових мереж на ТЕЦ функціонує хімічний цех.

Цех теплової автоматики та вимірювань (ЦТАВ) здійснює вимірювання всіх параметрів, що визначають якість, надійність та безпеку технологічних процесів, а також забезпечує автоматизацію технологічних процесів в обсязі, визначеному нормативно-технічними документами.

### 1.3 Історія розвитку підприємства

Дарницька ТЕЦ (ТОВ «Євро-Реконструкція») була забудована двома чергами, відповідно у різні роки. Перша черга – чотири турбоагрегати по 25 тис. КВт та п'ять котлоагрегатів продуктивністю по 170 т/год, друга черга – три турбоагрегати по 50 тис. КВт та п'ять котлоагрегатів продуктивністю по 220 т/год.

В період з 1960 р. – 1970 р. була найпотужнішою в усій Європі. Перший агрегат потужністю 25 МВт був введений в експлуатацію в березні 1954 року, другий – в серпні 1954 року..

В період 1989-1993 років теплова і електрична потужність електростанції значно зменшилась за рахунок матеріального спрацювання обладнання та неполадок (було демонтовано чотири турбіни ПТ-25), а також неспроможності сплачувати споживачами теплової та електричної енергії завищених тарифів на відпущене тепло та електроенергію через знецінення національної грошової одиниці.

Проект станції був вирішений та розроблений Київським відділенням інституту «Теплоелектропроект», проект був дуже вдалим для свого часу, що був прийнятий при проектуванні 16 електростанцій в нашій країні та за кордоном.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						17
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

На станції Дарницької ТЕЦ-4 діє програма модернізації до 2020 року, планується провести реконструкцію і збільшити встановлену потужність ТЕЦ за рахунок будівництва трьох блоків парогазових установок фірми Siemens потужністю по 47 МВт кожен та впровадження в роботу набір електрофільтрів, тим самим забезпечивши перехід від мокрого золовловлення, до електростатичного.

З 2012 року власником Дарницької ТЕЦ є ТОВ «Євро-Реконструкція».

#### **1.4 Нормування вмісту шкідливих речовин у продуктах згорання органічного палива**

У продуктах згорання органічного палива, передусім у димових газах ТЕЦ, опалювально-виробничих котельнях та інших промислових і транспортних об'єктів міститься велика кількість шкідливих для навколишнього середовища токсичних речовин. Загалом об'єми викидів теплоенергетичних установок залежать від типу палива і потужності об'єкта.

Для електроенергетичної галузі, що витрачає понад 20 % котельно-пічного палива від загального рівня його споживання, характерним є збільшення викидів.

Як бачимо, у теплоенергетиці України конкуруючими видами палива є вугілля і природний газ, кожний із яких має свої переваги і недоліки, проте домінантним для тепло-електроцентралі-4 є вугілля.

З технологічного погляду перевагана боці природного газу як вискококалорійного екологічно чистого палива. Газ легко транспортується, зручний для застосування в сучасних енергетичних технологіях, таких, наприклад, як парогазові установки з електричним ККД на рівні 60-70 %. Стосовно об'єму видобутку газу в Україні (близько 30 млрд м<sup>3</sup>/рік) задовольняє потребу в ньому лише на 22 %. Тому з погляду енергетичної безпеки, то основним (стратегічним) паливом для України залишається вугілля, промислові запаси якого становлять - 28 млрд т. Це може

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.ЗП</i>	Арк
						18
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

задовольнити потребу в ньому для України протягом багатьох сторіч. Незважаючи на те, що останнім часом річний видобуток вугілля знизився до 70 млн т, потенціал вугільної галузі оцінюють приблизно в 110 млн т/рік. Якість вугілля зі схрду, з Донецької області: досить висока:  $Q_p = 22,2...26,6$  МДж/кг, середня зольність - 22,6 %, хоча в процесі видобутку зольність підвищується до 27-35 %, а теплота згорання зменшується до  $Q_H = 14,8...21,3$  МДж/кг.

Токсичні і небезпечні викиди відмінно одна від одного впливають на навколишнє середовище і мають різні масштаби і розміри розсіювання факелу і трансформації в атмосфері

Залежно від особливостей впливу на навколишнє середовище всі шкідливі речовини розділяють на певні чотири класи небезпеки: 1 - надзвичайно небезпечні (бензапірен  $C_{20}H_{12}$ ); 2 - високонебезпечні (формальдегід  $CH(OH)$ , діоксид азоту  $NO_2$ ); 3 - помірно небезпечні (сажа С, діоксид сірки  $SO_2$ , оксид азоту  $NO$ ); 4 - малонебезпечні (аміак  $NH_3$ , оксид вуглецю  $CO$ ).

Концентрацію шкідливих речовин в атмосфері відповідно нормують. Для цього вводять ГДК, ГДВ, характерні для кожної речовини, і визначення, що змінюються залежно від умов, концентрації.

Показник ГДВ розраховується кожним підприємством, враховуючи фонову концентрацію забруднення.

Розрізняють такі рівні ГДК:

- Гранично-допустима максимальна разова концентрація (ГДКм. р) шкідливих речовин у повітрі, що не викликає протягом 30 хвилин рефлекторних реакцій в організмі людини;
- Гранично-допустима середньодобова концентрація (ГДКсд) речовини в повітрі, що шкідливо не впливає на людину упротязі невизначеного тривалого періоду (років).

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						19
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

Норми гранично-допустимих концентрацій є важливою характеристикою контролю рівня забруднень. Вони різняться для різних країн і регіонів як установленим рівнем ГДК, так і періодом спостереження відповідних концентрацій.

Крім того, для промислових підприємств встановлюють ГДК робочої зони (ГДКр.з).

Як уже відзначено, крім нормування ГДК на рівні дихання людини, існує нормування рівня допустимих концентрацій на виході з димових труб ТЕС. Наприклад, для димових газів ТЕС та інших енергетичних і промислових об'єктів ГДК шкідливих речовин установлює відповідність стану повітряного середовища населених місцевостей гігієнічним нормам у найнесприятливіших метеорологічних умовах.

Для котлоагрегатів норми ГДК оксидів азоту NO<sub>x</sub> у країнах СНД установлюють, виходячи з концентрації кисню в димових газах на рівні 6 %, вони залежать від категорії котлоагрегатів і типу палива.

Під час роботи джерел енергії присутні такі фактори шкідливого впливу на навколишнє середовища:

- використання атмосферного кисню та викидання продуктів повного спалювання CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O;
- теплові викиди;
- шумове забруднення;
- шкідливі викиди в атмосферу.

Для зменшення **використання атмосферного кисню** та викидання продуктів повного спалювання необхідно:

1) підвищувати коефіцієнт корисної дії (ККД) обладнання, тобто виробляти теплоту за рахунок спалювання меншої кількості палива, та шляхом модернізації;

2) зменшувати металоємкість та габарити обладнання, що дозволить економити паливо в процесі виробництва матеріалів та монтажу обладнання;

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						20
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

3) використовувати менш енергоємні та теплоємні матеріали для виробництва обладнання та монтажних робіт.

**Теплові викиди** пов'язані з високою температурою продуктів згорання, шлаку, а також ступенем теплоізоляції огорожувальних конструкцій обладнання.

Шум є більш впливовим фактором для котлоагрегатів великої та середньої потужності, також для дробарок, млинів та подрібнювачів вугілля. Проте при роботі водогрійних котлів малої потужності та опалювальних апаратів шум не перевищує допустимих значень.

**Шкідливими викидами** в атмосферу під час спалювання палива є:

- частинки незгорілого палива;
- окисди азоту NO та NO<sub>2</sub>
- окисли сірки SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>;
- сажа C;
- зола;
- продукти неповного або часткового згорання CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, H<sub>2</sub> тощо;

Відомо, що забруднення атмосферного повітря окисдами сірки та азоту, що пов'язані з діяльністю людини, складають лише 7% та 50% від загальної їх кількості, але штучні викиди характеризуються значною нерівномірністю розподілу, тому великим містам та промисловим центрам відповідають найбільші рівні забруднення атмосферного повітря.

Оскільки забруднення повітря погіршує стан здоров'я людей, їхню продуктивність праці, знижує продуктивність та плодовитість худоби та птиці, отруює рослини, особливо фруктові, пришвидшує корозію металевих поверхонь в 10...20 разів. Тому програми та заходи по зменшенню шкідливих викидів при спалюванні палива не є збитковими, але необхідно багато затрат та нових інженерних рішень, щоб привести до ладу ТЕЦ, яким вже більш як 80 років і які не мають належного стану.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						21
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

Всі котли та паливовловлюючі установки, що сертифікуються в Україні, проходять перевірку по відповідності екологічних показників, в тому числі по концентрації викидів  $\text{NO}_x$  та  $\text{CO}$ .

Існує чотири основних способи зменшення шкідливих викидів:

- очищення палива, його збагачення від складових, що можуть утворювати шкідливі речовини;
- приглушення утворення шкідливих речовин;
- випалювання шкідливих речовин;
- очищення димових газів від шкідливих речовин, що утворилися під час спалювання палива.

Під час спалювання палива, а особливо природного газу та біогазу, на перше місце виходять **оксиди азоту**  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO} + \text{NO}_2$ ).

В атмосфері  $\text{NO}_2$  (газ червоного кольору) зменшує прозорість повітря та кількість ультрафіолетового випромінювання, що падає на Землю. Це призводить до виникнення „смогів” чи так званої димки, в якій бере ще участь тепературна стратифікація. Крім того, при наявності озону він окислюється до  $\text{NO}_3$  і може бути причиною „кислотних дощів”.

До основних методів **придушення утворення  $\text{NO}_x$**  можна віднести методи, суть яких полягає у зменшенні температури в зоні горіння і концентрацій реагуючих речовин:

- рециркуляція охолоджених газів;
- спалювання палива у дві стадії;
- зменшення коефіцієнта надлишку повітря в топці;
- подавання води або пари в зону горіння;
- перерозподіл теплової потужності між пальниками і вирівнювання температур в топці;
- збільшення тепловіддачі в районі амбразури пальника;
- встановлення двосвітних екранів в топці;
- використання проміжних випромінювачів в топці.

До основних методів **очищення газів від  $\text{NO}_x$**  відносять:

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.ЗП	Арк
						22
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

- амміачно-каталітичне очищення;
- введення аміаку в газохід з температурою 850...1200<sup>o</sup>C;
- окислення до N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, а потім розчинення в воді

Біля 50 % всіх **оксидів сірки** (SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>) утворюються при спалюванні палива, в металургії та нафтопереробці, а збитки від таких викидів складають біля 55% від загальних збитків від забруднення атммосфери.

При контакті з водяною парою в атмосфері SO<sub>2</sub> та SO<sub>3</sub> утворюють сірчану та сірчасту кислоту, що спричиняє погіршення здоров'я людини, зниження прозорості атмосфери, руйнування сталевих конструкцій, зменшення врожайності сільськогосподарських культур.

Найбільші викиди окислів сірки присутні при спалюванні високосірчастого вугілля та мазутів. При роботі на природному газі вміст SO<sub>2</sub> у відхідних газах незначний або взагалі відсутній.

Основні методи **очищення палива** від сполук сірки:

- поглинання H<sub>2</sub>S оксидом заліза;
- введення присадок до палива;
- відбракування палив з вмістом сфїрки S<sup>p</sup>>1%.

Для **очищення продуктів згорання** від SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> використовують такі методи:

- зрошення димових газів в скрубєрі вапняковим молоком;
- амїачно-циклїчний метод;
- вдодавання(вдув) в топку CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>;
- окислення з участю ванадієвого каталїзатора;
- окислення озоном;
- содовий або миш'яково-содовий метод.

Як відомо, **сажа** – тверді частинки розміром 10...350 нм, які містять до 90 % вуглецю. Це є продукт неповного згорання вуглеводневих палив або термічного розкладання вуглеводнів. З одного боку – сажа це корисний продукт, що використовується у хїмічній промисловості, поліграфії, чи як матеріал тощо, з іншого – шкідливий викид в атмосферу. Сажа містить

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						23
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

канцерогенні елементи, на її поверхні відбувається перетворення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_4^{2-}$  та  $\text{NO}_x$  та  $\text{NO}_3^-$ .

В більшості випадків утворення сажі і пов'язаний з цим хімічний та механічний недопал є наслідком особливостей схемно-режимної організації спалювання.

З одного боку – із ростом температури зростає швидкість утворення сажі в зв'язку з процесами термічного розкладання вуглеводнів; з іншого – покращується окислення  $\text{C}_x\text{H}_y$ . Отже можна вважати, що сажа – проміжний продукт спалювання, оскільки при правильній організації горіння утворені частинки сажі при достатній температурі, присутності окислювача та водню окислюються з утворенням  $\text{CO}$  та  $\text{CO}_2$ .

**Зола** – тверді часточки, які утворились в димових газах внаслідок присутності різноанітних домішок мінерального складу.

**Окис вуглецю  $\text{CO}$**  – високотоксична речовина, яка добре реагує з гемоглобіном у крові, що призводить до отруєння організму. Найбільші викиди супроводжують роботу бензинових та дизельних двигунів та підприємств чорної металургії, з викидами від ТЕЦ – ситуація не така фатальна.

Питомі викиди  $\text{CO}$  при спалюванні природного газу в котлах малої потужності достатньо високі, в порівнянні з роботою великих котлоагрегатів. Це призводить до суттєвої нерівномірності викидів і збільшення концентрації  $\text{CO}$  в густонаселених місцях.

Зменшення викидів  $\text{CO}$  досягається рівномірним розподілом температур в топці. Слід відзначити, що більшість методів придушення утворення  $\text{NO}_x$  призводять до підвищення концентрації  $\text{CO}$  у відхідних газах. Винятком є методи вприскування води і пари, оскільки введення додаткової кількості  $\text{H}_2\text{O}$  призводить до утворення надлишкових радикалів  $\text{OH}$  і покращення окислення  $\text{CO}$ .

### 1.5. Розрахунок гранично допустимого викиду речовин в атмосферне повітря

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						24
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		



Вихідні дані для розрахунку ГДВ:

Безрозмірний коефіцієнт, що враховує температурну стратифікацію атмосфери:  $A = 160$

Висота гирла:  $H = 100$  м

Діаметр гирла:  $D = 7$  м

Різниця температур між газоповітряною сумішшю та температурою навколишнього середовища:  $\Delta T = 50^\circ\text{C}$

Безрозмірний коефіцієнт, що враховує характеристики речовин що викидаються:  $F = 1$

Коефіцієнт рельєфу місцевості:  $\eta = 1$

Речовина, що викидається	$C_f$ , мг/м <sup>3</sup>	ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Пил	0,11	0,5
CO	1,87	5
NO <sub>x</sub>	0,031	0,085
SO <sub>2</sub>	0,011	0,5

Табл. 1 – Таблиця даних

Швидкість викиду газів:  $w_0 = 5,5$  м/с

Розрахуємо об'єм газоповітряної суміші:

$$V_1 = \frac{\pi * D^2}{4} * w_0, \quad (1.1)$$

$D$  – діаметр труби,  $w_0$  – швидкість газоповітряної суміші

$$V_1 = \frac{3,14 * 7^2}{4} * 5,5 = 30,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

Визначимо коефіцієнт  $m$ :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}, \quad (1.2)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,34} + 0,34\sqrt[3]{0,34}} = 1,29$$

$$f = 10^3 \frac{w_0^2 D}{H^2 \Delta T} = 10^3 \frac{5,5^2 * 7}{100^2 * 974} = 0,022 \quad (1.3)$$

Визначаємо коефіцієнт  $n$ :

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						25
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

Значення цього безрозмірного коефіцієнту визначається за рівнянням незалежно від параметра  $V_m$ .

$$V_m = 0,65 * \sqrt[3]{\frac{V_1 * \Delta T}{H}}, \text{ де} \quad (1.4)$$

$\Delta T$  – різниця температур газоповітряної суміші та навколишнього середовища,  $H$  – висота труби

$$V_m = 0,65 * \sqrt[3]{\frac{30,2 * 974}{100}} = 6,65$$

Оскільки  $V_m > 2$ , то  $n = 1$

ГДВ для речовин:

$$\Gamma_{ДВ} = \frac{(\Gamma_{ДК} - C_{ф}) * H^2 \sqrt[3]{V * \Delta T}}{A F m n \eta} \text{ г/с} \quad (1.5)$$

де  $A$  — коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери та визначає умови горизонтального розсіювання атмосферних домішок;  $F$  — безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосфері;  $m$ ,  $n$  — безрозмірні коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з отвору джерела викиду;  $H$  — висота джерела викиду над рівнем землі, м;  $\Delta T$  — різниця між температурою газоповітряної суміші  $T_g$  що викидається, та температурою навколишнього повітря  $T_n$ , °C;  $V$  — об'єм газоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с

$$\Gamma_{ДВ_{Пил}} = \frac{(0,5 - 0,11) * 100^2 \sqrt[3]{30,2 * 50}}{160 * 1 * 1,29 * 1 * 1} = 64,05 \text{ г/с};$$

$$\Gamma_{ДВ_{CO}} = \frac{(5 - 1,87) * 100^2 \sqrt[3]{30,2 * 50}}{160 * 1 * 1,29 * 1 * 1} = 514 \text{ г/с};$$

$$\Gamma_{ДВ_{NOx}} = \frac{(0,085 - 0,031) * 100^2 \sqrt[3]{30,2 * 50}}{160 * 1 * 1,29 * 1 * 1} = 8,86 \text{ г/с};$$

$$\Gamma_{ДВ_{SO2}} = \frac{(0,5 - 0,011) * 100^2 \sqrt[3]{30,2 * 50}}{160 * 1 * 1,29 * 1 * 1} = 80,32 \text{ г/с};$$

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика вихідних та вимоги до очищеного газу для викиду

Показники концентрацій елементів димових газів, що поступають на очистку після згорання наведені в таблиці 1.

Об'ємна витрата газу в робочих умовах складає 98 496 м<sup>3</sup>/год.

Табл. 2 - Характеристика вихідного газу та ГДК до них

№	Склад газу	Характеристика вихідного газу, мг/м <sup>3</sup>	ГДК, мг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4
1	NO <sub>x</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	1258	0,085
2	CO, мг/дм <sup>3</sup>	229	5
3	SO <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	3245	0,5
4	Частки (Пил)	6590	0,5

### 2.2 Розробка та обґрунтування технологічної схеми очищення газу

Виходячи з характеристик димових газів ТЕЦ-4 доцільним є вибір технологічної схеми очистки газу з використанням газорозділюючого модулю, жалюзійного пиловловлювача, електрофільтру, циклону та адсорберу. Ця схема є раціональною та економічно-доцільною для очищення димових газів.

З бункеру з вугіллям (1) вугілля подається до пальника (2) після чого у котлі (4) гарячий димовий газ підігріває барабан котла (5) вода в якому нагріветься і пар потрапляє на парову турбіну.

Гарячий димовий газ проходить через жаростійкі жалюзійні пиловловлювачі (6), де часточки >20 мкм потрапляють через дуттєвий насос (димосос) (7) до циклону з 10% повітря від загальної (3), а часточки < 20 мкм відправляються з потоком повітря на охолодження до теплообмінника (10).

Повітря подається через дуттєвий насос (димосос) (7) проходить через фільтр (8) і потрапляє на мембранний апарат (газорозділюючий модуль) (9), де відбувається концентрація кисню  $O_2$  та очищення від азоту  $N_2$ . Збагачене киснем повітря проходить через дуттєвий насос (димосос) (7) та подається на теплообмінник (10), де охолоджує димові гази, після чого відправляється на підживлення до пальника (2).

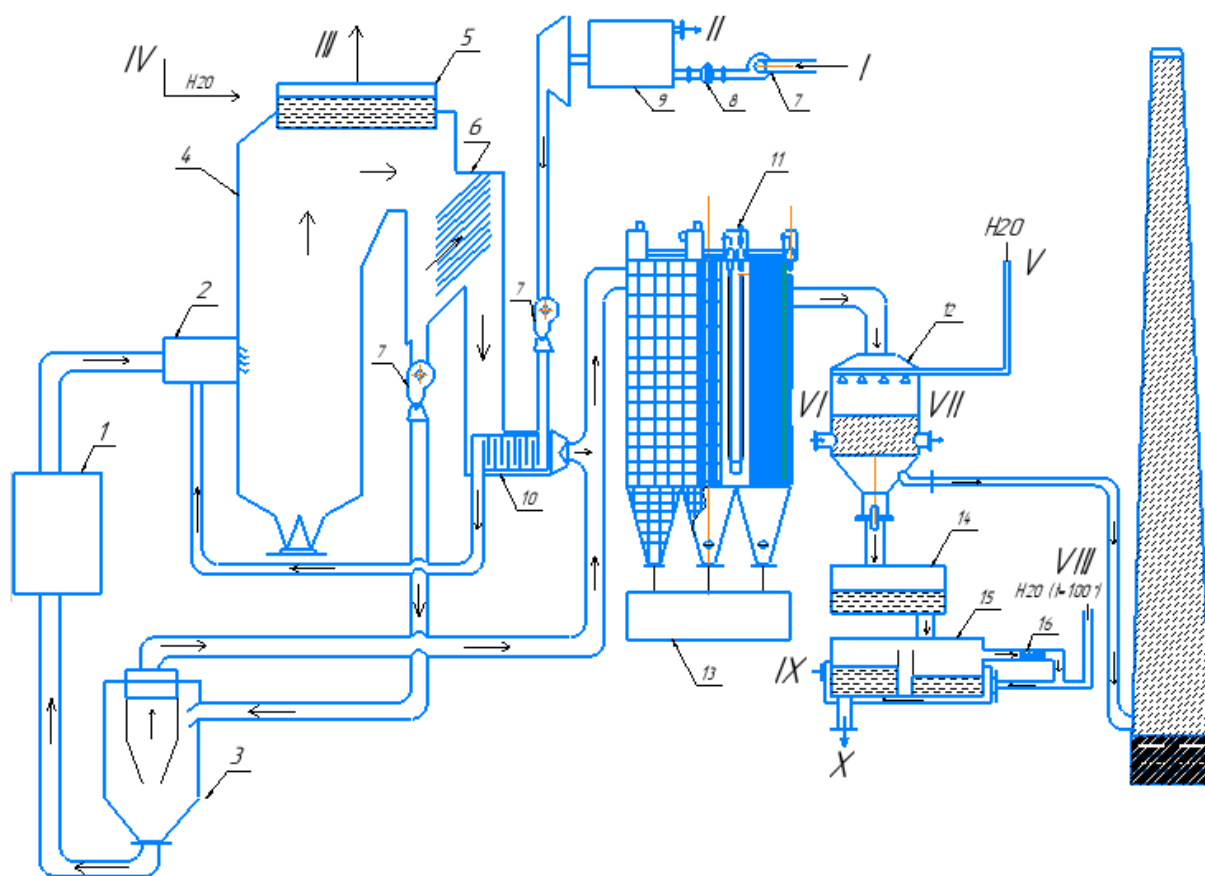


Рис. 1 – Технологічна схема очистки димових газів

1 – бункер з вугіллям; 2 – пальник; 3- циклон; 4 – котел; 5 – барабан котла; 6 – жалюзійний пиловловлювач; 7 – димосос; 8 – фільтр ; 9 – мембранний апарат; 10 – теплообмінник; 11 – електрофільтр; 12 – адсорбер; 13 – бункер збору золи; 14 – Ємність з 20%  $H_2SO_4$ ; 15 – Концентратор  $H_2SO_4$  до 70% ; 16 – холодильник;

I - вхід газу; II – вихід N<sub>2</sub>; III - подача пари на турбіну; IV – підживлення водою; V – подача води на зрошення; VI – завантаження адсорбенту; VII – вивантаження адсорбенту; VIII – подача води на випарювання; IX – вихід води після процесу випарювання; X – вихід 70% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Очищене повітря після циклону(3) повертається до основного потоку, та відправляється на електрофільтр (11). Очищене від часточок, що потрапили в бункер збору золи(13), газ потрапляє на адсорбер з активованим вугіллям (12) на доочистку від SO<sub>2</sub>. В ході сорбції із водяним зрошенням отримуємо 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, яка потрапляє у ємність для кислоти (14), після чого кислота прямує у концентратор H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(15) де випарюється до 70%. Вода яка випаровується відправлено через холодильник (16) до потоку гарячої води, що відправляється в кожух для випарювання.

Очищений газ, після адсорберу (12) надходить до труби.

## 2.3 Матеріальний баланс

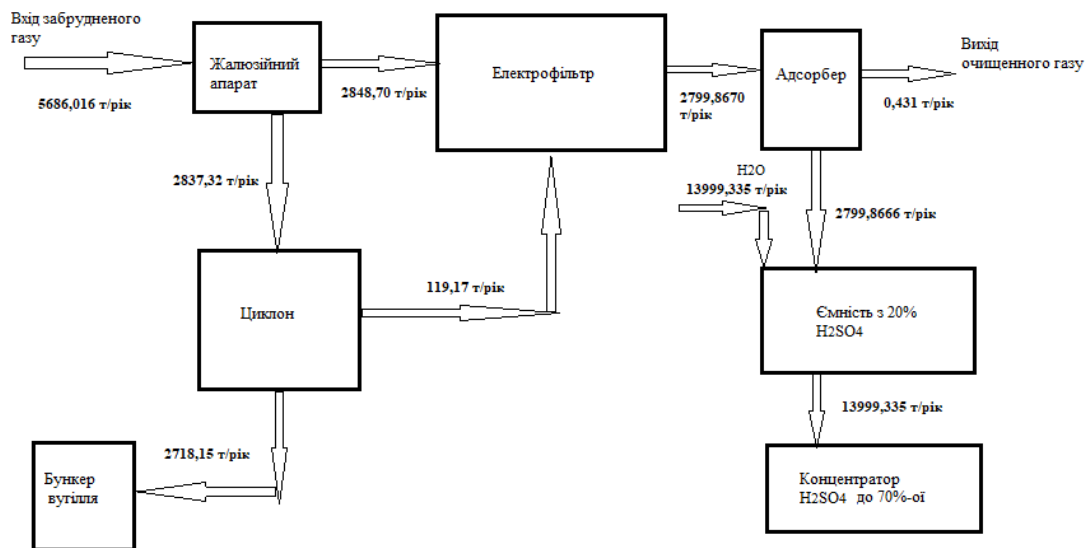
### 2.3.1. Вихідні дані для розрахунку матеріального балансу

Вихідні дані до розрахунку матеріального балансу наведені в табл 2.

Табл. 3 - Вихідні дані до розрахунку матеріального балансу

Параметр	Значення
Витрата газоповітряної суміші, м <sup>3</sup> /год	98 486
Ефективність очистки на жалюзійному пиловловлювачі, %	50
Ефективність очистки на циклоні, %	95,8
Ефективність очистки на електрофільтрі, %	99,9

## Блок-схема матеріального балансу газоочисних споруд



### 2.3.2. Розрахунки матеріального балансу

Розраховуємо об'ємну витрату газу за рік:

$$V_p = V_r * 365 * 24, \quad (2.1)$$

де  $V_r$  – об'ємна витрата газу;

$$V_p = 98\,496 * 365 * 24 = 862\,824\,960 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Розраховуємо масу вхідного пилу:

$$m_{l(vx)} = V_p * C_{vx}, \quad (2.2)$$

де  $V_p$  – об'ємна витрата газу за рік,  $C_{vx}$  – концентрація вхідного пилу;

$$m_{l(vx)} = 862\,824\,960 * 0,00659 = 5686016,49 \text{ кг/рік} = 5686,016 \text{ т/рік}$$

Розраховуємо кількість пилу, що видалилась після жалюзійного пиловловлювача:

$$m_2 = m_{l(vx)} * \eta_1, \quad (2.3)$$

де  $m_{l(vx)}$  – маса вхідного пилу,  $\eta_1$  – ефективність очищення на жалюзійному пиловловлювачі;

$$m_2 = 5686,016 * 0,499 = 2837,32 \text{ т/рік}$$

Кількість пилу, що подається на електрофільтр:

$$m_3 = m_{l(vx)} - m_2, \quad (2.4)$$

де  $m_{1(вх)}$  – маса вхідного пилу,  $m_2$  - кількість пилу, що видалилась після жалюзійного пиловловлювача;

$$m_3 = 5686,016 - 2837,32 = 2848,70 \text{ т/рік}$$

Визначаємо концентрацію пилу вхідних газів після жалюзійного жалюзійного пиловловлювача:

$$C_1 = m_3 / V_p, \quad (2.5)$$

де  $m_3$  - кількість пилу, що подається на електрофільтр,  $V_p$  – об’ємна витрата газу за рік;

$$C_1 = 2848,70 / 862\,824\,960 = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ т/м}^3 = 3300 \text{ мг/м}^3$$

Кількість пилу, що видалилась в циклоні:

$$m_4 = m_2 \cdot \eta_2, \quad (2.6)$$

де  $m_2$  - кількість пилу, що видалилась після жалюзійного пиловловлювача,  $\eta_2$  – ефективність очищення на циклоні;

$$m_4 = 2837,32 \cdot 0,958 = 2718,15 \text{ т/рік}$$

Кількість пилу, що поступає на електрофільтр після циклону:

$$m_5 = m_2 - m_4, \quad (2.7)$$

де  $m_2$  - кількість пилу, що видалилась після жалюзійного пиловловлювача,  $m_4$  - кількість пилу, що видалилась в циклоні;

$$m_5 = 2837,32 - 2718,15 = 119,17 \text{ т/рік}$$

Визначаємо концентрацію пилу вхідних газів після циклону:

$$C_2 = m_5 / V_p, \quad (2.8)$$

де  $m_5$  - кількість пилу, що поступає на електрофільтр після циклону,  $V_p$  – об’ємна витрата газу за рік ;

$$C_2 = 119,17 / 862\,824\,960 = 1,38 \cdot 10^{-7} \text{ т/м}^3 = 138 \text{ мг/м}^3$$

Сумарна кількість пилу після жалюзійного пиловловлювача та циклону:

$$m_6 = m_3 + m_5, \quad (2.9)$$

де  $m_3$  - кількість пилу, що подається на електрофільтр,  $m_5$  - кількість пилу, що поступає на електрофільтр після циклону;

$$m_6 = 2848,70 + 119,17 = 2967,87 \text{ т/рік}$$

Кількість пилу, що видалилась на електрофільтрі:

$$m_7 = m_6 * \eta_3, \quad (2.10)$$

де  $m_6$  - сумарна кількість пилу після жалюзійного пиловловлювача та циклону,  $\eta_3$  – ефективність електрофільтра;

$$m_7 = 2967,87 * 0,99986 = 2967,46 \text{ т/рік}$$

Кількість пилу, що викидається в повітря:

$$m_8 = m_6 - m_7, \quad (2.11)$$

де  $m_6$  - сумарна кількість пилу після жалюзійного пиловловлювача та циклону,  $m_7$  - кількість пилу, що видалилась на електрофільтрі;

$$m_8 = 2967,87 - 2967,46 = 0,431 \text{ т/рік} = 0,014 \text{ г/с},$$

що задовольняє ГДВ по пилу, яке становить 64,05 г/с.

Концентрація вихідного пилу:

$$C_{\text{вих}} = m_8 / V_p, \quad (2.12)$$

де  $m_8$  - кількість пилу, що викидається в повітря,  $V_p$  – об’ємна витрата газу за рік

$C_{\text{вих}} = 0,431 / 862\,824\,960 = 4,9 * 10^{-10} \text{ т/м}^3 = 0,49 \text{ мг/м}^3$ , що задовольняє ГДК по пилу 0,5 мг/м<sup>3</sup>

Розраховується маса SO<sub>2</sub>, що подається на очищення:

$$m_9 = V_p * C_{\text{SO}_2}, \quad (2.13)$$

де  $V_p$  – об’ємна витрата газу за рік,  $C_{\text{SO}_2}$  – концентрація SO<sub>2</sub>

$$m_9 = 862\,824\,960 * 0,003245 = 2799867 \text{ кг/рік} = 2799,87 \text{ т/рік}$$

Ефективність адсорберу становить 99,2%

Маса SO<sub>2</sub>, що видалилась після адсорберу:

$$m_{10} = m_9 * \eta_4, \quad (2.14)$$

де  $m_9$  - маса SO<sub>2</sub>, що подається на очищення,  $\eta_4$  – ефективність адсорберу;

$$m_{10} = 2799,87 * 0,992 = 2777,5 \text{ т/рік}$$

Різниця маси SO<sub>2</sub> до та після очистки:

$$m_{11} = m_9 - m_{10}, \quad (2.15)$$

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						32
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		



де  $m_9$  - маса  $SO_2$ , що подається на очщення,  $m_{10}$  - маса  $SO_2$ , що видалилась після адсорберу

$$m_{11} = 2799,87 - 2777,5 = 22,37 \text{ т/рік} = 0,7 \text{ г/с, що задовольняє}$$

ГДВ по  $SO_2$ , яке становить 80,32 г/с

Цій масі відповідає концентрація  $SO_2$  після очищення:

$$C'_{SO_2} = m_{11} / V_p, \quad (2.16)$$

де  $m_{11}$  - різниця маси  $SO_2$  до та після очистки,  $V_p$  – об'ємна витрата газу за рік

$$C'_{SO_2} = 22,37 / 862\,824\,960 = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ т/м}^3 = 0,25 \text{ мг/м}^3, \text{ що задовольняє нормам ГДК} = 0,5 \text{ мг/м}^3.$$

Кількість 10%  $H_2SO_4$  становить:

$$m_{\text{к-ти}} = m_9 \cdot 10\%, \quad (2.17)$$

де  $m_9$  - маса  $SO_2$ , що подається на очщення

$$m_{\text{к-ти}} = 2799,87 \cdot 0,1 = 27998,67 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Кількість 20%  $H_2SO_4$ , що відправляється на концентратор (упарювач) становить:

$$m_{\text{к-ти}}(2) = m_{\text{к-ти}}/2, \quad (2.18)$$

$$m_{\text{к-ти}}(2) = 27998,67/2 = 13999,335 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Кількість води що випарюється становить:

$$m_{\text{води}} = m_{\text{к-ти}} \cdot 0,5, \quad (2.19)$$

$$m_{\text{води}} = 13999,335 \cdot 0,5 = 6999,67 \text{ т/рік}$$

Кількість 70%  $H_2SO_4$  становить:

$$m_{\text{к-ти}}(3) = 6999,67 \text{ т/рік}$$

Дана технологічна схема, з урахуванням розрахунків, скорочує кількість димових газів в навколишнє природне середовище до мінімального значення. Запропонована схема забезпечує очистку від пилу, диоксиду сірки та оксидів азоту.

## 2.4 Теоретичні дані про фізичні та хімічні процеси, які реалізуються в даній технологічній схемі газоочистки.

Розглянемо детально кожен процес, який використовується в системі очистки димових газів з точки зору теорії. Технологічна схема очистки димових газів ТЕЦ включає в себе: мембранне розділення, фільтрування, електростатичне осадження, адсорбція, гравітаційне осадження, концентрування.

### 2.4.1. Мембранне розділення газів

Принцип роботи мембранних кисневих установок повторює основу функціонування азотних мембранних систем - він полягає в різній швидкості проникнення азоту і кисню через матеріал мембрани. Різниця полягає в тому, що кисень є цільовим продуктом, який виходить під невеликим надлишковим тиском, на відміну від азоту.

Кисень чистотою приблизно 30-45%, що виробляється повітророзподільну мембранними установками, може використовуватися в різних галузях промисловості для вирішення широкого спектру різноманітних завдань. Наприклад, кисень такої чистоти застосовується в різних технологічних процесах на металургійних підприємствах, при зварюванні і різанні металів.

На рисунку 2 і 3 зображений принцип роботи мембранного розділення газів.

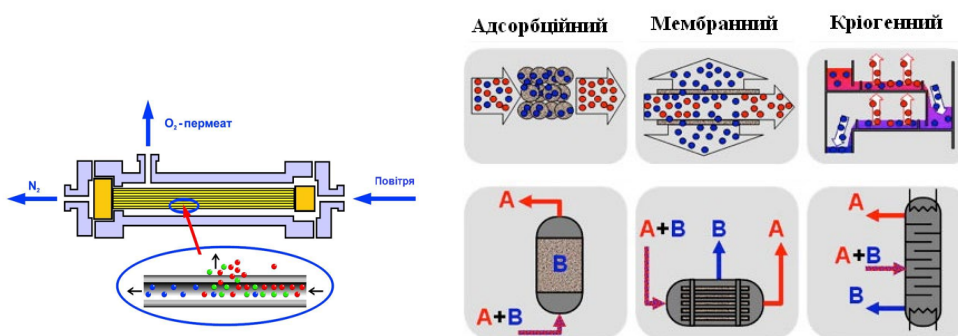


Рис. 2 і 3 – Мембранний газорозділювач і схема роботи

Мембранні установки для розділення повітря в залежності від призначення можуть працювати в режимі отримання або збагаченого киснем потоку, або технічного азоту. При цьому в промислових установках використовується вакуумна схема або компресійна схема, в якій вихідний повітря подається на установку при підвищеному тиску.

В даній технологічній схемі використана установка с участю компресійної схеми, бо подача повітря відбувається через насос (димосос).

Важливими технологічними параметрами, що визначають ефективність процесу поділу повітря за допомогою мембран, є температура і перепад тисків через мембрану.

## 2.4.2 Фільтрування

Фільтрування – це процес розділення суспензій з використанням пористих перегородок, які затримують тверду фазу суспензії і пропускають її рідку фазу. Розділення суспензії, яка складається з рідини та завислих в ній твердих частинок, виконують за допомоги фільтру, який у простішому вигляді являється ємкістю, розділеним на дві частини фільтруючою перегородкою.

Для фільтрування використовують різні за конструкцією фільтри. Основні вимоги до них: висока ефективність видалення домішок і максимальна швидкість фільтрування.

Процес фільтрування оснований на затримуванні твердих завислих частинок пористими перегородками, які здатні пропускати тільки рідину і затримувати частинки твердої фази. В результаті безпосереднього контакту суспензії з поверхнею пористої перегородки і різного тиску до і після перегородки, рідка фаза проходить через пори перегородки і збирається у вигляді звільненого від твердих частинок фільтрату, а тверді частинки затримуються на поверхні перегородки, утворюючи шар осаду, який потім видаляється.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						35
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

Ступінь повноти розділення в значній мірі залежить від тиску, при якому протікає процес фільтрування. Фільтрат отримується більш чистим, якщо фільтрування починають при низькому тиску, а потім підвищують його по мірі збільшення осад.

Суттєве значення має також рівномірність тиску; при безперервному і рівномірному тиску може бути досягнута повнота розділення, якщо ж тиск нерівномірний і передається поштовхами (наприклад, при подачі суспензії на фільтр-преси за допомогою поршневих насосів), через виникаючі при цьому гідравлічні удари у фільтрат можуть потрапити найбільш тонко роздроблені частинки. Повнота розділення знаходиться в зворотній залежності від продуктивності фільтру; чим вище продуктивність даного фільтру, тим нижче повнота розділення, і навпаки.

#### Швидкість фільтрування.

В кількісному співвідношенні продуктивність фільтру характеризується швидкістю фільтрування, тобто кількістю фільтрату, що проходить через 1 м<sup>2</sup> поверхні фільтруючої перегородки за одиницю часу.

#### Класифікація фільтрів.

Апарати, в яких здійснюється процес фільтрації, називаються фільтрами. В залежності від способу дії розрізняють фільтри періодичної та безперервної дії.

За напрямком фільтрування – вниз, вверх чи вбік та ін.

В залежності від виду тиску, котрим створюється рушійний напір, необхідний для протікання рідини через пори фільтруючої перегородки, розрізняють:

- фільтри, працюючі під тиском гідростатичного тиску стовпа фільтрованої рідини;
- вакуум-фільтри, працюючі при розрідженні, що створюється вакуум-насосами;
- фільтр-преси, працюючі під тиском, що створюється за допомогою насосів чи компресорів.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						36
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

В залежності від типу тої чи іншої фільтруючої перегородки всі фільтри можна розділити на декілька груп:

- фільтри з незв'язаною чи зернистою перегородкою;
- фільтри з тканинною перегородкою;

Фільтри з нерухомою жорсткою перегородкою.

Вибір тої чи іншої фільтруючої перегородки обумовлений рядом факторів. Найбільш суттєві хімічні властивості фільтрованої рідини, робочий тиск, при якому ведеться фільтрування, ступінь подрібнення твердих частинок фільтрованої суміші і, нарешті, необхідна продуктивність.

### 2.4.3 Електростатичне осадження

Використання електрофільтрів для уловлення пилу пояснюється їх універсальністю та високим ступенем очищення газів при порівняно невеликих затратах електроенергії. Установки електричної очистки газів працюють з ефективністю 99 % уловлюючи частинки розміром 0,01- 100 мкм при концентрації газів до 49 г/м<sup>3</sup>.

В електрофільтрах очищення газів відбувається під дією електростатичних сил. Гази, що містять пилові частинки, проходять через систему, яка складається із заземлених осаджувальних електродів та розміщених між ними на деякій відстані коронуючих електродів, до яких підведений випрямлений струм.

Різниця потенціалів, що виникає викликає електричний заряд у коронуючих електродах. Особливістю розряду є те, що він не розповсюджується на весь газовий простір. Утворені в зоні коронного розряду, позитивні та негативні газові іони рухаються під дією електричного поля до електродів. Зазвичай коронуючий електрод роблять негативним, а осаджувальний – позитивним. На шляху до осаджувальних електродів негативні газові іони зіштовхуються з пилом, збираються ними та віддають свій заряд (рис. 4). Потім заряджені частки рухаються до осаджувальних електродів та осаджуються на них. По мірі накопичення шару часток пилу

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						37
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

вони видаляються з осаджувальних електродів струшуванням і потрапляють на дно електрофільтру.

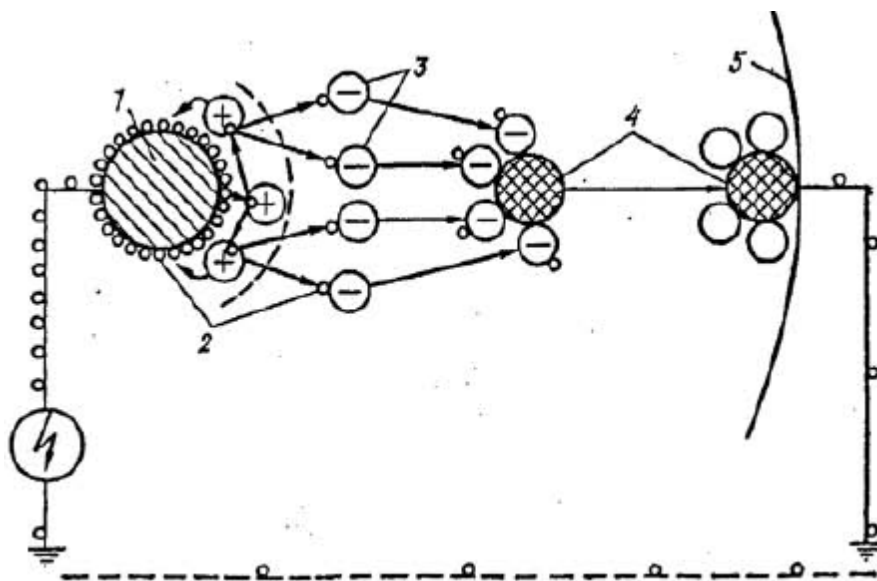


Рисунок 4 – Механізм зарядки та осадження часток в електрофільтрі

1 – коронуючий електрод, 2 – електрони, 3 – іони, 4 – частки пилу, 5 – осаджувальний електрод

Таким чином процес очищення в електрофільтрі складається з утворення іонів, зарядження часток, транспортування їх до осаджувального електроду та періодичне струшування накопиченого пилу в бункер.

За кількістю електричних полів, через які очищений газ послідовно проходить, електрофільтри підрозділяють на однопільні і багатопільні. Іноді електрофільтри розбивають на паралельні по ходу газу камери - секції. За цією ознакою вони можуть бути одно-і багатосекційними. Очищений в електрофільтрі газ проходить активну зону у вертикальному або горизонтальному напрямках, тому електрофільтри бувають вертикальними або горизонтальними. За типом осаджувальних електродів електрофільтри ділять на пластинчасті і трубчасті. Основні конструкторські типи електрофільтрів - горизонтальний пластинчастий і вертикальний трубчастий. Електрофільтр названих типів може використовуватися як мокрий чи сухий уловлювач аерозольних частинок.

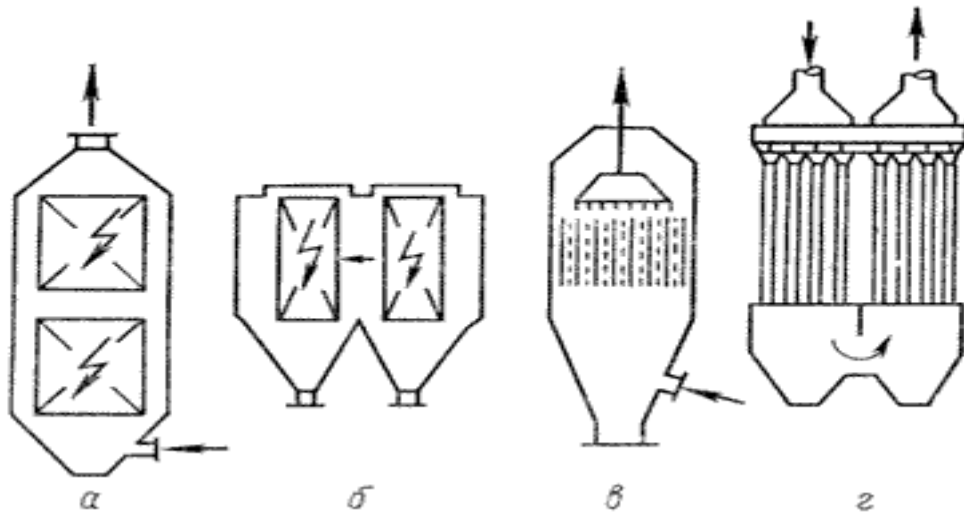


Рисунок 5 Електрофільтри

а,г-двухпольний вертикальний; б-багатопольний горизонтальний; в-однопольний вертикальний.

Перевагами електрофільтрів є те що вони відрізняються низькими експлуатаційними витратами. Гідравлічний опір їх не перевищує 100 – 150 Па. Перевагами використання електрофільтрів є очищення дуже великих об'ємів газу, стабільна робота при високій запиленості потоку, температура газів може досягати більш як 450 °С, можливість повної автоматизації процесу.

До недоліків електрофільтрів відносять неможливість використовувати вибухонебезпечні суміші, відносно високу собівартість апаратів та підвищені вимоги до техніки безпеки при експлуатації. Також висока чутливість до відхилення від заданого режиму.

До осаджувальних електродів ставляться такі вимоги: бути міцними, жорсткими, мати гладку поверхню, щоб можна було без проблем видаляти уловлену пил, а також досить високі аеродинамічні характеристики.

Осаджувальні електроди за формою і конструкції умовно діляться на три великі групи: 1) пластинчасті; 2) коробчаті; 3) жолоби.

До коронуючих електродів ставляться такі вимоги: повинні мати точну форму, щоб забезпечити інтенсивний і досить однорідний коронний розряд;

володіти механічною міцністю і жорсткістю, щоб забезпечити надійну, безперебійну і довговічну роботу в умовах струшування і вібрації; бути простими у виготовленні і мати низьку вартість, так як коронуючим електроди можуть досягати в довжину (загальну) 10 кілометрів; бути стійкими до агресивних середовищ.

Розрізняють дві великі групи коронуючих електродів: електроди без фіксованих розрядних точок і електроди з фіксованими розрядними точками по всій довжині електрода. У друге джерела розряду - це гострі виступи або шипи, при цьому є можливість керувати роботою електрода. Для цього потрібно змінювати відстань між шипами.

Переваги електрофільтрів: можливість найвищого ступеня очищення газів (до 99,9%), низькі витрати енергії (до 0,8 кВт на 1000 м<sup>3</sup> газу), очищення газу може проводитися навіть при високих температурах, процес очищення може бути повністю автоматизований.

#### 2.4.4 Адсорбція

При адсорбційному очищенні повітря від шкідливих газів одним із основних завдань є регенерація адсорбенту або його рекуперація. Для цього необхідно, щоб у вибраному адсорбційному середовищі переважав процес фізичної адсорбції.

Адсорбентами в цьому випадку є речовини з великою площею поверхні на одиницю маси. Так, питома поверхня активованого вугілля досягає до 110 м<sup>2</sup>/кг. Його застосовують для очищення повітря від парів органічних речовин, усунення неприємних запахів і газоподібних домішок, що містяться в незначних кількостях у промислових викидах, а також летких розчинників та інших газів. Адсорбентами можуть виступати прості та комплексні оксиди (активований глинозем, силікагель, активований оксид алюмінію, синтетичні цеоліти або молекулярні сита), які володіють більшою селективною здатністю, ніж активоване вугілля.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						40
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		



Одним із основних параметрів при виборі адсорбента є адсорбційна здатність, або маса речовини  $a$ , поглинена одиницею маси адсорбента в будь-який момент часу, залежність від концентрації адсорбованої речовини (парціального тиску  $P$ , Па) на поверхні адсорбента, загальної площі цієї поверхні, фізичних, хімічних та електричних властивостей адсорбованої речовини й адсорбента, температурних умов і наявності при цьому інших домішок.

Для характеристики адсорбційних властивостей пористих речовин використовують залежність адсорбційної здатності  $a$  від парціального тиску  $p$  погливного газового компонента при постійній температурі (ізотерму адсорбції)  $a = f(p)$  при  $T = \text{const}$ .

В основі інженерно-технічних розрахунків адсорбційного методу очищення повітря від газів є сукупність кривих, яка відображає рівновагу поглинаючого компонента з адсорбентом, тобто сітка ізотерм адсорбції. На рис. 6 зображені ізотерми адсорбції діоксиду сірки ( $\text{SO}_2$ ) на активованому вугіллі СТК у діапазоні температур від 20 до 150 °С.

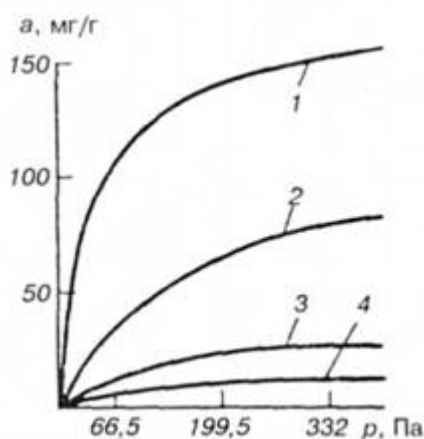


Рис. 6 Ізотерми адсорбції  $\text{SO}_2$  на активованому вугіллі СТК при різних температурах: 1 — 20 °С; 2 — 50 °С; 3 — 100°С; 4 — 150 °С (де  $a$  — маса погливної речовини)

З цього графіка видно, що із збільшенням температури зменшується адсорбційна здатність активованого вугілля. На цій властивості адсорбентів ґрунтується процес їхньої регенерації. Регенерацію здійснюють нагріванням

адсорбента до температури вище робочої або продуванням його водяною парою, потоком води чи гарячим газом.

Установки для адсорбційного очищення, що вловлюють пари розчинників і розріджувачів, які після додаткового оброблення знову повертаються у виробництво, називають рекупераційними. Такі установки широко застосовуються в машинобудівній та приладобудівній промисловостях в опоряджувальних цехах меблевих підприємств, на підприємствах з виробництва скловолокна, склотканин, а також для видалення парів ефіру, ацетону, фурфуролу при виробництві нітроцелюлози.

Адсорбційні установки добре себе зарекомендували при вилученні із гарячих топкових газів діоксиду сірки.

Основним агрегатом установки слугує адсорбер, заповнений деревним активованим вугіллям. Гарячий топковий газ подається через теплообмінник, підігріває повітря, поступає в топку, після чого потрапляє в нижню частину адсорбера, де при температурі 150—200 °С вилучається.

Очищений димовий газ викидається в атмосферу через димову трубу. Одним із можливих шляхів – це відправити адсорбент на десорбцію, а саме після насичення подається в десорбер, де за допомогою підігрівача підтримується температура 300—600 °С.

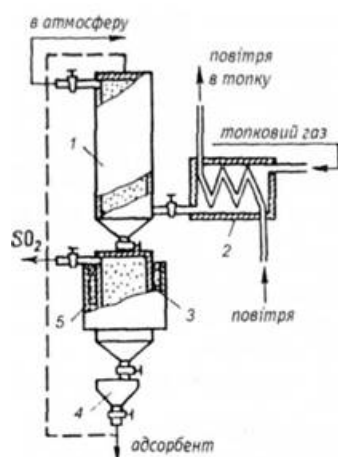


Рис. 7. Адсорбційна установка для вилучення  $\text{SO}_2$  із гарячого топкового газу: 1 — адсорбер; 2 — теплообмінник; 3 — підігрівач; 4 — бункер; 5 — десорбер

Збагачений діоксидом сірки газ виводиться з десорбера і може бути використаний для інших потреб. Регенований адсорбент надходить у бункер, а потім за допомогою ковшового елеватора подається у верхню частину адсорбера.

#### 2.4.5 Гравітаційне осадження

Гравітаційне осадження відбувається під дією сили тяжіння, що діє на частинки, при проходженні гетерогенної системи через газоочисної апарат.

Гравітаційне осадження, застосовують для розділення пилів, суспензій і емульсій. Цей процес не забезпечує вилучення тонкодисперсних частинок і характеризується невеликою швидкістю осадження, тому його використовують переважно для часткового розділення неоднорідних систем. Безсумнівним достоїнством процесу відстоювання є велике просте апаратурне оформлення його і малі енергетичні витрати.

Гравітаційне осадження в пустотілих апаратах в даний час не знаходить застосування в чистому вигляді внаслідок низької ефективності осадження дрібнодисперсних часток. Використовують різні методи попереднього укрупнення часток, після чого гравітаційне осадження стає значно ефективніше. Осадження укрупнених частинок повсюдно застосовують в сепараційної техніці.

Гравітаційне осадження грубих суспензійованих часток, котрі містяться у воді здійснюють в гідроциклон

Відстоюванням (гравітаційним осадженням, седиментацією) називають поділ дисперсних систем під дією сили тяжіння. Відстоювання застосовують для згущення, прояснення і класифікації суспензій, промивки опадів, для грубого очищення газів від твердих частинок і для розділення емульсій. При згущенні (осветлении) суспензій тверду фазу виділяють у вигляді вологого осаду, а при класифікації тверду фазу ділять на фракції різної крупності.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.ЗП	Арк
						43
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

Разділення під дією сили тяжіння, або гравітаційне осадження, практично відбувається в таких умовах, коли частинки дисперсної фази можуть вільно переміщатися в дисперсійному суцільному середовищі. Якщо дисперсна фаза має велику щільність, ніж щільність суцільного середовища, то частинки під дією сили тяжіння рухаються вниз, сягають дна апарату і таким чином виділяються із суцільною газовою або рідкою фази. У більш рідкісних для хімічної технології випадках дисперсна фаза може виявитися легше суцільний (краплі масла або жиру у воді або газові бульбашки в рідині), тоді легкі крапельки або пухирці спливають у рідині, утворюючи верхній шар, який виводиться з апарату в якості однієї з поділених фаз.

Одним з основних методів видалення частинок є просте гравітаційне осадження.

Для вирішення питання про можливість розшарування потоку шляхом гравітаційного осадження крапель у процесі транспортування потрубопроводах, вибору на цій основі необхідного числа відстійних апаратів на щаблі попереднього скидання або зневоднення, а також для оцінки необхідного зниження в'язкості системи, необхідно розташовувати рівняннями, що описують умови зважування крапель в потоці під дією турбулентних пульсацій, спрямованих проти сил гравітації.

Схема установки для проведення безперервного процесу сублимації очищення. Відділення твердої фази здійснюють традиційними методами: гравітаційним осадженням, застосуванням циклонів або фільтрів.

Автоматична підготовка такого газу до аналізу повинна включати інерційне та гравітаційне осадження диспергованих частинок, а також ультратонку фільтрацію, термостатування і стабілізацію витрати газу.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						44
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

## 2.4.6 Концентрування

Випарювання широко застосовують у харчовій, хімічній, фармацевтичній і багатьох інших галузях промисловості як метод теплової та фізико-хімічної обробки розчинів. У процесі випарювання з розчину, що здебільшого являє собою однорідну систему та включає розчинник і розчинену нелетку речовину, виділяють і видаляють у вигляді пари частину розчинника, при цьому відбувається підвищення концентрації розчиненої речовини, що перебуває в розчині.

Випарювання застосовують у промисловості в таких випадках:

- для концентрування водно-солевих розчинів з подальшим виділенням із них методами кристалізації мінеральних солей і добрив (наприклад, повареної солі, аміачної селітри, сульфату амонію та ін.), а також харчових продуктів (наприклад, сахарози);
- для підвищення концентрації розчиненого середовища та одержання висококонцентрованих продуктів (наприклад, у харчовій промисловості при одержанні згущеного молока, сиропів, томатної пасти та ін.); у хімічній промисловості при концентруванні гліцерину, фенолоформальдегідних смол і багатьох інших речовин; для опріснення солоних і забруднених мінералізованих вод, для переробки морської води з метою одержання прісної води, а також для вилучення з розчинів і морської води корисних речовин.

Випарні установки являють собою складний інженерно-енергетичний комплекс, що повинен забезпечити достатню продуктивність, високу якість готової продукції, усталену роботу та характеризуватися низькими енергетичними витратами.

Оскільки випарювання пов'язане з великою витратою енергії, то основним завданням при проектуванні випарних установок є раціональна

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						45
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

організація процесу з урахуванням конкретних завдань і мінімізація (оптимізація) енергетичних і капітальних витрат.

Процес підвищення концентрації розчиненої солі (речовини) у розчині внаслідок випаровування та відведення із системи частини розчинника називається випарюванням, апарати, у яких проводиться процес випарювання, називаються випарними. Установки, що включають комплекс обладнання, яке забезпечує проведення процесу випарювання та одержання продуктів, називаються випарними установками.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						46
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ГІДРАВЛІЧНІ РОЗРАХУНКИ ОЧИСНИХ СПОРУД

#### 3.1 Розрахунок циклону

Вхідні параметри:

Витрата газу  $V = 9\,849 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

Запиленість газу  $C_{\text{поч}} = 6,59 \text{ г/м}^3$ ;

Густина часток  $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$

Щільність газу  $\rho_{\text{г}} = 1,38 \text{ кг/м}^3$

$\sigma = 3,5$

$d_m = 20 \text{ мкм}$

склад пилу в газі перед циклоном:

D часток, мкм	30	50	100
Фракційний вміст часток $\Phi_i, \%$	20	30	50

Задавшись типом циклону ЦН-15 приймаємо  $U_{\text{опт.}} = 3,5 \text{ м/с}$

Площа перерізу циклону:

$$F = \frac{V_{\text{г}}}{3,5 \cdot 3600}, \quad (3.1)$$

де  $V_{\text{г}}$  – витрата газу

$$F = \frac{9\,849}{12600} = 0,78 \text{ м}^2$$

Визначаємо діаметр циклона, задаючись  $N=3$

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785 \cdot N}}, \quad (3.2)$$

де  $F$  – площа перерізу циклону,  $N$  – кількість циклонів

$$D = \sqrt{\frac{0,78}{0,785 \cdot 3}} = 0,57 \text{ м}$$

Округлюємо до  $D = 0,6 \text{ м}$

Дійсна швидкість газу в групі циклонів

$$U = \frac{V_{\Gamma}}{3600 * 0,785 * N * D^2}, \quad (3.2)$$

де  $V_{\Gamma}$  – витрата газу,  $N$  – кількість циклонів,  $D$  – діаметр циклона.

$$U = \frac{9\,849}{3600 * 0,785 * 3 * 0,6^2} = 3,23 \text{ м/с}$$

Розрахована швидкість газу не відхиляється від норми.

Коефіцієнт гідравлічного опору групи циклонів

$$\xi_{\text{ц}} = K_1 * K_2 * \xi_{\text{ц}500}^{c(n)} + K_3, \quad (3.3)$$

де  $K_1$  – поправочний коеф на діаметр циклона,  $K_2$  – поправочний коеф на запиленість газів,  $\xi_{\text{ц}500}^{c(n)}$  – коефіцієнт гідравлічного опору,  $K_3$  – коеф, що враховує додаткові втрати тиску, пов'язані з компоновкою.

$$\xi_{\text{ц}} = 1 * 0,93 * 155 + 60 = 204,15$$

Витрати тиску, якщо  $\rho_{\Gamma} = 1,38$

$$\Delta P = \xi_{\text{ц}} * \frac{\rho_{\Gamma} * U^2}{2}, \quad (3.4)$$

де  $\xi_{\text{ц}}$  - коефіцієнт гідравлічного опору,  $\rho_{\Gamma}$  – щільність газу,  $U$  – дійсна швидкість газу.

$$\Delta P = 204,15 * \frac{1,38 * 3,23^2}{2} = 1469 \text{ Па}$$

Еквівалентний діаметр часток

$$d_{n=50} = d_{n=50}^t * \sqrt{\frac{D}{D_t}} * \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho}} * \sqrt{\frac{\mu}{\mu_t}} * \sqrt{\frac{v_t}{v}}, \quad (3.5)$$

де  $D$  – діаметр циклона,  $\rho_{\Gamma}$  – щільність газу,  $\mu$  – динамічна в'язкість газу,  $v$  – дійсна швидкість газу, значення з індексом «t» - відповідають еталонним значенням.

$$d_{n=50} = 4,50 * \sqrt{\frac{0,6}{0,6}} * \sqrt{\frac{1930}{2400}} * \sqrt{\frac{15,28 * 10^{-6}}{22,2 * 10^{-6}}} * \sqrt{\frac{3,5}{3,48}} = 3,28 \text{ мкм}$$

Визначаємо параметри «х» функції розподілу  $\Phi(x)$  для 30 мкм:

$$x = \frac{\lg \frac{d_m}{d_{n=50}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma + \lg^2 \sigma_n^T}}, \quad (3.6)$$

де  $d_m$  – діаметр часток,  $\sigma$  – стандартне відхилення, що характеризує дисперсний склад пилу.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						48
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		



$$x = \frac{lg \frac{30}{3,28}}{\sqrt{lg^2 * 3,5 + lg^2 * 0,352}} = \frac{0,96}{0,71} = 1,35$$

$$\Phi(x) = 0,8230$$

Визначимо загальну ефективність

$$\eta = 50 * (1 + \Phi(x)) , \quad (3.7)$$

$$\eta = 50 * (1 + 0,8230) = 91,15\%$$

Визначаємо параметри «х» функції розподілу  $\Phi(x)$  для 50 мкм за формулами 3.6 – 3.7:

$$x = \frac{lg \frac{50}{3,28}}{\sqrt{lg^2 * 3,5 + lg^2 * 0,352}} = \frac{1,18}{0,71} = 1,66$$

$$\Phi(x) = 0,9031$$

Визначимо загальну ефективність

$$\eta = 50 * (1 + 0,9031) = 95,16 \%$$

Визначаємо параметри «х» функції розподілу  $\Phi(x)$  для 100 мкм:

$$x = \frac{lg \frac{100}{3,28}}{\sqrt{lg^2 * 3,5 + lg^2 * 0,352}} = \frac{1,48}{0,71} = 2,08$$

$$\Phi(x) = 0,9643$$

Визначимо загальну ефективність

$$\eta = 50 * (1 + 0,9643) = 98,22 \%$$

Визначимо очищення по фракціям

d	30	50	100
x	1,35	1,66	2,08
$\Phi(x)$	0,8230	0,9031	0,9643
$\eta, \%$	91,15	95,16	98,22

Загальна ефективність очищення

$$\eta = \frac{1}{100} * \Sigma(\eta_i \Phi_i) , \quad (3.8)$$

$$\eta = \frac{1}{100} * (20*91,15 + 30*95,16 + 50*98,22) = 95,8\%$$

Обираємо групу з 3 циклонів ЦН-15-600\*3СП; код 36 4652 1015;  
площа перерізів корпусів 0,564 м<sup>2</sup>; робочий об'єм бункеру для збору пилу – 0,595 м<sup>3</sup>; вага – 870 кг.

### 3.2 Розрахунок електрофільтра

d, мкм	1	2	5	15
Φ <sub>i</sub> , %	6	14	55	25

Склад газу:

$$C_{O_2} = 9,3 \%$$

$$C_{CO} = 0,018 \%$$

$$C_{CO_2} = 3,2 \%$$

$$C_{NO_x} = 0,094 \%$$

$$C_{SO_2} = 0,13 \%$$

$$C_{N_2} = 87,258 \%$$

Визначаємо щільність газу при умовах  $t = 0^\circ\text{C}$ ,  $P = 0,101\text{МПа}$ :

$$\rho_0 = 0,01(a_{O_2} \cdot \rho_{O_2} + a_{CO} \cdot \rho_{CO} + a_{NO_x} \cdot \rho_{NO_x} + a_{SO_2} \cdot \rho_{SO_2} + a_{N_2} \cdot \rho_{N_2} + a_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2}) \quad (3.9)$$

де  $a$  – концентрація розчинених газів, %,  $\rho$  – щільність розчинених газів.

$$\rho_0 = 0,01(9,3 \cdot 1,429 + 0,018 \cdot 1,250 + 0,094 \cdot 1,34 + 0,13 \cdot 2,927 + 87,258 \cdot 1,251 + 3,2 \cdot 1,977) = 1,29 \text{ кг/м}^3$$

Тоді щільність газу при робочих умовах:

$$\rho_T = 1,38 \frac{273(101,3 \cdot 10^3 - P_e)}{(273 + t_e) \cdot 101 \cdot 10^3}, \quad (3.10)$$

де  $P_e$  – розрідження газу в електрофільтрі,  $t_e$  – температура газу перед електрофільтром.

$$\rho_T = 1,38 \frac{273(101,3 \cdot 10^3 - 2000)}{(273 + 63) \cdot 101 \cdot 10^3} = 0,79 \text{ кг/м}^3$$

Витрата газу при робочих умовах:

$$V_T = V \cdot \rho_0 / 3600 \cdot \rho_T, \quad (3.11)$$

де  $\rho_0$  – щільність газу при нормальних умовах

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						50
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

$$V_r = 98\,496 \cdot 1,29 / 3600 \cdot 0,79 = 44,67 \text{ м}^3/\text{с}$$

Приймаємо  $v = 1 \text{ м} / \text{с}$ , тоді необхідна площа поперечного перерізу активної зони електрофільтру:

$$F = V_r / v = 44,67 \text{ м}^2, \quad (3.12)$$

Підбираємо серійну конструкцію електрофільтра для доочищення газу. Вибираємо трьохпольний електрофільтр УГ2-3-53, що має площу поперечного перерізу  $F_\phi = 53 \text{ м}^2$ , загальну площу осадження електронів  $F_z = 3370 \text{ м}^2$ , при величині кроку між ними  $L = 275 \text{ мм}$ , активній висоті електродів  $7,5 \text{ м}$  та активній довжині поля  $2,51 \text{ м}$ , відстань між коронуючими електродами  $S = 180 \text{ мм}$ , відстань між коронуючими і осаджувальними електродами  $H = 125 \text{ мм}$

Тоді фактична швидкість газу в активному полі апарату:

$$V_\phi = V_r / F_\phi, \quad (3.13)$$

$$V_\phi = 44,67 / 53 = 0,84 \text{ м} / \text{с}$$

Визначаємо відносну щільність газу  $\beta$  при стандартних умовах :

$$\beta = \frac{(273+20)(101,3 \cdot 10^3 - P_e)}{(273+te) \cdot 101 \cdot 10^3}, \quad (3.14)$$

$$\beta = \frac{(273+20)(101,3 \cdot 10^3 - 2000)}{(273+62) \cdot 101 \cdot 10^3} = 0,86$$

Тоді електричну напруженість електричного поля, при якій виникає коронний заряд, розраховуємо за формулою Піка:

$$E_{кр} = 3,04 (\beta + 0,0311 \sqrt{\frac{\beta}{R}}) 10^6, \quad (3.15)$$

де  $\beta$  – відносна щільність газу,  $R$  – радіус коронуючого електроду (0,001-0,002)

$$E_{кр} = 3,04 (\beta + 0,0311 \sqrt{\frac{0,86}{0,001}}) 10^6 = 5,39 \cdot 10^6 \text{ (В/м)}$$

Критична напруга корони для пластинчатого електрофільтру:

$$U_{кр} = E_{кр} R_1 \left( \frac{\pi H}{S} - 2,31 \lg \frac{2\pi R_1}{S} \right), \quad (3.16)$$

де  $H$  – відстань між коронуючим та осаджувальним електродом,  $S$  – крок коронуючих електродів.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						51
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

$$U_{кр} = 5,39 \cdot 10^6 \cdot 0,001 \left( \frac{3,14 \cdot 0,125}{0,18} - 2,3 \lg \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,001}{0,18} \right) = 2,9 \cdot 10^3 \text{ В}$$

Лінійна щільність струму корони:

$$i_0 = \frac{4 \times \pi^2 \times k \times V}{9 \times 10^{10} \times S^2 \times \left( \frac{\pi H}{S} - 2,3 \lg \frac{2 \pi R_1}{S} \right)} - U \times (U - U_{кр}), \frac{\text{А}}{\text{м}} \quad (3.17)$$

де  $U$  – максимальна напруженість корони, яка дорівнює  $80 \cdot 10^3 \text{ В}$ ,  $k$  – рухливість іонів у газах у сухому повітрі, яка дорівнює  $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ .

$$i_0 = \frac{4 \times (3,14)^2 \times 2,1 \cdot 10^{-4} \times 0,055}{9 \times 10^{10} \times 0,18^2 \times \left( \frac{\pi H}{S} - 2,3 \lg \frac{2 \pi R_1}{S} \right)} - 80 \cdot 10^3 \times (80 \cdot 10^3 - 24 \cdot 10^3) =$$

$$= 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ А/м}$$

Напруженість електричного поля:

$$E = \sqrt{\frac{8 \times i_0 \times H}{4 \times \pi \times k \times \epsilon_0 \times S}}, \quad (3.18)$$

$$E = \sqrt{\frac{8 \times 0,12 \cdot 10^{-3} \times 0,125}{4 \times 3,14 \times 2,1 \cdot 10^{-4} \times 8,85 \cdot 10^{-12} \times 0,18}} = 1,69 \cdot 10^5 \text{ В/м},$$

де  $\epsilon_0$  – діелектрична проникність вакууму,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ .

В'язкість компонентів газу при робочих умовах в залежності від температури:

$$\mu_{O_2} = \mu_0 \frac{T_0 + C}{t_e + 273 + C} \left( \frac{t_e + 273}{T_0} \right)^{3/2}, \quad (3.19)$$

де  $C$  – постійна Сазерленда, двизначення в'язкості в залежності від температури,  $T_0$  – температура, використана для розрахунку постійної Сазерленда,  $\mu_0$  – в'язкість розчинених газів при н.у.

$$\mu_{O_2} = 20,18 \cdot 10^{-6} \frac{296,25 + 127}{62 + 273 + 127} \left( \frac{62 + 273}{296,25} \right)^{3/2} = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{CO} = \mu_0 \frac{T_0 + C}{t_e + 273 + C} \left( \frac{t_e + 273}{T_0} \right)^{3/2} = 17,2 \cdot 10^{-6} \frac{288,15 + 118}{62 + 273 + 118} \left( \frac{62 + 273}{288,15} \right)^{3/2} =$$

$$= 19,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{CO_2} = \mu_0 \frac{T_0 + C}{t_e + 273 + C} \left( \frac{t_e + 273}{T_0} \right)^{3/2} = 14,8 \cdot 10^{-6} \frac{293,15 + 240}{62 + 273 + 240} \left( \frac{62 + 273}{293,15} \right)^{3/2} =$$

$$= 16,7 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{SO_2} = \mu_0 \frac{T_0 + C}{t_e + 273 + C} \left( \frac{t_e + 273}{T_0} \right)^{3/2} = 12,54 \cdot 10^{-6} \frac{293,65 + 416}{62 + 273 + 416} \left( \frac{62 + 273}{293,65} \right)^{3/2} =$$

$$= 14,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{N_2} = \mu_0 \frac{T_0 + C}{t_e + 273 + C} \left( \frac{t_e + 273}{T_0} \right)^{3/2} = 17,81 \cdot 10^{-6} \frac{300,55 + 111}{62 + 273 + 111} \left( \frac{62 + 273}{300,55} \right)^{3/2} =$$

$$= 19,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Визначаємо суміш в'язкості компонентів:

$$\mu_r = 0,01 \cdot 10^{-6} (a_{O_2} \mu_{O_2} + a_{CO} \mu_{CO} + a_{CO_2} \mu_{CO_2} + a_{SO_2} \mu_{SO_2} + a_{N_2} \mu_{N_2}) \quad (3.20)$$

де  $a$  – концентрація розчинених газів, %

$$\mu_r = 0,01 \cdot 10^{-6} (9,3 \cdot 22,2 + 0,018 \cdot 19,1 + 3,2 \cdot 16,74 + 0,13 \cdot 14,3 + 87,258 \cdot 19,3) = 19,46 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Знаходимо питому поверхню осадження :

$$f = F_e / V_r, \quad (3.21)$$

$$f = 3370 / 44,67 = 75,44 \text{ м}^2 \cdot \text{с} / \text{м}^3.$$

Швидкість дрейфу часток :

$$\omega = \frac{0,059 \cdot 10^{-10} E^2 d_q}{\mu_r}, \quad (3.22)$$

де  $E$  – напруженість електричного поля

$$\omega = \frac{0,059 \cdot 10^{-10} 1,69^2 d_q}{19,5 \cdot 10^{-6}} = 0,86 \cdot 10^4 \cdot d_q, \quad (3.22a)$$

Для часток із заданими діаметрами за 3.22a:

$$\omega_1 = 0,86 \cdot 10^4 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,86 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

$$\omega_2 = 0,86 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

$$\omega_5 = 0,86 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

$$\omega_{15} = 0,86 \cdot 10^4 \cdot 15 \cdot 10^{-6} = 12,9 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

Фракційний коефіцієнт очищення:

$$\eta_1 = (1 - e^{-f\omega}) \cdot 100, \quad (3.23)$$

де  $f$  – питома поверхня осадження,  $\omega$  – швидкість дрейфу часток.

$$\eta_1 = (1 - e^{-f\omega}) \cdot 100 = (1 - e^{-77,44 \cdot 0,86 \cdot 10^{-2}}) \cdot 100 = 87,7 \%$$

$$\eta_2 = (1 - e^{-f\omega}) \cdot 100 = (1 - e^{-77,44 \cdot 1,7 \cdot 10^{-2}}) \cdot 100 = 92,3 \%$$

$$\eta_5 = (1 - e^{-f\omega}) \cdot 100 = (1 - e^{-77,44 \cdot 4,3 \cdot 10^{-2}}) \cdot 100 = 99,1 \%$$

$$\eta_{15} = (1 - e^{-f\omega}) \cdot 100 = (1 - e^{-77,44 \cdot 12,9 \cdot 10^{-2}}) \cdot 100 = 99,9 \%$$

$$\eta = 1/100 \sum (\eta_i \Phi_i) = 1/100 \sum (87,7 \cdot 6 + 92,3 \cdot 14 + 99,1 \cdot 55 + 99,9 \cdot 25) =$$

$$= 99,9 \%$$

### 3.3 Розрахунок адсорбера

Лінійна швидкість у вільному січенні  $\omega = 0,3$  м/с, загальна активна поверхня:

$$F = \frac{V_{\Gamma}}{3600 \cdot \omega}, \quad (3.24)$$

де  $V_{\Gamma}$  - витрата газу,  $\omega$  – лінійна швидкість

$$F = \frac{98496}{3600 \cdot 0,3} = 91,2 \text{ м}^2$$

Розраховуємо внутрішній діаметр адсорбера, приймаючи  $\omega_{\text{вн}} = 5$  м/с

$$F_{\text{вн}} = \frac{V_{\Gamma}}{3600 \cdot \omega_{\text{вн}}}, \quad (3.25)$$

де  $V_{\Gamma}$  - витрата газу,  $\omega_{\text{вн}}$  – лінійна швидкість

$$F_{\text{вн}} = \frac{98496}{3600 \cdot 5} = 5,4 \text{ м}^2$$

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{F_{\text{вн}} / 0,785} = \sqrt{5,4 / 0,785} = 2,6 \text{ м} \quad (3.26)$$

При висоті шару адсорбенту  $h = 3$  м зовнішній діаметр січення адсорберу:

$$D_{\text{н}} = 2h + D_{\text{вн}}, \quad (3.25)$$

$$D_{\text{н}} = 2 \cdot 0,5 + 2,6 = 3,6 \text{ м}$$

Висота простору в який завантажуються адсорбент:

$$H = 2F / \pi(D_{\text{н}} + D_{\text{вн}}), \quad (3.26)$$

де  $F$  – загальна активна поверхня

$$= 2 \cdot 91,2 / 3,14(3,6 + 2,6) = 9,36 \text{ м}$$

Таким чином було обрано вугільний адсорбер висотою 9,36 метри з висотою завантаження адсорбента в 3 метри.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						54
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

### 3.4 Обране технологічне обладнання

Для даної технологічної схеми обрано:

1. Теплообмінник

Назва	Тип	Розмір, мм	Поверхня теплообміну, м <sup>2</sup>
Теплообмінник однопоточний	ТТОН (труба в трубі)	1500 x 1620 x 1810	0,25

2. Мембранний газорозділюючий модуль з видачею N<sub>2</sub>,

Назва	Чистота, %	Потужність, м <sup>3</sup> /год	Тиск, атм	Розмір, мм
Киснева установка	30-45	3500	0,4	500 x 500 x 500

3. Бак для 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, розмірами 1300 x 1320 x 1220 мм

4. Бак-концентратор для 70% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, розмірами 1300 x 1220 x 895 мм

## 4 БУДІВЕЛЬНА ЧАСТИНА

### 4.1 Об'ємно-планувальне вирішення будівлі

Будівля одноповерхова, каркасного типу, має 1 проліт (ширина прольоту 18 м), крок колон 6 м, висота поверху становить 12,6 м, довжина будівлі 78 м. В будівлі встановлено мостовий кран вантажопідйомністю 30 т, відмітка голівки кранового рельсу складає 9,65 м.

Адміністративно-побутові приміщення розташовані в прибудові. Крок колон складає 3 м, проліт 18 м, висота 3,6 м.

Зовнішні стіни будівлі великопанельні з одношаровиз газобетон них панелей, товщина стіни складає 200 мм.

Прив'язка до крайніх поперечних розбивочних осей становить 500 мм, до крайніх поздовжніх – 250 мм. Колони при торцевих зовнішніх стінах і в температурному шві зміщені від поперечних розбивочних осей на 500 мм.

Колони залізобетонні двогілкові; крок колон – 6 м; фундамент колон залізобетонний, стаканного типу.

В якості несучих конструкцій покриття прийняті залізобетонні балки двотаврового перерізу. Покриття зі збірних залізобетонних плит 6×3 м. Вікна стрічкові з розмірами 6×7,2 м. Ворота розпашні, 4×4,2 м.

### 4.2 Вибір конструктивних елементів будівлі

Вибрані залізобетонні двогілкові колони серії КЭ-01-52 для одноповерхових промислових будівель з мостовим краном: ширина колони  $b=500$  мм,  $h=600$  мм,  $h_H=1400$ ,  $h_{вет}=300$ , висота  $H=13800$ , висота верхньої частини колони  $H_B=4000$ . Колони розраховані на установку крану вантажопідйомністю 30 т.

Конструкція колон зображена на рисунку 8.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						56
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		



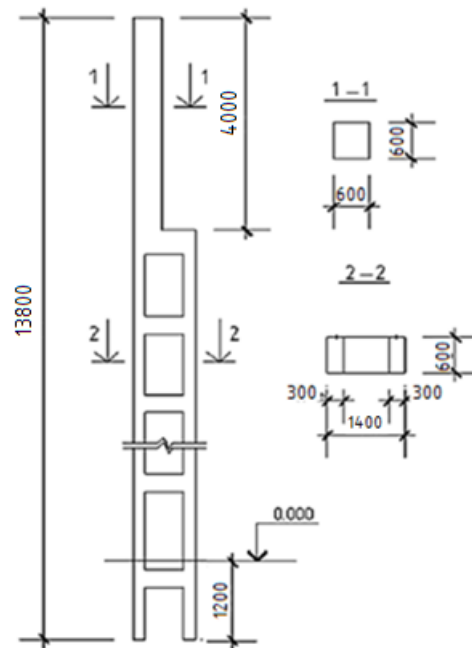


Рисунок 8 - Залізобетонна колона крайніх рядів

Для двогілкової колони з розмірами поперечного перерізу  $500 \times 1400$  мм приймаємо підколонник з розмірами поперечного перерізу  $2100 \times 1200$  мм.

Під колони вибраний стовпчастий двоступінчатий фундамент (рис. 9). Він має такі розміри: склянки -  $a_n \times b_n = 1500 \times 700$  мм, підколінника -  $a \times b = 2100 \times 1200$  мм, підошва -  $a_1 \times b_1 = 2700 \times 2100$  мм, щаблі -  $a_2 \times b_2 = 3600 \times 3000$  мм. Сходи плит всіх фундаментів мають єдину уніфіковану висоту 300 мм.

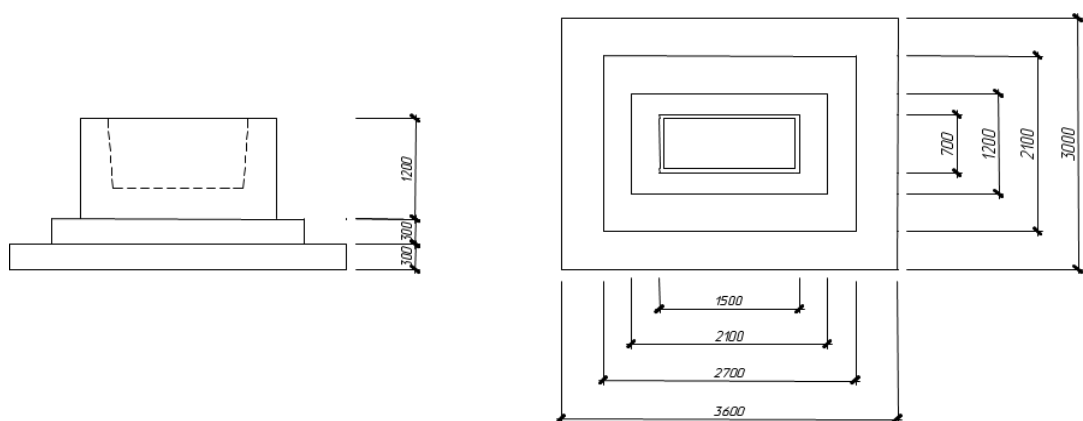


Рисунок 9 - Фундамент колон типу ФД-11-6

Під колони фахверку вибраний фундамент, який має наступні розміри: переріз колон -  $a_k \times b_k = 400 \times 400$  мм, підколонник -  $a \times b = 1000 \times 1000$  мм, підшва -  $a_2 \times b_2 = 1700 \times 1700$  мм,  $a_1 \times b_1 = 2500 \times 2500$  мм, глибина стакана  $h_c = 800$  мм.

Використані підкранові балки, що розраховані на навантаження 10 - 30 т. Поперечний переріз балок двотавровий. Висоту балок при кроці колон 6 м приймають 1000 мм (рис 10).

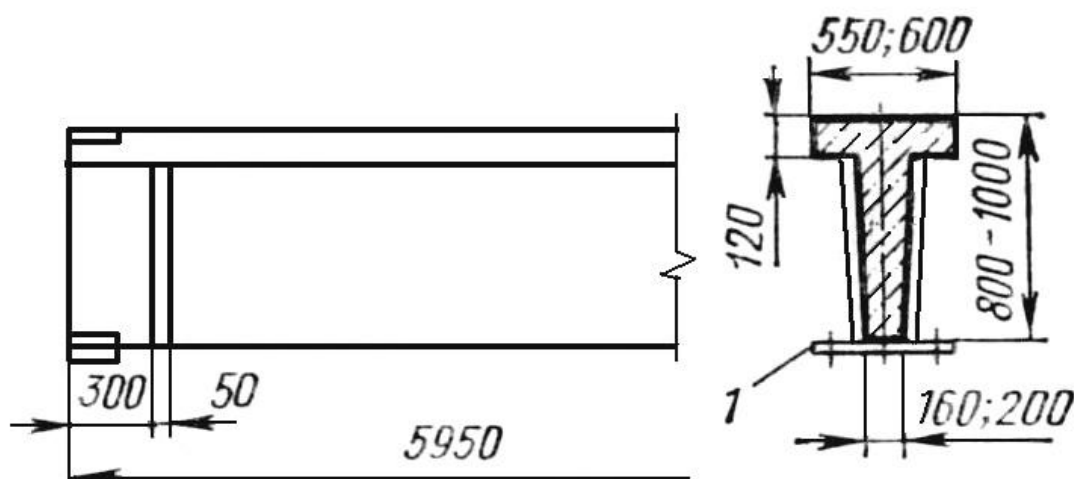


Рисунок 10 - Залізобетонна підкранова балка для кроку колон 6 м

Покриття влаштовано залізобетонними плитами (рис.11) розміром 6х3 м.

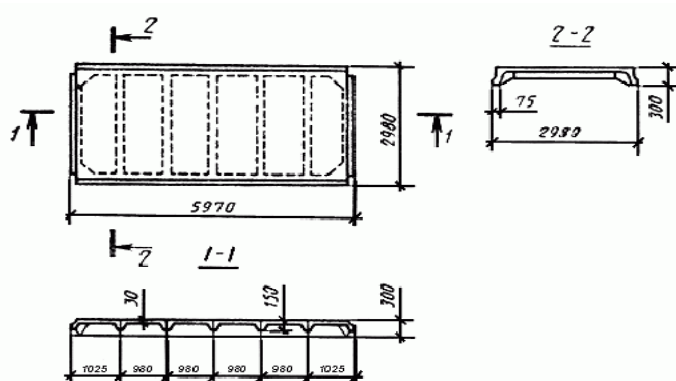


Рисунок 11 – Залізобетонні плити покриття

На залізобетонні колони встановлюють балки марки 1Б8-18-1 (рис.12), з такими розмірами:  $L = 17950$  мм,  $H = 1540$  мм,  $B_1 = 400$  мм,  $B_2 = 270$  мм і масою 9 т.

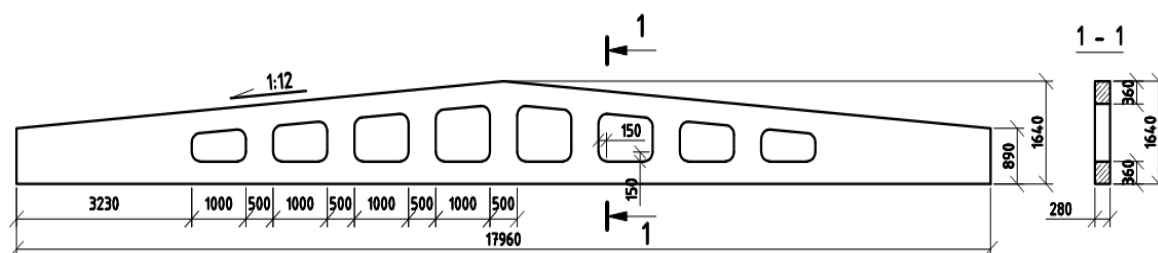


Рисунок 12 – Двоскатні балки покриття з прольотом 18 м

Підлога влаштована з чотирьох шарів матеріалів. Перший шар складається з гравію, втрамбованого в ґрунт (50 мм), бітум (20 мм), шар бетонного розчину (30 мм), полімерний бетонний шар (30 мм).

Покриття влаштовано з 6 шарів матеріалів. Першим шаром є плити покриття товщиною 450 мм. Далі йде шар пароізоляції у вигляді обмазки бітумом (10 мм), після якої кладеться шар теплоізоляції з пінобетону товщиною 100 мм. Четвертим шаром є цементна стяжка товщиною 10 мм. Далі гідроізоляційний шар з трьох шарів руберойду на бітумній мастиці. Шостим шаром йде гравій, втоплений в бітум - 20 мм.

Вікна стрічкові, вздовж стін будівлі встановлено 2 ряди вікон з дерев'яним переплетенням одинарного засклення. Ширина вікон складає 6000 мм, висота 7200 мм.

Зовнішні двері будівлі однопільні. Полотно глухе, дерев'яне. Ширина дверей складає 1200 мм, висота 2000 мм.

Ворота розпашні, складаються з двох дерев'яних полотен зі сталеву рамою. Ширина воріт 4000 мм, висота 4200 мм. Кількість воріт 1.

В адміністративно-побутовому приміщенні колони мають розміри 400×400 мм. Під колони обраний фундамент стаканного типу, розміри: склянки -  $a_H \times b_H = 600 \times 600$  мм, підколонника -  $a \times b = 1000 \times 1000$  мм, підшва -

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						59
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

$a_1 \times b_1 = 2300 \times 1500$  мм, щаблі -  $a_2 \times b_2 = 1500 \times 1000$  мм. Глибина склянки  $h_c = 800$  мм.

Плити покриття залізобетонні, ребристі, номінальною довжиною 6 м, ширина плити розміром 3 м.

Зовнішні стіни є панельними, виконані з одношарових піносілікатних панелей, товщиною 200 мм. Товщина внутрішніх стін допоміжних приміщень складає 200 мм. Використано ригелі розміром заввишки 800 мм. Плити покриття мають висоту 450 мм.

Підлога укладається на ущільнений ґрунт і складається з гравій товщиною 50 мм, плити із пінополістирола - 50 мм, піщана стяжка товщиною 25 мм керамічна плитка (10 мм).

Вікна роздільні з простінками, з верхнім підвісом. Ширина вікон становить 1500 мм, висота - 1420 мм. Двері одностулкові з глухим дерев'яним полотном. Ширина дверей становить 1200 мм, висота 2000 мм.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						60
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою системи охорони праці є збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці, поліпшення виробничого побуту, попередження травматизму і профзахворювання. На теплоенергетичному виробництві відбувається процес спалювання вугілля, мазуту, природного газу, торфу. Частина пари для споживачів відбирається після того, як частина енергії пари буде використано для приведення у рух парової турбіни. Інша частина пари використовується в турбіні і поступає в конденсатор. Відібрана гаряча вода та пара поступає до споживачів системою трубопроводів.

Виходячи із технологічної частини проекту на виробництві використовуються шкідливі речовини і матеріали, а також електрична, теплова, механічна енергії. Внутрішньоцеховий транспорт представлений ручними візками для переміщення хімічних реактивів, дробарками, транспортерами.

Відповідно до теми «Вдосконалення технологічної схеми очищення димових газів ТЕЦ-4» розробляється техніка безпеки для персоналу на стадії експлуатації даного об'єкту.

В даному розділі на основі аналізу шкідливих та небезпечних факторів виробництва розроблені заходи щодо створення здорових та безпечних умов праці і пожежної безпеки виробництва для персоналу теплоелектростанції. Робота виконується інженером з обслуговування обладнання який знаходиться в цеху, площа якого становить 120 м<sup>2</sup>.

Шкідливі і небезпечні виробничі чинники, які діють на персонал:

- небезпека ураження електричним струмом;
- повітря робочої зони;
- виробничий шум та вібрація;
- пожежна безпека.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.ЗП</i>	Арк
						61
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

## 5.1. Електробезпека

Приміщення у якому знаходиться робітник – цех.

Електричне устаткування на виробництві живиться від трифазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму промислової частоти напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю.

Для забезпечення електробезпечності передбачені наступні технічні заходи й засоби: занулення, захисне відключення, вирівнювання потенціалів, мала напруга, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, знаки безпеки, огорожувальні пристрої, блокування, попереджувальна сигналізація, попереджувальні плакати. Також використовується подвійна ізоляція. З подвійною ізоляцією виготовляється апаратура, розподільні коробки, вимикачі, розетки, корпуси, переносні світильники, електровимірювальні прилади. У виробничих приміщеннях передбачена періодична перевірка вибраних типів проводів та способу їх прокладки, освітлювальної арматури, пускатів електродвигунів та іншого електроустаткування.

Для забезпечення індивідуального захисту використовують:

- діелектричні рукавички,
- інструменти з ізолюючими рукоятками,
- покажчики напруги,
- діелектричні калоші,
- ізолюючі підставки,
- гумові килимки,
- тимчасові огороження,
- захисні окуляри,
- попереджувальні плакати

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						62
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

## 5.2. Повітря робочої зони

Температура поверхні обладнання, стін, підлоги, стелі, сировини не повинна перевищувати оптимальних параметрів температури повітря на робочих місцях більше ніж на 2 °С:

Стан повітря (мікроклімат) робочої зони характеризується температурою, вологістю, рухливістю повітря, тепловими випромінюваннями від нагрітого обладнання та матеріалів. В цеху встановлення система опалення у зимовий період, та система кондиціонування на літній період по нормам ДСН 3.3.6.042 – 99

Заходи по покращенню мікроклімату:

До заходів по покращенню мікроклімату у виробничих приміщеннях відносять:

1. широке застосування кондиціонування повітря та аерації - вентиляції;
2. вдосконалення технологічних процесів;
3. теплоізоляція обладнання, що нагрівається, застосування тепловідводячих екранів;
4. введення спеціальних ароматичних добавок у повітря, що подається у приміщення;
5. правильна організація виробничих перерв і відпочинку робітників.

Із таблиці бачимо, що параметри мікроклімату відповідають нормі.

У цеху передбачена система контролю мікроклімату за допомогою психрометрів, спиртових термометрів та анемометрів визначають швидкість руху повітря один раз на сезон. Приміщення цеху обладнане системою кондиціонування, витяжними зонтами.

Витяжні зонти призначені для видалення шкідливих речовин, що розповсюджуються, як в горизонтальній, так і у вертикальній площині.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						63
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

Табл. 5.1 - Показники мікроклімату в приміщенні

Пора року	Категорія роботи	Температура повітря, С		Швидкість руху повітря, м/с		Відносна волога, %	
		Фактична	Оптимальна	Фактична	Оптимальна	Фактична	Оптимальна
У зимовий період	1Б	17-20	20-24	0,2	0,3	65	Не більше 65
У літній період	1Б	20-22	20-24	0,2	0,3	55	Не більше 65

В приміщенні цеху проектом передбачена загальнообмінна механічна, припливно-витяжна вентиляція, а також контроль гранично допустимої концентрації (ГДК) небезпечних речовин, а саме оксидів азоту, оксидів сірки у повітрі. Крім того, передбачено наявність кімнат для відпочинку, нормальне функціонування систем опалення та використання засобів індивідуального захисту (захисний комбінезон, окуляри, халат, гумові рукавички, респіратори типу РПГ-67-А).

Технологічні апарати, які пройшли ретельну очистку із наступним лабораторним аналізом середовища в апараті, можуть випробовуватись на герметичність стиснутим повітрям. Всі інші технологічні апарати випробовуються інертним газом.

В відповідності до СНиП 2.04.05 – 84 вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони підтримується з допомогою місцевої, загальнообмінної і аварійної вентиляції. Ванни з шкідливими виділеннями обладнані бортовими



підсосами. Для підтримання оптимальних значень температури в цеху передбачена центральна система водяного опалення.

### **5.3. Захист від виробничого шуму та вібрації**

Джерелами шуму у виробничому приміщенні є вентилятори, системи повітрообміну, рух автооператора, робота дробарок та турбіни. Рівень шуму в цеху залежить від роботи всіх видів устаткування одночасно і досягає  $L \approx 100-103$  дБА за даними лабораторних вимірів, що відповідає нормам для роботи на постійних робочих місцях і робочих зонах виробничого підприємства. Згідно ДСН 3.3.6.037-99 фактично-допустиме значення становить 65 дБА.

Допустимі рівні шуму співставляють з вимогам «Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 р. №37 – ДНС 3.3.6.037-99.

Зниження шуму досягається наступними способами:

- акустичною обробкою приміщень, а зокрема, приміщення звукопоглинаючих пористих матеріалів;
- архітектурно-планувальним рішенням: відстань від стіни до обладнання з робочої сторони лінії 1,5м, з неробочої 1,2-1,5м; площа виробничого приміщення на одного працюючого не менше 4,5м; мінімальна висота приміщення 5 м, при цьому площа приміщення зайнята лінією хромовання, не перевищує 25 % загальної площі цеху.

В цеху, що проектується використовують пристрій ИШВ-003 для вимірювання рівня шуму и контролю рівня вібрації.

### **5.4. Пожежна безпека**

Джерелами пожежної небезпеки на даному цеху є: коротке замикання між частинами обладнання, розряди статичної електрики, механічні пошкодження обладнання і електропроводу.

					ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П	Арк
						65
Зм.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

В цеху знаходяться дерев'яні меблі та стільці, папір, що являють собою матеріал для горіння та розповсюдження пожежі.

Будівлі і споруди даного типу потрапляють в П-ІІ клас зони (блискавковідвід вертикальний стрижньовий).

Основними причинами короткого замикання є пошкодження ізоляції проводів, дія на проводи хімічних речовин. До заходів попередження перевантажень і короткого замикання в електричних мережах відносять застосування плавких запобіжників і спеціальних автоматів. При нещільних контактах в місцях з'єднання електропроводки, а також при окисленні місць з'єднання виникає перехідний опір, що приводить до місцевих нагрівів і загорянь. Для попередження перегріву проводів від перехідних опорів збільшують площі опорів контактів, застосовують пружні контакти.

Для відводу статичної електрики використовують занулення всіх металічних частин технологічного обладнання, площадок, рукояток, приборів і поручнів, де можлива електризація поверхні, а також металічних резервуарів, в яких знаходяться рідини, піддаються електризації.

Для гасіння виникаючої пожежі передбачена водопровідна мережа. В цеху наявні вогнегасники порошкового та водного типів: ОП-5 згідно ДСТУ-3105-95 та ОВ-9.

Для пожежного зв'язку і сигналізації передбачені оповіщувачі типу ПК і ГА і телефонний зв'язок. Цех обладнаний охороно-пожежною сигналізацією та блискавко-захисним обладнанням.

Кількість евакуаційних виходів з будівель, кожного поверху та приміщень необхідно приймати зі СНиП 2.01.02-85, однак не менше двох.

Слід зазначити, що існує ряд винятків, коли допускається один евакуаційний вихід або використання як другого виходу інших пристосувань для евакуації, зокрема зовнішньої пожежної металеві драбини. Не допускається влаштовувати евакуаційні виходи через приміщення категорій

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						66
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

А і Б, а також через виробничі приміщення в будівлях ступеня вогнестійкості ІІІб, ІV, ІVа та V.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно:

1. Витримувати виробничі об'єкти в чистоті і систематично доочищувати їх від відходів виробництва.

2. Усі горючі та легкозаймисті речовини та матеріали зберігати у спеціально відведених місцях (на відстані не менше 50м від компресорної), які можуть бути забезпечені всіма протипожежними засобами.

3. При прийомі особи на роботу її слід ознайомити з правилами техніки безпеки.

4. По кожному об'єкту транспорту, переробки і охолодження газу повинен бути розроблений оперативний план дій при пожежі.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.ЗП</i>	Арк
						67
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У даній роботі розроблено проект удосконалення технологічної схеми Дарницької ТЕЦ - 4 об'ємна витрата становить 98 496 м<sup>3</sup> на год.

Вибрано та обґрунтовано технологічну схему очищення димових газів.

Розраховано матеріальний баланс.

Наведено опис теоретичних даних про механічні, фізичні та процеси, які реалізуються в запропонованій технологічній схемі водоочищення.

Проведено гідравлічні та технологічні розрахунки установки очищення димових газів на території Дарницької ТЕЦ-4 у м. Київ.

В будівельній частині спроектовано газоочисні споруди згідно із санітарними та протипожежними вимогами.

Виконано креслення генерального плану, технологічної схеми, план розміщення споруд (поздовжній та поперечний перерізи).

Запропонована технологічна схема дозволяє досягти поставлених перед проектом цілей: забезпечення необхідного ступеня очистки газу від димового забруднення.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						68
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гомеля М.Д., Крисенко Т.В., Дейкун І.М. Очисні споруди. Основи проектування – К.: НТУУ «КПІ», 2007.- 169 с.
2. Іваненко О.І. Технологія та обладнання захисту атмосфери – К.: НТУУ «КПІ»,
3. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. – М.: Стройиздат. – 1982. – 440 с.
4. Трепёнов Р.И. Альбом чертежей конструкций и деталей промышленных зданий: Учебное пособие. М.: Стройиздат, 1978 г.- 378с.
5. С.В. Дятков «Промышленные здания и их конструктивные элементы» - М.: – 1971.-390 с.
6. СНиП 2-Г.10.12-66. Оборудование очистки газов.- Введ. 01.01.1986.- М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1986.-72 с.

					<i>ЛЕ51.07.ДП.00.019.3П</i>	Арк
						69
Зм.	Арк	№ докцм.	Підпис	Дата		