

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Хіміко-технологічний факультет
Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення
та загальної хімічної технології

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

_____ Н.М. Толстопалова
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2021 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Хімічні технології неорганічних речовин
та водоочищення»**

спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

на тему: Відділення біологічного очищення димових газів

Виконала: студентка 4 курсу, групи ХН-71

Малькевич Єлизавета Костянтинівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник: ст. викл., к.т.н. Кринець Г.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант:

з автоматичного контролю

та регулювання

(назва розділу)

ст. викл. Лукінюк М.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

з економіко-організаційних рішень доц., к.т.н. Підлісна О.А.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

з охорони праці

(назва розділу)

доц., к.т.н. Полукаров Ю.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Нормоконтроль:

ст.викл., к.т.н. Феденко Ю.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Рецензент:

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2021 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

[illegible]

				ДП ХН7107 1440 000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Малькевич Є.К			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Кримець Г.В.				1	1
Консульт					КПІ ім. Ігоря Сікорського каф. ТНР, В та ЗХТ гр. ХН-71	
Н/контр.	Феденко Ю.М.					
В.о. зав.каф.	Толстопалова Н.М.					

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет хіміко-технологічний
(повна назва)

Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Освітньо-професійна програма «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення»

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Н.М. Толстопалова
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Малькевич Єлизаветі Костянтинівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Відділення біологічного очищення димових газів,
керівник проекту: старший викладач, к.т.н. Крimeць Григорій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «26» квітня 2020 р. №1069с

2. Термін подання студентом проекту 16. 06.21 р.

3. Вихідні дані до проекту: Продуктивність по димовим газам 4 м³/год.

4. Зміст пояснювальної записки: Обґрунтування та вибір способу і технологічної схеми виробництва. Характеристика продукції, сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних носіїв. Характеристика і обґрунтування прийнятого методу виробництва. Хімізм та теоретичні основи. Опис технологічної схеми. Витратні коефіцієнти з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв. Автоматичне регулювання та контроль виробництва. Економіко-організаційні розрахунки. Охорона праці. Екологічна безпечність виробництва. Інноваційна частина.

5. Перелік графічного матеріалу: технологічна схема цеху, схема дистанційного контролю та автоматичного регулювання технологічних параметрів, креслення загального вигляду головного апарата, плакат результатів розрахунку економіко-організаційної частини, плакат інноваційної частини.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6, 10	ст. викл., к.т.н. Кримець Г.В.		
7	ст. викл. Лукінюк М.В.		
8	доц. Підлісна О.А.		
9	доц. Полукаров Ю.О.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Обґрунтування та вибір способу і технологічної схеми виробництва.	10 березня	
2	Описання технологічної схеми виробництва. Креслення технологічної схеми на форматі А4.	15 травня 20 березня	
3	Характеристика продукції, сировини, допоміжних матеріалів, енергетичних носіїв. Характеристика прийнятого методу виробництва.	26 березня 31 березня 02 квітня 12 квітня	
4	Виконання креслення основного апарату.	16 квітня	
5	Характеристика технологічного обладнання: розрахунок та вибір основних реакторів; розрахунок і вибір допоміжного технологічного обладнання.	22 квітня 29 квітня	
6	Автоматичний контроль та керування виробництвом	15 травня	
7	Економіко – організаційні розрахунки	21 травня	
8	Екологічна безпека виробництва	25 травня	
9	Охорона праці виробничого процесу	31 травня	
10	Оформлення пояснювальної записки, креслень та ілюстративних плакатів	15 червня	
11	Попередній захист	10 червня	

Студент

(підпис)

Малькевич Є.К.
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Кримець Г.В.,
(ініціали, прізвище)

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Відділення біологічного очищення димових газів

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 97 с.; 21 рис.; 25 табл.; 37 посилань; 3 додатки.

У бакалаврському проекті проаналізовані методи біологічного очищення димових газів, запропоновано спосіб очищення газових викидів за допомогою абсорбції, з попереднім фільтруванням на механічному фільтрі. Наведено фізико-хімічні основи процесу абсорбції, проведені конструктивні та технологічні розрахунки основного обладнання. На підставі зроблених розрахунків обрано необхідне устаткування.

На підставі технологічної схеми обрані засоби автоматичного контролю і регулювання.

Розраховано техніко-економічні показники впровадження даного відділення. Визначена собівартість очищення димових газів та вартість обраного методу очищення.

Розроблено заходи екологізації, охорони навколишнього середовища та охорони праці.

АБСОРБЦІЯ, ДИМОВІ ГАЗИ, ПАРНИКОВІ ГАЗИ, ХЛОРЕЛА, МЕХАНІЧНИЙ ФІЛЬТР, АБСОРБЦІЙНА КОЛОНА, ЦИКЛОН, БІОРЕАКТОР, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка 97с.; 21рис.; 25 табл.; 37 ссылок; 3 приложения.

У бакалаврском проекте проанализированы методы биологической очистки дымовых газов, предложен способ очистки газовых выбросов с помощью абсорбции, с предварительным фильтрованием на механическом фильтри. Приведены физико-химические основы процесса абсорбции, проведены конструктивные и технологические расчеты главного оборудования. На основании проведенных расчетов было выбрано необходимое оборудование.

На основании технологической схемы были выбраны средства автоматического контроля и регулирования.

Рассчитаны технико-экономические показатели внедрения данного отделения. Определена себестоимость очищенных дымовых газах и стоимость выбранного метода очистки.

Разработаны мероприятия экологизации, охраны окружающей среды и охраны труда.

АБСОРБЦИЯ, ДЫМОВИЕ ГАЗЫ, ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ, ХЛОРЕЛЛА, МЕХАНИЧЕСКИЙ ФИЛЬТР, АБСОРБЦИОННАЯ КОЛОНА, ЦЫКЛОН, БМОРЕАКТОР, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ, ОХРАНА ТРУДА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

ABSTRACT

Explanatory note 97 pp.; 21 fig.; 25 tab.; 37 lib.; 3 appendices.

The bachelor's project analyzes the methods of biological flue gas cleaning, proposes a method of cleaning gas emissions by absorption, with pre-filtration on a mechanical filter. Physico-chemical bases of the absorption process are given, constructive and technological calculations of the main equipment are carried out. Based on the calculations, the necessary equipment was selected.

On the basis of the technological scheme means of automatic control and regulation are chosen.

The technical and economic indicators of implementation of this department are calculated. The cost of flue gas cleaning and the cost of the selected cleaning method are determined.

Measures of greening, environmental protection and labor protection have been developed.

ABSORPTION, FLUE GASES, GREENHOUSE GASES, CHLORELLA,
MECHANICAL FILTER, ABSORPTION COLUMN, CYCLONE,
BIOREACTOR, AUTOMATION, ECONOMIC ECONOMICS

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	12
1 Обґрунтування та вибір способу виробництва	13
2 Характеристика продукції, сировини та матеріалів	14
3 Характеристика методу, хімізм, теоретичні основи	24
4 Технологічна схема виробництва	30
5 Характеристика технологічного обладнання	32
5.1 Розрахунок та вибір основного реактору	37
6 Автоматичний контроль та керування виробництвом	59
6.1 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації	59
6.2 Опис розробленої схеми автоматизації	60
7 Економіко-організаційні розрахунки	62
7.1 Організаційна структура цеху біологічного очищення димових газів	62
7.2 Класифікація виробничих процесів цеху	63
7.3 Визначення оптимального виду руху предметів праці (ВРПП)	64
7.4 Середньорічні показники роботи цеху	65
7.5 Розрахунок кількості одиниць обладнання, чисельності персоналу	65
7.6 Контроль якості виробництва	68
7.7 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка	69
7.8 Розрахунок техніко-економічних показників	74
7.9 Порівняння даного способу з тими що зараз використовуються	75
8 Охорона праці	26
8.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів	78
8.1.2 Виробниче освітлення	82

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ				
З	Л	№ докум.	Підп	Д					
Розроб.	Малькевич				Відділення біологічного очищення димових газів		Літ.	Арк	Аркуш
Перевір	Кривець							97	10
Реценз.							КПІ ім. Ігоря Сікорського ХТФ, гр. ХН-71		
Н.	Феденко								
Затвер	Топоталов								

8.1.3 Виробничий шум і вібрація	82
8.1.4 Електробезпека	83
8.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання	84
8.2 Пожежна безпека	85
9 Екологічна безпека виробництва	86
9.1 Методичні основи визначення скорочення викидів П.Г.	87
9.2 Розрахунок екологічних платежів	90
Висновки	93
Перелік посилань	94

ВСТУП

Актуальність роботи. Однією із глобальних проблем, що зумовлене антропогенними чинниками у екологічній сфері є зростання в атмосфері парникових газів. Найбільшої уваги надається вуглекислому газу. Через його здатність поглинати довгохвильову радіацію. Це і є одним з ключових факторів парникового ефекту. Через зростання вуглекислого газу в атмосфері та збільшення середньої температури Землі, держави підписали конвенцію на світовому кліматичному саміті 30 листопада 2015 р у місті Ле Бурже, Франція. Де була досягнута домовленість про заходи, для скорочення викидів парникових газів в атмосферу.

Такий стан речей направлений на необхідність розвитку альтернативних методів для знешкодження парникових газів. Один з таких є використання у промислових умовах хлорофілвмісних мікроводорості які забезпечують процес фотосинтезу. Переваги таких мікроводоростей над наземними рослинами є у їх здатності за однаковий проміжок часу поглинати у десятки разів більше вуглекислого газу та адаптуватися до несприятливих умов. А також при культивуванні в закритих системах усі фотосинтетичні властивості хлорофілвмісних мікроводоростей зберігаються. Через такі властивості може досягатися ефективне очищення промислових викидів від вуглекислого газу .

Тому розробка технологічних схем вилучення вуглекислого газу за допомогою мікроводоростей , є актуальним завданням, що наблизить Україну до виконання Паризької кліматичної угоди від 12.12.2015 р., ратифікованої Верховною Радою, Закон № 1469-VIII від 14.07.2016 р., а також виконання домовленостей, висвітлених на форумі, 21 січня 2020 року в Давосі (Швейцарія).

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР СПОСОБУ ВИРОБНИЦТВА

Головною причиною зміни клімату є люди. В 170 разів швидше антропогенні чинники впливають на всі процеси по змінні кліматичних умов ніж природні чинники. Діяльність людини призвела до швидких темпів зміни екосистеми Землі[1].

Для зменшення антропогенного впливу на атмосферне середовище застосовують велику кількість методів очистки, серед яких слід виділити наступні : абсорбційні, адсорбційні, термічні, біологічні та комбіновані. Найбільше розповсюдження, для очистки димових газів, набув метод абсорбції з використанням водних розчинів лужних реагентів. В якості лужних реагентів в основному використовують NaOH, KOH, K_2CO_3 , Na_2CO_3 , $CO(NH_2)_2$, MEA та інші. Проте не зважаючи на переваги (високий ступінь вилучення, простота застосування) використання даних реагентів має дуже значний недолік : необхідність утилізації великої кількості відпрацьованих абсорбційних розчинів. Даний недолік призводить до значного обмеження у використанні даних процесів для очистки димових газів.

Основною перевагою використання, в якості поглинача парникових газів суспензій мікроводоростей є наступне : можливість отримання корисних продуктів та значно більша питома абсорбційна ємність суспензії у порівнянні з класичними лужними поглиначами. Для багатьох культур мікроводоростей збільшення вмісту CO_2 в газовій суміші може призвести до загибелі культури та втрати фотосинтетичної активності клітин. Визначальним фактором є парціальний тиск розчиненого вуглекислого газу в суспензії. Але значно зручніше контролювати вміст вуглекислого газу в повітряній суміші [1-3]. Споживання вуглекислого газу клітиною мікроводорості залежить від швидкості фотосинтезу і складає 0,9 - 1,1 л на 1 г сухої ваги синтезованої біомаси. Але при подачі до суспензії кількості вуглекислого газу, що дорівнює його споживанню, парціальний тиск цього газу в суспензії буде близьким до 0 і цей параметр стане лімітуючим. Певна кількість вуглекислого газу виноситься з

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

суспензії потоком повітряної суміші і для забезпечення високої швидкості приросту мікроводоростей необхідно у 2 - 2,5 рази більше вуглекислого газу. При зниженні інтенсивності світлового спектру поглинання зменшується швидкість фотосинтезу мікроводоростей і концентрація вуглекислого газу потрібна для насичення зменшується. Забезпечити необхідну кількість вуглекислого газу можна подаванням надмірної його кількості або ж на основі експериментальних досліджень швидкості фотосинтезу в залежності від продуктивності фотобіореактора. При цьому концентрацію слід підтримувати у межах плато вуглеводневої кривої фотосинтезу. Застосування фотосинтетичних властивостей мікроводоростей в промисловості відбувається через наявність промислових газових викидів із високим вмістом вуглекислого газу, який необхідно утилізувати. Вуглекислий газ (CO_2) присутній у димових газах у концентраціях до 25% в залежності від джерела палива [4]. Такий відсоток вмісту вуглекислого газу може служити основним джерелом живлення для культури мікроводоростей *Chlorella*. Також слід врахувати, що димові гази, після спалювання вугілля, містять велику кількість оксиду сірки (IV), який практично не впливає на процес життєдіяльності мікроводоростей і тому не потребує попереднього видалення.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦІЇ, СИРОВИНИ ТА МАТЕРІАЛІВ

Зелені мікроводорості *Chlorella*.

Хлорелла вперше описана датським вченим Бесрніком у 1890 році. Свою назву вона отримала завдяки латинському закінченню «ella» - «маленький», та грецькому кореню «chloros» - «жовто-зелений» [2].

Хлорелла – одноклітинні мікроводорості, у яких домінує нерухома стадія і обмежена рухома, тому вони мають тип будови кокоїдний. Є одно- чи багатоядерними, одноклітинними чи об'єднаними в колонії, не мають джгутиків і пульсаційних вакуолей. Такий тип будови зустрічається у більшості мікроводоростей. *Chlorella* – це одноядерні водорості із розміром ядра 1 мкм,

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які мають кулясту форму клітин діаметром 5-10 мкм. Мають хлоропласт чашоподібний [2].

На стінках *Chlorella* присутній внутрішній целюлозний та спорополеніновий шар. До якого входять окиснені полімери каротиноїдних ефірів та безпосередньо каротину, з них складаються пилок вищих рослин та клітинні стінки спор. У цього роду присутня лише одна мітохондрія. Хлоропласти хлорели мають відтінки зеленого кольору та містять піреноїди – це клітинна органела. Міститься всередині або на поверхні хлоропластів багатьох водоростей. Є центром фіксації вуглекислого газу. Складається з центрального тіла білкової природи - матрикса, або строми, та крохмальної обкладки. Там, де розташовується піреноїд - утворюється крохмаль. Зелений колір пояснюється вмістом α і β – хлорофілів, α -, β -, γ -, ϵ - каротинів на відміну від синьозелених водоростей, а також вмістом ксантофілів: неоксантину, віолаксантину, зеаксантину, лютеїну, антераксантину [2].

Підвищення концентрацій хлористого натрію та нестача біогенних елементів, призводять до надмірного утворення у клітинах мікроводорості каротиноїдів. Основним запасним полімером хлорели є крохмаль, у той час як він не міститься у деяких мікроводоростей. Він складається з амілози та амілопектину у різному співвідношенні і сконцентрований навколо піреноїдів *Chlorella*[2].

Хлорелла розмножується послідовним вегетативним поділом за допомогою автоспор. Відбувається це як у рухомому так і нерухомому стані.

Мікроводорості типу *Chlorella* активно накопичують вуглеводні, що лягає в основу їх використання у промисловості для знешкодження вуглекислого газу[3].

Мікроводорості поглинають приблизно у десятки разів більше вуглекислого газу у порівнянні з наземними рослинами, за однаковий проміжок часу, їх швидкість росту значно більша та відома витривалість до несприятливих умов існування. Їх здатність розвиватися в закритих системах зберігаючи при цьому фотосинтетичні властивості дає можливість

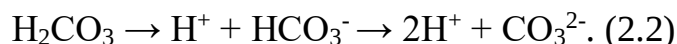
					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовувати їх у промисловості для зв'язування великих кількостей вуглекислого газу, що є об'єктивною умовою для очищення промислових газових викидів від діоксиду карбону за допомогою фотосинтезу [3].

Розмір клітин водоростей складає в межах від 0,5 до 6 мкм шириною та від 1,5 до 10 мкм в довжину [4].

Неорганічний вуглець є найважливішим компонентом для мінерального живлення мікроводоростей та процесу фотосинтезу в них. У вигляді вуглекислого газу, який надходив до живильного середовища барботуванням з повітря є основним джерелом [5].

На відміну від наземних рослин у водному середовищі вуглець засвоюється у інших формах. Асимілюють CO_2 з повітря. Розчинений вуглекислий газ (CO_2) у воді взаємодіє з нею та утворює вугільну кислоту (H_2CO_3), яка дисоціює на йони гідрокарбонат HCO_3^- і карбонат CO_3^{2-} [5]:



Як видно з рівнянь, у воді в більшості співвідношення та кількість H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} залежить від рН. Так, при $\text{pH} < 7$, тобто в кислому середовищі домінуючою є вугільна кислота або вільний CO_2 , при $\text{pH} 7 - 9$ домінуючим є йон HCO_3^- , а при значеннях $\text{pH} > 9$ домінуючими є аніони карбонату CO_3^{2-} (рис.2.1). Інші чинники які впливають на кількість і співвідношення H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} у воді це концентрація солей, парціальний тиск вуглекислого газу (CO_2) в атмосфері і температура [5].

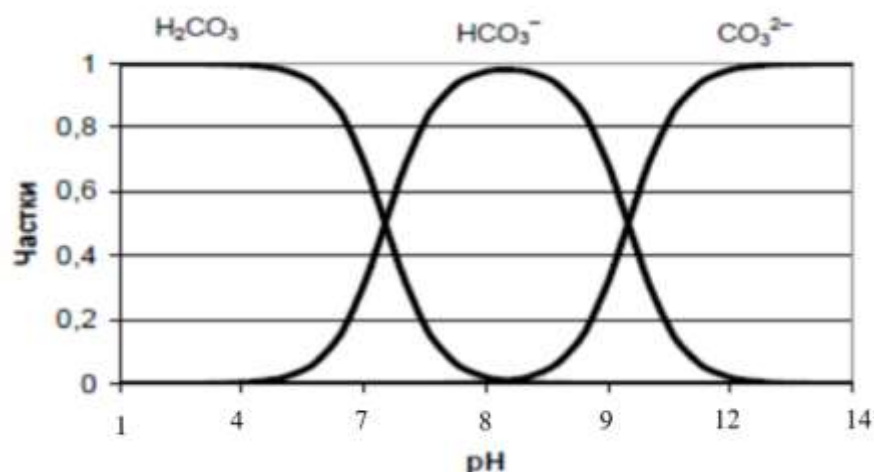


Рисунок 2.1 - Графік залежності відносного вмісту форм вугільної кислоти від pH середовища [5].

Загальне поняття фотосинтезу стосується переходу неорганічних сполук (CO_2 та H_2O) за участі сонячної енергії в енергію хімічних зв'язків та органічні сполуки, у вуглеводні. За рахунок внутрішнього джерела біосфери, фотосинтез призводить до зростання її вільної енергії. Джерело енергії це - біомаса, яка утворюється в результаті процесу фотосинтезу. Тому продукти цілеспрямованого фотосинтезу є використанням з ціллю рекуперації енергії, наприклад одержання метану анаеробним біорозкладом. Здатність до фотосинтезу мають мікроводорості як і інші рослини. Окрім того хлорофілвмісні мікроводорості мають перевагу, яка полягає у поглинанні набагато більшої кількості вуглекислого газу, якщо порівнювати їх із рослинами і швидкому рості, та також вони адаптуються у несприятливих умовах. Тому актуальним завданням сьогодення є пошук шляхів застосування фотосинтезу з метою поглинання вуглекислого газу в промислових умовах [5].

Реакція перетворення енергії світла в хімічну відбуваються за участі зеленого листя рослин чи мембран клітин водоростей. В цих організмах молекулярна будова мембран дуже різниться і фотохімічні реакції в них також різні. Водночас, реакції фотосинтезу у всіх цих різних системах мають одну спільну рису - світлова енергія, поглинута мембранами, перетворюється у хімічну енергію АТФ (аденозинтрифосфат), який має велике значення у обміні енергії і речовин в хлорофілвмісних організмах [5].

АТФ або аденозинтрифосфат – це універсальне джерело енергії, що має велике значення для утворення ферментів та приймає участь у біохімічних процесах. Таким чином, АТФ - це «паливо» в живій клітині: розкладаючись, ця сполука виділяє енергію, подібно до того як виділяється енергія при спалюванні звичайного газу чи нафти. Але відмінність в тому, що енергія, яка виділяється при розкладанні АТФ, переходить не в теплоту, а в хімічну енергію нових зв'язків або на перебудову різних надмолекулярних структур клітини[5].

Усі види фотосинтезуючих мікрободоростей об'єднує те, що енергія світла, яка поглинається у фотосинтетичному апараті переходить в хімічну енергію молекул АТФ. А ця енергія використовується фотосинтезуючими мікрободоростями для засвоєння вуглецю та інших сполук, що знаходиться у зовнішньому середовищі і перетворенням їх у вуглеводні [5].

Клітинні мембрани регулюють транспорт вуглекислого газу, води та інших розчинених у воді компонентів. Таким чином, сприяють поглинанню вуглекислого газу внесені у середовище культивування речовини. В літературі мало відомостей про механізм проникнення вуглекислого газу з повітря всередину хлорофілвмісних клітин мікрободоростей. В основному є інформація транспорту газів відповідно до градієнту концентрації. Проте, участь вуглекислого газу в масообміні клітини, зокрема клітини мікрободорості, із зовнішнім середовищем супроводжується рядом складних біохімічних реакцій, організованих у часі й просторі. Біомаса мікроорганізмів, кількість окремих клітин мікрободоростей, концентрація поглинаючої речовини та інші складові біохімічного перетворення можуть змінюватись внаслідок цих процесів[5].

Таким чином, транспорт вуглекислого газу всередину хлорофілвмісних клітин, що тотожно поглинанню вуглекислого газу (CO₂) хлорофілвмісними мікрободоростями - є складним процесом, у якому відбувається міжфазове масоперенесення вуглекислого газу із газової в «умовно тверду». Такі процеси характеризуються сукупністю кінетичних та дифузійних факторів, що впливають на їх швидкість. Дана система є трьохфазною «газ-рідина-клітина» і якщо порівнювати її зі складними газорідними двофазними системами, то існує

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

більше труднощів під час її опису. Мова йде про етапи проникнення вуглекислого газу спочатку у водну фазу, згодом шляхом дифузії до поверхні клітини мікроводорості і наступним етапом транспорт через мембрану всередину «умовно твердої» фази клітини[5].

Отож, у випадку хлорофілвмісних мікроводоростей механізм поглинання вуглекислого газу клітинами мікроводоростей умовно складається з п'яти етапів:

- перехід CO_2 із газової фази у водну;
- дифузія CO_2 до поверхні біомаси колоній;
- дифузія CO_2 в міжклітинному просторі до поверхні клітини мікроводорості;
- дифузія через пористу оболонку клітин колоній мікроводоростей.
- фотосинтез[5].

В основі процесу поглинання вуглекислого газу та кінетичного дослідження лежить синтезуючими мікроводоростями хлорофіл, сукупність дифузійних та кінетичних факторів, ускладнених масопереносом. А тому існує необхідність створення такого режиму проведення процесу поглинання вуглекислого газу, під час якого вплив дифузійних процесів масопереносу буде незначним, або ним можна знехтувати[6].

1. Перший етап - перехід вуглекислого газу (CO_2) із газової фази у водну.

На цьому етапі відбувається транспорт вуглекислого газу (CO_2) із газової фази в водне середовище, де відбувається культивування мікроводоростей. Коефіцієнт масопереносу, який супроводжує даний процес математично, може бути представлений таким рівнянням[6].

$$k' = \frac{1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{m}{\beta_2}}; \quad (2.3)$$

де, k' - коефіцієнт масопередачі;

m – коефіцієнт розподілу;

β_1, β_2 – коефіцієнт масовіддачі.

2. Другий етап - дифузія CO_2 до поверхні колоній біомаси мікроводоростей.

Даний процес можна описати за допомогою рівняння масопередачі:

$$\frac{dM}{dt} = \beta F(C - C_{\text{CO}_2}); \quad (2.4)$$

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, M - маса CO_2 яка перейшла крізь об'єм розчину суспензії до поверхні колоній мікроводорості;

t - час;

β - коефіцієнт масовіддачі;

F - площа поверхні масообміну;

C , C_{CO_2} - концентрація CO_2 у основній масі суспензії мікроводоростей і концентрація CO_2 біля поверхні колоній мікроводоростей відповідно[6].

3. Третій етап - дифузія CO_2 в міжклітинному просторі до поверхні «умовно твердої» фази, клітини мікроводорості.

Розчинений газоподібний CO_2 (субстрат) за рахунок дифузійного переносу в рідкій фазі досягає клітинної стінки, а далі відбувається транспорт крізь клітинну мембрану безпосередньо всередину клітини. Даний процес, досягнення клітинної стінки кількісно описується наступним рівнянням[6]:

$$D_m = \varepsilon D_1; (2.5)$$

де, D_m - коефіцієнт дифузії вуглекислого газу (CO_2) в міжклітинному просторі колоній мікроводоростей;

ε - коефіцієнт, що визначається пористістю колоній мікроводоростей і зображає відношення об'єму колоній мікроводоростей до міжклітинного об'єму;

D_1 - коефіцієнт дифузії вуглекислого газу (CO_2) у воді [6].

Тут слід зазначити, що поверхня клітин мікроводоростей захищена водяною плівкою.

4. Четвертий етап - дифузія через мембрану клітин колоній мікроводоростей.

Проникнення (транспорт) вуглекислого газу через клітинну мембрану, (пористу оболонку), може здійснюватися за рахунок пасивного або активного транспорту, або за рахунок пасивної дифузії чи активної дифузії [6].

За теорією пасивного транспорту через пори мембрани вуглекислий газ буде дифундувати відповідно до градієнту концентрацій, згідно закону Фіка, так званої пасивної дифузії. Тобто за лінійною залежністю кількості пониклого вуглекислого газу через клітинну мембрану, від його концентрації. Пасивний транспорт може бути описаний представленим нижче рівнянням Фіка [6]:

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\gamma = - D \text{ grad } C; (2.6)$$

де, γ - дифузійний потік;

C - концентрація вуглекислого газу в об'ємі розчину культивування;

D - коефіцієнт дифузії CO_2 через клітинну мембрану.

Процес дифузії крізь стінку мембрани характеризується градієнтом концентрації по обидві сторони мембрани. Дифузія крізь пори стінки мембрани визначається товщиною і пористістю мембрани клітини мікроводорості. Маса транспортованої речовини (CO_2) визначається наступним рівнянням [6]:

$$M = K_0 F \Delta C; (2.7)$$

де, M - маса вуглекислого газу (CO_2);

K_0 - коефіцієнт швидкості переносу вуглекислого газу (CO_2);

F - площа масопереносу;

ΔC - середньологарифмічна різниця концентрацій.

Під час активної дифузії білки-переносники (ферменти) сприяють переносу, транспортуючи вуглекислий газ із середовища з низькою концентрацією в середовище з високою концентрацією і цей транспорт пов'язаний з витратою енергії, аденозинтрифосфату (АТФ). Цей механізм призводить до надмірного накопичення речовини, тобто утворюється максимально можливе кількість фермент-субстратних комплексів і спостерігають найвищу швидкість утворення продукту. Процес активної дифузії описується гіперболічною залежністю кількості вуглекислого газу, що проникає через клітинну мембрану і не суттєво залежить від його концентрації [6].

5. П'ятий етап - фотосинтез.

На цьому етапі відбувається фотосинтез за участі мінеральних речовин серед яких вуглекислий газ є вирішальним[6].

Як було зазначено вище, фотосинтез - це трансформація неорганічних сполук (CO_2 та H_2O) за участі світлової енергії в енергію хімічних зв'язків та органічні сполуки, у вуглеводні. На цьому етапі клітина починає розрізняти молекули, що поглинаються тому необхідно більш детально дослідити механізм впливу вуглекислого газу та інших супутніх оксидів на явище, які супроводжують

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фотосинтез. Математично швидкість фотосинтезу можна описати наступним кінетичним рівнянням[6]:

$$\frac{dC}{dt} = k_A [C_{CO_2}] * [C_{H_2O}]; (2.7)$$

де, k_A – константа швидкості біохімічної реакції фотосинтезу.

Залежність константи швидкості біохімічної реакції k_A від температури описане рівнянням хімічної кінетики (рівнянням Арреніуса) і має вигляд:

$$k_A = k_0 * e^{-\frac{E}{RT}}; (2.8)$$

де, E - енергія активації;

R – газова стала.

Отже, сумарний коефіцієнт масопередачі у процесі біологічного очищення промислових газових викидів від CO_2 хлорофілвмісними мікроводоростями, згідно правила адитивності, має такий вигляд[6]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{k'} + \frac{1}{D_m} + \frac{\delta}{D_c} + \frac{1}{k_{dnp}}}; (2.9)$$

де, k' - це сума коефіцієнтів масовіддачі із газового у водне середовище, а саме

$$k' = \frac{1}{\beta_1 + \beta_2};$$

тут β_1 – коефіцієнт масовіддачі із газового середовища до поверхні розподілу фаз;

β_2 – коефіцієнт масовіддачі від поверхні розділу фаз у основний об'єм суспендованого середовища мікроводоростей;

l – позначення умовного середнього розміру колоній мікроводоростей;

D_m – коефіцієнт дифузії CO_2 в міжклітинному просторі колоній мікроводоростей;

δ – товщина мембрани клітини мікроводорості;

D_c – коефіцієнт дифузії вуглекислого газу через клітинну мембрану;

k – константа швидкості біохімічної реакції фотосинтезу;

d_{np} – приведений діаметр (розмір) клітини мікроводорості.

Сумарний коефіцієнт масопередачі зображений і у вигляді сумарного опору масопереносу і має такий вигляд[6]:

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{1}{K} = \left(\frac{1}{k'} + \frac{1}{k_m} + \frac{1}{k_c} + \frac{1}{k_{пр}} \right) = \frac{k' * k_m * k_c * k_{пр}}{k' * k_m * k_c * k_{пр}} =$$

$$= \frac{k_m * k_c * k_{пр} + k' * k_c * k_{пр} + k' * k_m * k_{пр} + k' * k_m * k_c}{k' * k_m * k_c * k_{пр}};$$

$$K = \frac{k' * k_m * k_c * k_{пр}}{k_m * k_c * k_{пр} + k' * k_c * k_{пр} + k' * k_m * k_{пр} + k' * k_m * k_c}. \quad (2.10)$$

Процес фотосинтезу протікає у водному середовищі, в умовах надлишку води, тому, лімітуючим чинником виступає концентрація вуглекислого газу. Отже, концентрація води на швидкість реакції фотосинтезу не впливає. А отже це реакція (нульового) першого порядку. Швидкість реакції постійна в часі і залежить від концентрації вуглекислого газу, оскільки середовище культивування мікроводоростей є водним і швидкість дифузії вуглекислого газу до поверхні стінки клітини менша за швидкість їх біохімічного перетворення [6].

Отже, сумарне значення коефіцієнту масопереносу можна визначити, якщо впродовж дослідження інтенсифікували підвід вуглекислого газу до поверхні мікроводоростей з основного об'єму. Барботуючи ним водний розчин суспензії фотобіореактора. Тому в даному випадку коефіцієнт масовіддачі - β є відносно великою величиною, а оберненим його значенням можемо знехтувати. З урахуванням пористості колоній мікроводоростей ($\epsilon=0,4$), припускаємо конвективний масоперенос вуглекислого газу в міжклітинному об'ємі колоній, а відтак другим коефіцієнтом знаменнику виразу також нехтуємо. Усі інші величини рівняння є відомі. Саме в такий спосіб може бути визначений сумарний опір[6].

Отже, враховуючи, що швидкість реакції не залежить від концентрації води. У внутрішньоклітинному середовищі вода у достатній кількості. Весь цей складний механізм аж до фотосинтезу залежить тільки від концентрації вуглекислого газу та проникнення його із повітря у клітину мікроводорості доцільно вивчати і надалі[6].

3 ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДУ, ХІМІЗМ, ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

Температура суспензії є найбільш суттєвим параметром. Підтримання даного параметра визначається кривою швидкості фотосинтезу, яке має вузьке плато оптимуму (рис.3.2).

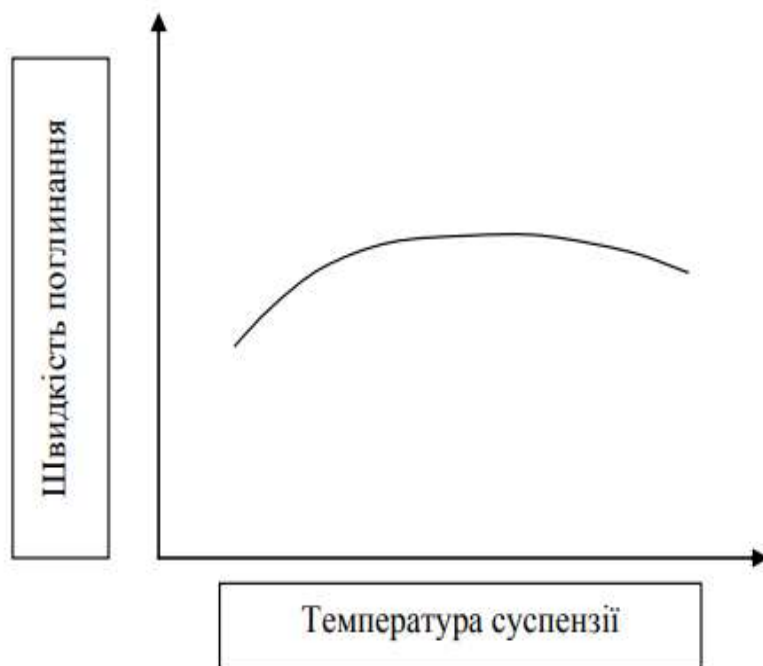


Рисунок 3.2 - Температурна крива швидкості фотосинтезу [7].

Зменшення активності суспензії мікрободоростей відбувається за зниження температури. Вони можуть переходити у так званий період сплячки. Але при збільшенні температури суспензії вище на 3-4°C оптимального значення на декілька годин може викликати повну загибель клітин [7].

Мікрободорості поділяють на термофільні та мезофільні. Температурний оптимальний параметр для термофільних – вище 30°C, для мезофільних становить 28-30°C. Продуктивність термофільних мікрободоростей вище мезофільних. *Chlorella* належить до термофільних [7].

Вуглеводнева крива швидкості фотосинтезу (рис.3.3), на відміну від температурної має ширше плато оптимальних значень.

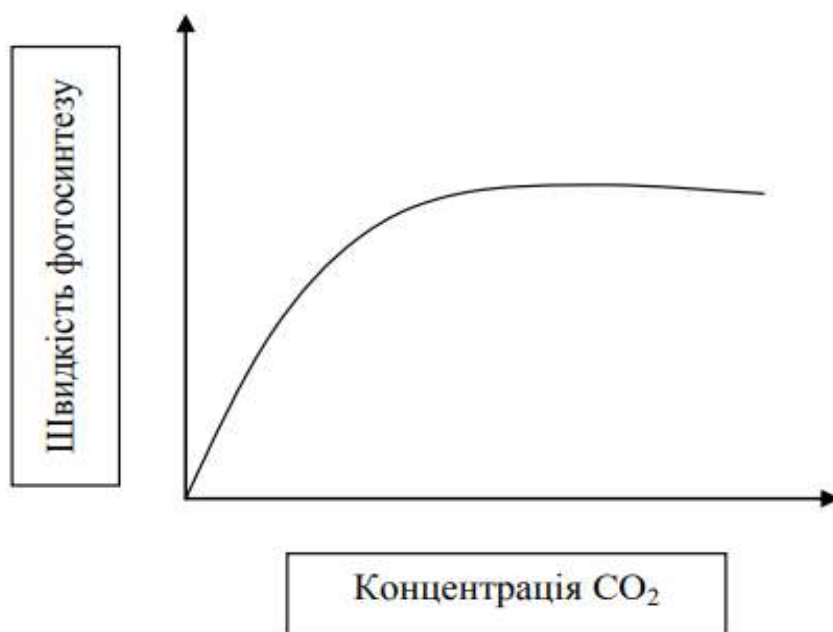


Рисунок 3.3 - Вуглеводнева крива швидкості фотосинтезу [7].

Збільшення вмісту CO_2 в газовій суміші для багатьох культур мікроводоростей призводить до втрати фотосинтетичної активності клітин та загибелі культури. Концентрація розчиненого CO_2 та парціальний тиск є визначальним фактором для швидкості фотосинтезу в суспензії. Але контролювати вміст вуглекислого газу в повітряній суміші значно зручніше [8].

Від швидкості фотосинтезу залежить споживання вуглекислого газу клітиною мікроводорості і складає 0,9 - 1,1 л на 1 г сухої біомаси. Але при подачі до суспензії кількості вуглекислого газу, яка дорівнює його споживанню, парціальний тиск газу в суспензії буде близьким до 0 і це стане лімітуючим параметром. Тому для забезпечення високої швидкості приросту мікроводоростей необхідно вносити газу у 2 - 2,5 рази більше. Але і при зниженні інтенсивності світлового спектру зменшується поглинання, швидкість фотосинтезу і концентрація вуглекислого газу яка потрібна для насичення [6].

Існують дані про інгібуючий вплив на культуру мікроводоростей високих концентрацій більше ніж 25% вуглекислого газу. Наприклад *Chlorella*, яка була аерована 100% CO_2 спостерігалось максимальні показники приросту біомаси ніж ті, які були отримані при аерації 25% суміші CO_2 [8].

Для нормального росту мікробіодоростей необхідні азот, калій, магній, фосфор, сірка, залізо і ряд мікроелементів. Через велику кількість видів мікробіодоростей і їх походження стає неможливим застосування одного середовища культивування. Розроблена велика кількість середовищ, кожна з яких має велику кількість недоліків і переваг, в лабораторних умовах найчастіше використовують 4 типи (табл.3.1). Розчини, створені на основі Тамія з нітратним чи аміачним азотом, застосовуються для вирощування одноклітинних мікробіодоростей типу *Chlorella*. Кількості розчинених в 1л солей достатньо для вирощування 12-15 г сухої біомаси [9].

Відомі дані про значну витривалість до вмісту оксидів NO_x і SO_2 у димових газах штаму мікробіодоростей [10]. Це відбувається у зв'язку з тим що мікробіодорості можуть поглинати азот у вигляді NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , NO і N_2 .

Існують дані про отримання високої швидкості приросту мікробіодоростей в досліджуваному об'єкті пов'язане з присутністю оксидів NO_x та SO_2 у промислових газах, які служили додатковим джерелом азоту й сірки для підтримки росту клітин мікробіодоростей, проте не зазначено інгібуючого впливу діоксиду сульфору на процес поглинання. Та задля уникнення вмісту критичних концентрацій цих оксидів у газах, що поглинаються, пропонується розбавлення промислових газових викидів повітрям, що дозволить використання мікробіодоростей у якості знешкодження негативного впливу без попереднього знешкодження компонентів газової суміші [5,10].

Показник рН є важливим параметром на зміну якого мають вплив домішок побічних оксидів, що містять промислові газові викиди. Існують літературні дані про гальмування процесу поглинання вуглекислого газу мікробіодоростями під впливом рН розчину [11]. Інгібуючу дію рН на ріст мікробіодоростей можна пояснити переважно впливом діоксиду сульфору в газовій суміші, що змінює значення показника через вивільнення H^+ . Що відбувається через гідроліз SO_2 і призводить до зниження рН розчину. Це

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зниження рН культури мікрободоростей спричинило зниження ефективності видалення та фіксації CO₂ [12].

Також при підвищенні рН середовища більше 8 - гідроксид амонію, що міститься в середовищі дисоціює на вільний аміак, що може призвести до сповільнення росту культури мікрободоростей [13].

Таблиця 3.1 - Середовища для культивування мікрободоростей [13].

Середовище	Склад	Кількість г/л
Тамійя	KNO ₃	5,0
	MgSO ₄ * 7H ₂ O	2,5
	KH ₂ PO ₄	1,25
	FeSO ₄ * 7H ₂ O	0,009
	ЕДТА	0,03
	Розчин мікроелементів	1мл на 1л середовища
Заррука	NaHCO ₃	6,8
	K ₂ HPO ₄	0,5
	NaNO ₃	2,5
	K ₂ SO ₄	1,0
	NaCl	1,0
	MgSO ₄ * 7H ₂ O	0,2
	CaCl ₂	0,04
	FeSO ₄ * 7H ₂ O	0,009
	ЕДТА	0,08
	Розчин мікроелементів	1мл на 1л середовища
Аргарі (модифікація)	NaCl	116,0
	MgSO ₄ * 7H ₂ O	50,0
	KNO ₃	5,0
	KH ₂ PO ₄	1,25
	FeSO ₄ * 7H ₂ O	0,009
	ЕДТА	0,037
	Розчин мікроелементів	1мл на 1л середовища
Броді - Емерсона	KCl	16,03
	NaCl	12,52
	MgSO ₄ * 7H ₂ O	2,5
	Ca(NO ₃) ₂	0,17
	KBr	0,05
	KI	0,05
	Fe + ЕДТА	1,0 мл
	Розчин мікроелементів	5мл на 1л середовища
Розчин мікроелементів	H ₃ BO ₃	2,86
	MnCl ₂ * 4H ₂ O	1,81
	ZnSO ₄ * 7H ₂ O	0,22
	MoO ₃	0,018
	NH ₄ VO ₃	0,023

Для культивування мікрободоростей у лабораторних умовах використовують прості установки з барботуванням балонним CO₂ та освітлення природнім або штучним. А також не вимагається дотримання стерильності, бо хлорела придушує

розвиток мікрофлори. Але необхідно дотримуватися монокультури штаму для уникнення розвитку в ній зайвих видів водоростей, які будуть небажаними для використання в корм тваринам. Адже *Chlorella* використовується в сільськогосподарстві, кролівництві, хутровим звіринництвом, бджільництвом. Такі установки через простоту устаткування і дешевизну мають переваги для напівпромислового культивування. Вони сприяють до ефективного вирощування тварин [14].

В 1980 році створена експериментальна установка для культивування мікроводоростей з подальшим перетворенням її у метан. У фотосинтетичному блоці бісолярної установки площею 30 м² здійснюється культивування хлорели для одержання біомаси. В подальшому, відділену від рідини біомасу мікроводоростей подають у камеру бродіння, де методом анаеробного збродження відбувається ферментація біомаси з подальшим утворенням біогазу із складом: на 80% метан, на 16% діоксид вуглецю і на 2% водень. Конструкція технологічної схеми дозволяє додатковий підвід вуглекислого газу у фотобіореактори, також можливе використання чистого діоксиду вуглецю, який входить в біогаз, з метою підвищення КПД фотосинтезу в фотобіореакторах. Відомі висновки про потенційні можливості даної технологічної установки, які полягають у одержанні 1млн.т біопалива за необхідності лише 1,5 тис.т біогенних елементів (перш за все N, P, K та ін)[15]. Схематичне зображення установки представлено на рис.3.4.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

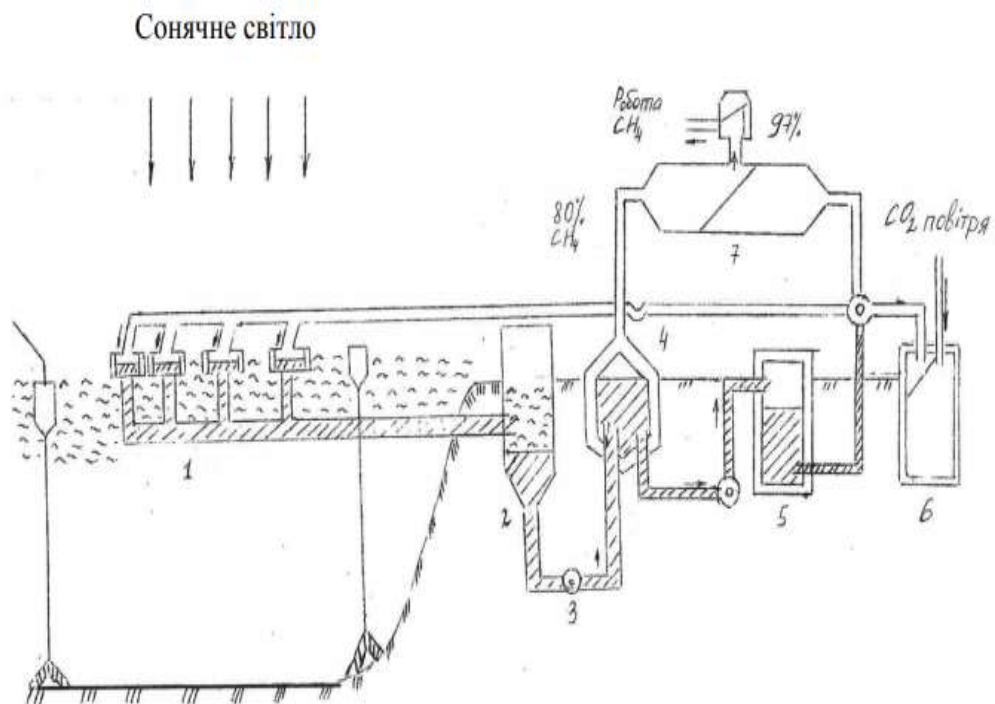


Рисунок 3.4 - Бісолярна установка [16].

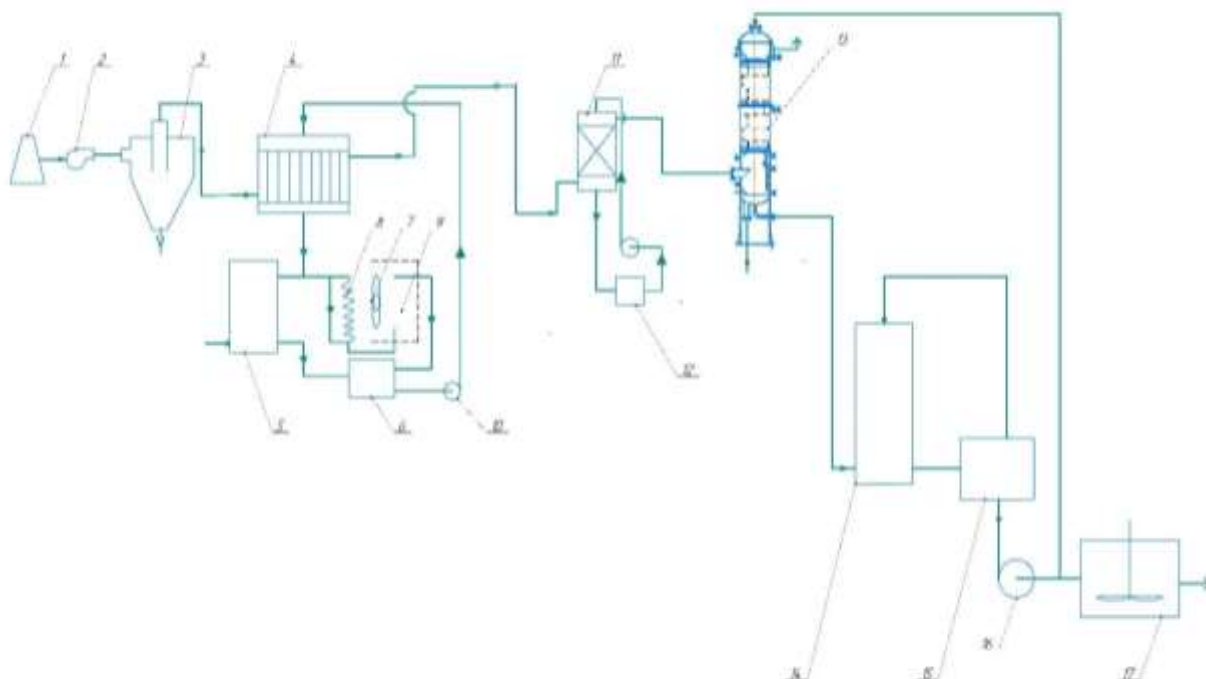
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ

Арк.
29

4 ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА

Проаналізувавши запропоновану лабораторну технологічну схему [17] та технологічні рішення, що існують на теперішній час для утилізації димових газів і врахувавши наявне на світовому ринку промислове обладнання було запропоновано схему промислової очистки димових газів за допомогою суспензії мікрководоростей. Схема зображена на рис.4.5.



1 - димова труба, 2 - вентилятор, 3 - циклон, 4 - пластинчатий теплообмінник, 5, 6, 7, 8, 9, 10 - система рециркуляції тепла, 11, 12 - механічний фільтр, 13 - тарілчатий абсорбер, 14 - біореактор, 15 - бак-змішування, 16 - насос, 17 - бак з мішалкою

Рисунок 4.5 - Технологічна схема відділу біоочистки димових газів.

Опис технологічного процесу: димові гази збираються з промислової труби 1, вентилятором 2 проходить по трубопроводу в циклони 3, де газ відділяється від твердих частинок – грубодисперсних частинок. Після чого переходить до пластинчатого теплообмінника 4, де поданий газ має

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температуру 500°C, а на виході до холодильної установки має 90°C. У холодильній установці за рахунок комплексної дії водного холодильника, вентиляторного холодильника - температура ще зменшується і знову подається в теплообмінник. Щоб досягти більшого ефекту, після теплообмінника охолоджений газ по трубопроводу прямує до рукавного механічних фільтрів, де доочищаються від малодисперсних часток. Після чого газ переходить до тарілчатого абсорбера 11, де промивається суспензій мікроводоростей для вилучення діоксиду вуглецю в біомасу. Потім суспензія мікроводорості потрапляє до блоку біореактора 14, де відбувається регенерація та збільшення популяції. Надлишкова біомаса відводиться з ємності 17 на подальшу переробку.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Для реалізації основного процесу біологічної очистки використовуємо стандартну барботажну колону.

Досить широкого поширення в промисловості набули барботажні масообмінні колони тарілчастого типу з тарілками переливного типу і зі ступеневим контактом фаз. Зазвичай масообмінний апарат являє собою циліндричну колону, по висоті якої на певній відстані установлені масообмінні контактні пристрої. Основними контактними елементами тарілчастих колон є різного типу тарілки. Найбільш часто використовують такі типи тарілок: сітчасті, ковпачкові, клапанні, жалюзійно-клапанні, струминні, ґратчасті та ін [18].

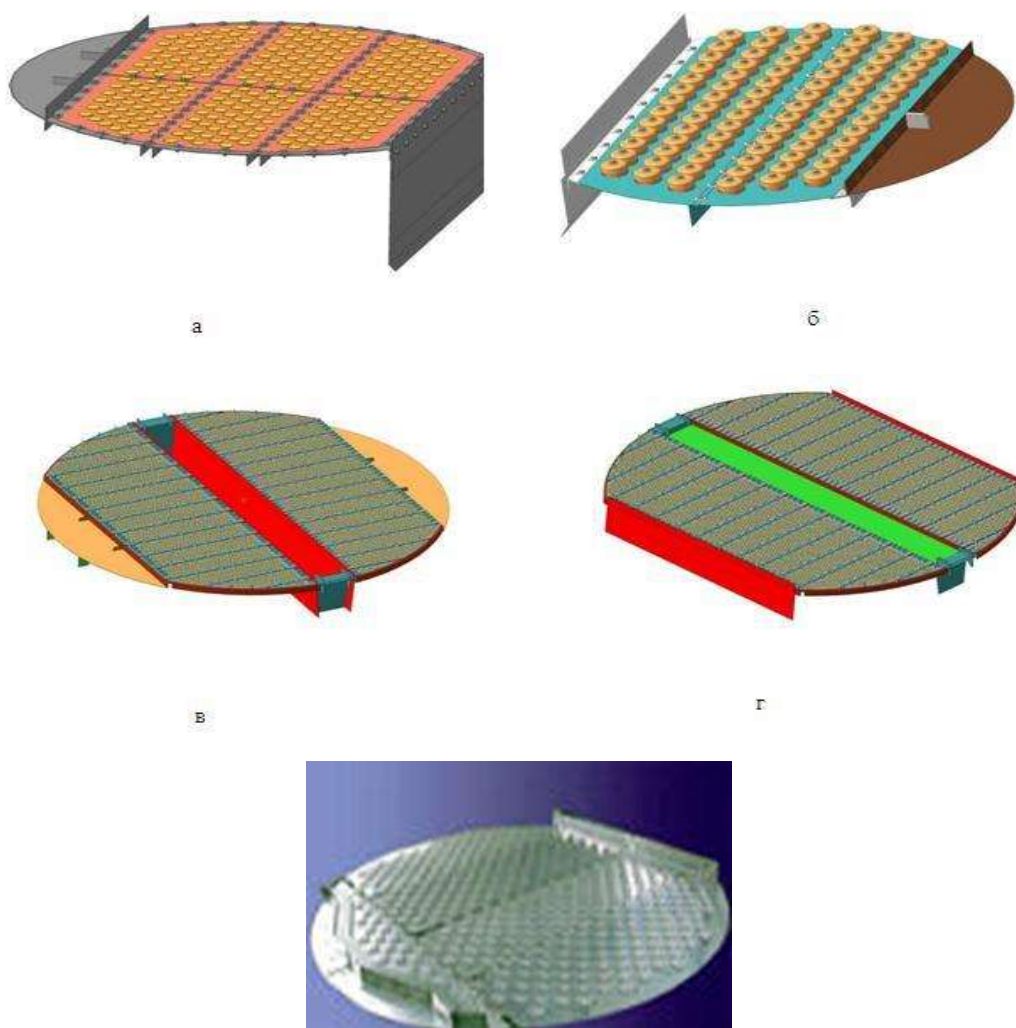


Рисунок 5.6 - Зовнішній вигляд деяких типів тарілок[18].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ

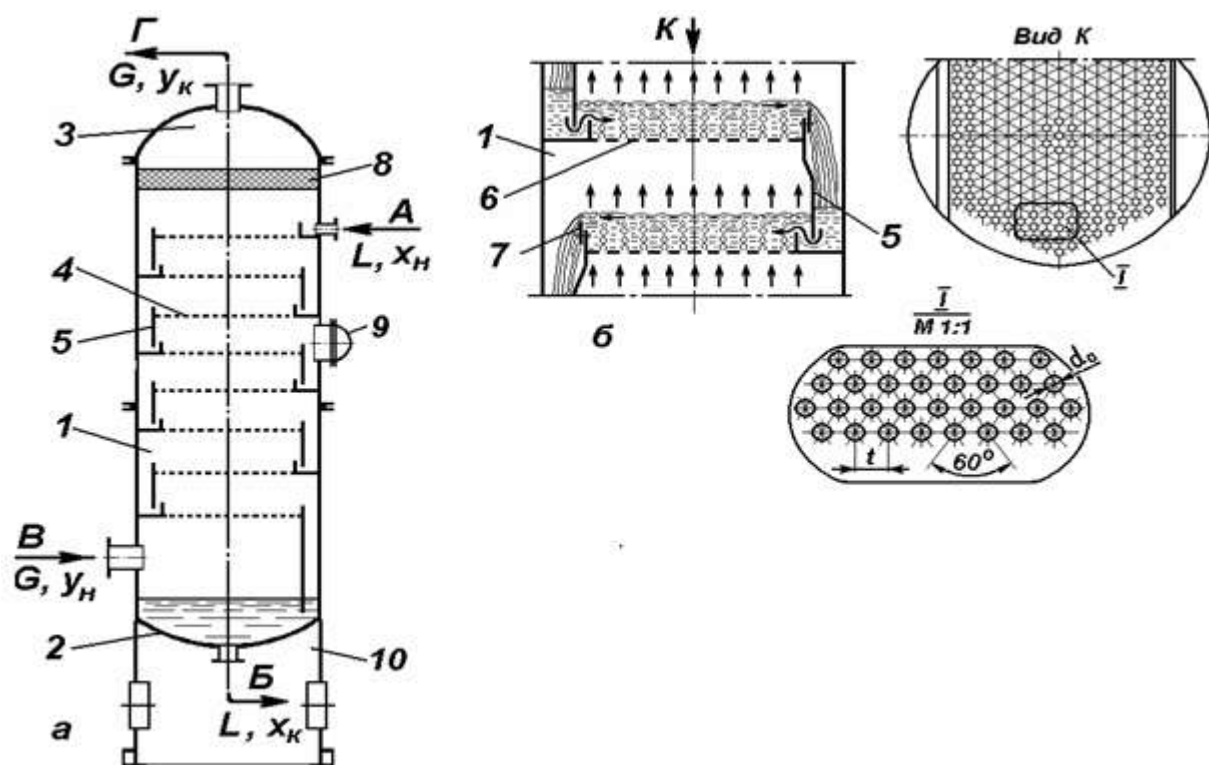
Арк.

32

а - клапанна тарілка; б - ковпачкова тарілка; в, г - двохпоточні клапанні тарілки ТКП з відповідно боковим та центральним переливом; д - сітчаста тарілка.

Вихідний потік газу (пари) надходить в апарат знизу, розподіляється по контактних елементах тарілки, барботує через шар рідини, при цьому відбувається міжфазна взаємодія потоків і перенесення речовини з газової фази в рідку. У тарілчастих абсорберах відбувається багатоступеневий контакт газової суміші і абсорбенту, у результаті якого досягається високий ступінь вилучення речовини (компонента газової суміші) рідким поглиначем - абсорбентом. Рідина подається в колону на верхню тарілку і перетікає по переливних пристроях на тарілки, що розміщені нижче[18].

Опис установки: схема абсорбер наведена на рис.5.7.[19].



а – загальний вигляд; б – конструктивні особливості установки;

Потоки: А - подача абсорбенту; Б - відведення абсорбенту; В - подача газу; Г - відведення газу; 1 - корпус; 2 - днище; 3 - кришка; 4 - тарілка сітчаста; 5 - переливна стінка; 6 - полотно тарілки; 7 - планка переливна; 8 - бризковловлювач; 9 - люк - лаз; 10 – опора.

Рисунок 5.7 - Абсорбер із сітчастими тарілками[19]:

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У ректифікаційних колонах на тарілках відбувається багатоступеневий контакт парової і рідкої фаз, у результаті якого парова фаза конденсується в рідкій фазі на тарілці, за рахунок тепла конденсації з рідкої фази виділяється парова фаза нового складу, збагачена легкокиплячим компонентом, одночасно рідка фаза збагачується важколетучим компонентом і перетікає на нижче розташовані тарілки[19].

Конструктивно сітчасті тарілки є найпростішими і являють собою диски або їх окремі частини - секції, виготовлені із тонколистового металу товщиною $\delta = 1-3$ мм і перфоровані отворами. Отвори на тарілках можуть бути круглими діаметром $d_0 = 2-8$ мм, просічними або просічно-витягнутими шириною 2-4 мм і довжиною 10-25 мм. Круглі отвори найчастіше розміщують у шаховому порядку з кроком $t = (2,0 - 5) d_0$. Робоча площа тарілки становить близько 80 % загальної площі поперечного перерізу колони. Живий перетин тарілки - сумарна площа отворів на тарілці - звичайно складає 8-12 % площі всієї тарілки, відповідно робоча швидкість газу (пари) в отворах тарілки в 8 – 12 разів вища швидкості газу у вільному перетині масообмінної колони[19].

На протилежних сторонах тарілки розміщені приймальна кишеня і переливний пристрій, по яких рідина з тарілок, що лежать вище, перетікає на тарілки, що лежать нижче. Площа, займана переливними пристроями, приблизно однакова і разом становить близько 20 % загальної площі поперечного перерізу колони. За допомогою переливної планки, установленної з боку зливу, регулюється висота шару світлої рідини на тарілці, обираючи інтервали 20-50 мм[19].

Газ (пара) надходить під тарілку знизу з певною об'ємною витратою і барботує через шар світлої рідини на тарілці, у результаті на тарілці створюється відповідний гідродинамічний режим барботажу, що характеризує інтенсивність міжфазної взаємодії[19].

При поступовому підвищенні швидкості газу в колоні і проходженні його через отвори тарілки газ барботує у вигляді пухирців і струменів у шар рідини,

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при цьому виникають послідовно струминний, пінний і інжекційний гідродинамічні режими[19].

Основними робочими режимами барботажу є струминний і пінний, за яких на тарілці утворюється шар високогазованої піни, в якому в основному і відбувається інтенсивний масообмін і перенесення речовини з газової фази в рідку. Інтенсивність масопереносу залежить від швидкості газу в отворах тарілки, від діаметра пухирців, висоти шару рідини на тарілці, а також від властивостей взаємодіючих фаз[19].

Граничну швидкість потоку газу, що відповідає переходу в інжекційний режим роботи, в розрахунку на вільний перетин колони визначають за рівнянням:

$$w_{\text{пр}} = 0,05 \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{г}}}}. \quad (5.11)$$

Робочу швидкість газу приймають на 10 - 15 % меншою від граничної і для більшості апаратів, що працюють в інтервалі тисків 0,1 - 0,5 МПа, оптимальна робоча швидкість газу складає $w_{\text{опт}} = 0,5-1,2$ м/с[19].

Масообмінні апарати із сітчастими тарілками досить чутливі до зміни навантаження щодо газу (пари), тому такі тарілки установлюють у колонах з мало змінюваною витратою газу. При низьких навантаженнях по газу рідина провалюється через отвори на тарілки, що лежать нижче, при високих навантаженнях відбувається підвищений бризковинос із тарілок. При подачі забрудненої рідини відбувається забивання отворів на тарілці[19].

Звичайно сітчасті тарілки рекомендується встановлювати в колонах діаметром менш 2400 мм, тому що при більших діаметрах тарілок розподіл рідини на тарілці стає нерівномірним[19].

Теоретичні основи процесу в промисловій схемі абсорбційних установок діляться на дві основні групи. До 1-ї групи належать схеми без десорбції компонента і однократним використанням абсорбенту. До 2-ї групи належать схеми з десорбцією компонента і багаторазовим використанням абсорбенту.

Крім того, функціонують спеціальні схеми, за якими регенерація абсорбенту відбувається не шляхом десорбції, а іншими способами [20].

Застосування схем із рециркуляцією абсорбенту доцільно в таких випадках:

- 1) коли основний опір масопередачі зосереджено в рідкій фазі;
- 2) при необхідності охолоджувати абсорбент у процесі абсорбції.

Разом із тим, рециркуляція рідини призводить до ускладнення абсорбційних установок і додаткових витрат енергії на перекачування рециркулюючої фази[20].

Працює установка наступним чином. Газова суміш, охолоджена в теплообміннику, подається газодувкою в нижню частину абсорбера, де рівномірно розподіляється по перетину колони і надходить на контактні елементи (тарілки). Абсорбент подається у верхню частину колони відцентровим насосом із ємності, попередньо пройшовши через теплообмінник. У колоні здійснюється протитечійна взаємодія газу і рідини. Очищений газ виходить з колони. Абсорбент стікає в ємність, звідки насосом перекачується на подальшу переробку[20].

Абсорбцією називають процес виборчого поглинання компонентів з газових або парогазових сумішей рідким поглиначем (абсорбентом). Абсорбція, як і більша частина дифузійних процесів, оборотна. При цьому напрямок перенесення речовини з фази у фазу визначається умовами рівноваги і концентраціями розподільчої речовини у фазах[20].

Найбільш поширені такі способи вираження кількісного складу фаз:

1. Об'ємні концентрації – кількість кілограмів (або кіломолей) даного компонента, що припадає на одиницю об'єму фази, кг/м^3 , або кмоль/м^3 ;
2. Масові або молярні частки – відношення кількості кілограмів (або кіломолей) даного компонента до маси всієї фази, вираженою загальною кількістю кілограмів, або кіломолей відповідно;

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Відносні концентрації – відношення кількості кілограмів (або кіломолей) даного компонента до кількості кілограмів (або кіломолей) компонента – носія, кількість якого залишається постійною в процесі абсорбції.

Склад газових сумішей часто виражають через парціальні тиски компонентів. Під парціальним тиском компонента розуміють тиск, під яким знаходився б даний компонент, якби під час відсутності інших компонентів він займав увесь об'єм суміші при даній температурі і тиску.

Рівновага - термодинамічний стан системи, при якому швидкості прямого і зворотного процесів рівні, або такий термодинамічний стан системи, яке при постійній температурі і тиску не змінюється в часі[20].

5.1 Розрахунок та вибір основного реактору.

Знаючи об'ємну витрату газової суміші за нормальних умов, можна знайти за рівнянням Клапейрона її об'ємну витрату в робочих умовах на вході в абсорбер[21]:

$$V_{CM} = \frac{V_0}{3600} * \frac{(t+273)*P_0}{273*P}; \quad (5.12)$$

де, P_0 – атмосферний тиск.

$$V_{CM} = \frac{3800}{3600} * \frac{(15+273)*1}{273*8,5} = 0,13 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (5.13)$$

Використовуючи це ж рівняння, можна визначити щільність поглинаючого газу і повітря в робочих умовах [22]:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\Gamma}^0 * \frac{273*P}{(t+273)*P_0}; \quad (5.14)$$

$$\rho_{\Gamma} = 1,51 * \frac{273*8,5}{(15+273)*1} = 12,17 \text{ кг/м}^3; \quad (5.15)$$

$$\rho_{\text{повіт.}} = \rho_{\text{повіт.}}^0 * \frac{273*P}{(t+273)*P_0}; \quad (5.16)$$

$$\rho_{\text{повіт.}} = 1,3 * \frac{273*8,5}{(15+273)*1} = 10,47 \text{ кг/м}^3; \quad (5.17)$$

де, ρ_{Γ}^0 і $\rho_{\text{повіт.}}^0$ – густини поглинаючого газу і повітря за нормальних умов ($\rho_{\Gamma}^0 = M_{\Gamma}/22,4$, $\rho_{\text{повіт.}}^0 = M_{\text{повіт.}}/22,4$);

$M_r = 44$ кг/кмоль – мольна маса поглинаючого газу (для повітря приймаємо $M_{\text{повіт.}} = 29$ кг/кмоль).

Масовий і об'ємний витрати поглинаючого газу на вході в абсорбер визначаються за формулами [21,22]:

$$G_r = \frac{V_{\text{см}} * C_y}{1000}; \quad (5.18)$$

$$G_r = \frac{0,13 * 150}{1000} = 0,0195 \text{ кг/с}; \quad (5.19)$$

$$V_r = \frac{G_r}{\rho_r}; \quad (5.20)$$

$$V_r = \frac{0,0195}{12,17} = 0,0016 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (5.21)$$

Абсолютна мольна (об'ємна) частка поглинаючого компонента у вихідній газовій суміші визначається за формулою:

$$Y_H = V_r / V_{\text{см}}; \quad (5.22)$$

$$Y_H = 0,0016 / 0,13 = 0,0123 \text{ кмоль } \text{CO}_2 / \text{кмоль суміші}; \quad (5.23)$$

Густина двокомпонентної газової суміші знаходиться за формулою:

$$\rho_{\text{см}} = Y_H * \rho_r + (1 - Y_H) * \rho_{\text{повіт.}}; \quad (5.24)$$

$$\rho_{\text{см}} = 0,0123 * 12,17 + (1 - 0,0123) * 10,47 = 10,49 \text{ кг/м}^3; \quad (5.25)$$

Масові витрати вихідної газової суміші і повітря (інертного носія) визначаються за формулами [22,23]:

$$G_{\text{см}} = V_{\text{см}} * \rho_{\text{см}}; \quad (5.26)$$

$$G_{\text{см}} = 0,13 * 10,49 = 1,36 \text{ кг/с}; \quad (5.27)$$

$$G_{\text{повіт.}} = G_{\text{см}} - G_r; \quad (5.28)$$

$$G_{\text{повіт.}} = 1,36 - 0,0195 = 1,34 \text{ кг/с}; \quad (5.29)$$

Відносні мольна і масова частки поглинаючого компонента у вихідній газовій суміші визначаються за формулами:

$$Y_H = \frac{y_H}{1 - y_H}; \quad (5.30)$$

$$Y_H = \frac{0,0123}{1 - 0,0123} = 0,013 \text{ кмоль } \text{CO}_2 / \text{кмоль повітря}; \quad (5.31)$$

$$Y''_H = \frac{G_r}{G_{\text{повіт.}}} = Y_H = \frac{M_r}{M_{\text{повіт.}}}; \quad (5.32)$$

$$Y''_H = \frac{0,0195}{1,34} = 0,013 * \frac{44}{29} = 0,0152 \text{ кмоль } \text{CO}_2 / \text{кмоль повітря}; \quad (5.33)$$

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Масові витрати абсорбованого і не поглиненого компонента в газовій суміші на виході з апарату знаходяться за формулами [22,23]:

$$M = G_{\Gamma} * C_n / 100; (5.34)$$

$$M = 0,0192 * \frac{94}{100} = 0,01833 \text{ кг/с}; (5.35)$$

$$G'_{\Gamma} = G_{\Gamma} - M = G_{\Gamma} * (1 - \left(\frac{C_n}{100}\right)); (5.36)$$

$$G'_{\Gamma} = 0,0195 * (1 - 0,94) = 0,00117 \text{ кг/с}; (5.37)$$

Відносна масова частка поглинаючого компонента в газовій суміші на виході з апарату визначається за формулою:

$$Y''_B = \frac{G_{\Gamma'}}{G_{\text{повіт}}}; (5.38)$$

$$Y''_B = \frac{0,00117}{1,34} = 0,00087 \text{ кг CO}_2/\text{кг повітря}; (5.39)$$

Для побудови рівноважної і робочої ліній процесу абсорбції на $Y - X$ діаграмі потрібно знайти рівноважну і робочу відносні масові частки поглинаючого компонента в рідині на виході з апарату. Відносна мольна частка поглинаючого компонента в рідині, що знаходиться в рівновазі з вихідною газовою сумішшю, визначається по залежності, отриманої на основі спільного рішення рівнянь, що виражають закони Генрі і Дальтона:

$$X^*_H = Y_H * P/E; (5.40)$$

$$X^*_H = 0,013 * 8,5/428 = 0,000258 \text{ кмоль CO}_2/\text{кмоль води}; (5.41)$$

де, E – коефіцієнт Генрі, що залежить від температури, властивостей поглинаючого газу і абсорбенту, який має розмірність тиску.

Для розрахунку можна попередньо прийняти температуру рідини в нижній частині колони $t_H = t$ і при цій температурі по рис.5.6 визначити відповідне значення E [21,23].

Рівноважна відносна масова частка поглинаючого компонента в рідині на виході з апарату визначається за формулою:

$$X^{**}_H = X^*_H * M_{\Gamma} / M_{\text{рід.}}; (5.42)$$

$$X^{**}_H = 0,000258 * 44/18 = 0,000487 \text{ кг CO}_2/\text{кг води}; (5.43)$$

де, $M_{\text{рід.}}$ – мольна маса рідкого поглинача, кг/кмоль.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаючи ступінь насичення абсорбенту – 90%, і визначивши рівноважну відносну масову частку поглинаючого компонента в рідині на виході з апарату, ми можемо визначити X_H .

$$X_H = 0,9 * X_H^* = 0,9 * 0,000487 = 0,000438 \text{ кг CO}_2/\text{кг води}; (5.44)$$

Робоча відносна масова частка X_H поглинаючого компонента в рідині в нижній частині колони знаходиться в заданому співвідношенні з рівноважною відотною масовою часткою X_H^* , і робоча лінія являє собою пряму, що проходить через точки з координатами (0; Y_B) і (X_H ; Y_H) (табл.5.2; рис.5.6).

Таблиця 5.2 - Координати точок рівноважної і робочої ліній.

Початкова точка	A (0; 0,00087)	O (0;0)
Кінцева точка	B (0,000438; 0,0152)	C (0,000487; 0,0152)

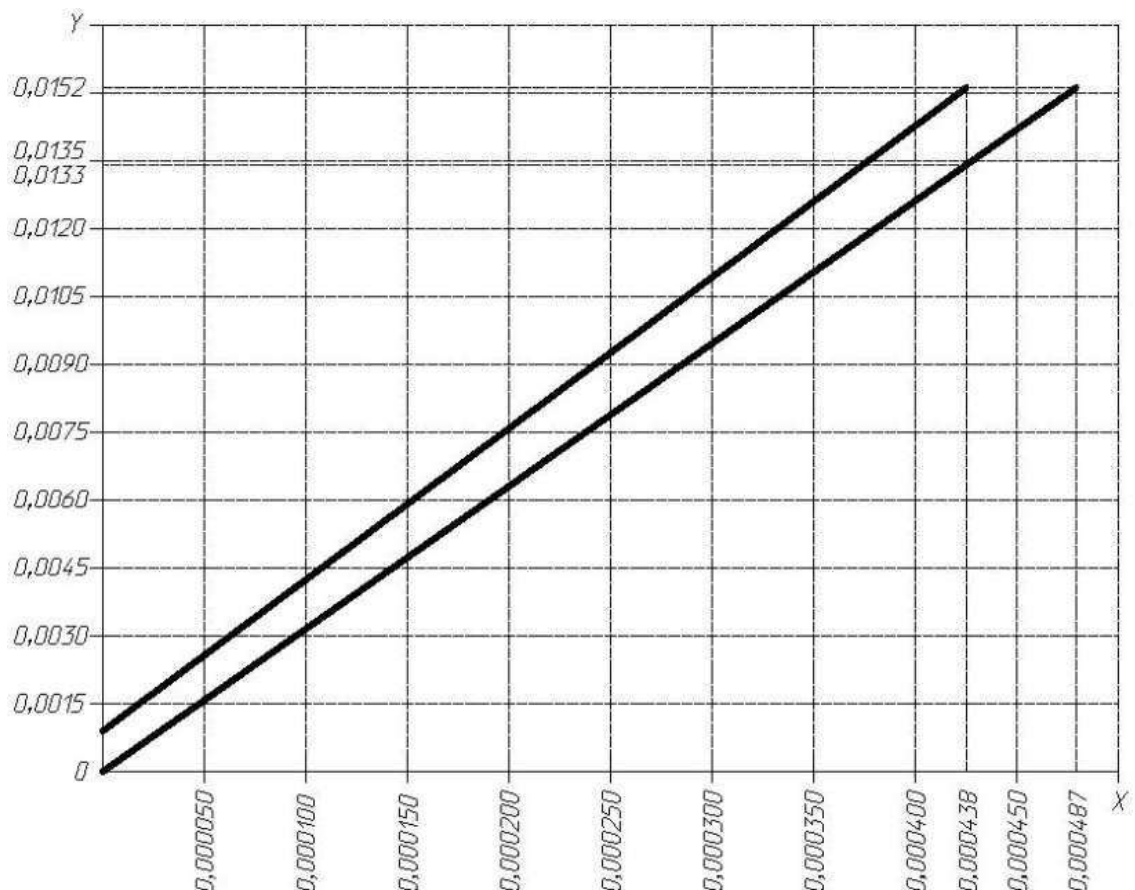


Рисунок 5.6 - Робоча і рівноважна лінії.

Оскільки різниця між $t_{\text{нр}}$ і t не більше $1-2^{\circ}\text{C}$, умови протікання процесу вважаємо ізометричними, а рівноважна лінія в цьому випадку буде являти собою пряму, що проходить через точки з координатами $(0;0)$ і $(X_{\text{н}}^*; Y_{\text{н}})$.

Витрата рідкого поглинача визначається з рівняння матеріального балансу процесу абсорбції по поглинаючому компоненту. При складанні цього рівняння мається на увазі, що інертний газ і поглинаюча рідина не беруть участі в процесі масообміну і їх масові витрати не змінюються по висоті апарату (рис.5.7).

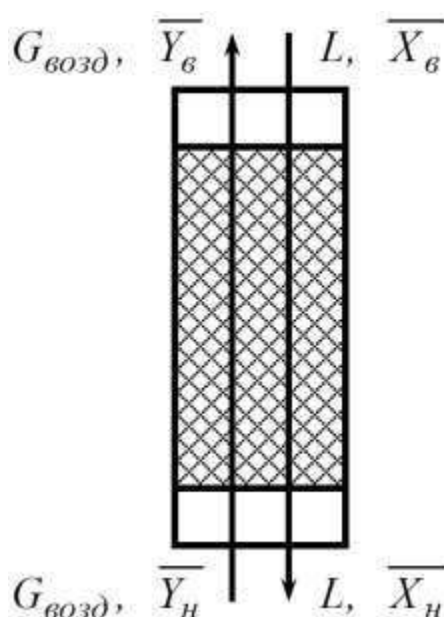


Рисунок 5.7 - Розрахункова схема до написання рівнянь матеріального балансу абсорбера.

Тоді:

$$M = G_{\text{пов}} \cdot (Y_{\text{н}} - Y_{\text{в}}) = L \cdot (X_{\text{н}} - X_{\text{в}}); \quad (5.45)$$

$$M = G_{\text{пов}} \cdot (Y_{\text{н}} - Y_{\text{в}}) = 1,34 \cdot (0,0152 - 0,00087) = 0,0192 \text{ кг/с}; \quad (5.46)$$

З цього рівняння визначається витрата абсорбенту [22,23]:

$$L = M / (X_{\text{н}} - X_{\text{в}}); \quad (5.47)$$

$$L = 0,0192 / (0,000438 - 0) = 43,83 \text{ кг/с}; \quad (5.48)$$

Рушійну силу процесу абсорбції в даному випадку зручно виражати різницею між робочою і рівноважною відносними масовими концентраціями поглинаючого компонента в газовій фазі (рис.5.7).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ

Арк.

41

Оскільки рівноважна лінія є прямою – середня рушійна сила визначається[23]:

$$\Delta Y_{CP} = \frac{\Delta Y_H - \Delta Y_B}{\ln(\frac{Y_H}{\Delta Y_B})}; \quad (5.49)$$

де ΔY_H и ΔY_B – рушійні сили процесу вниз і вгору абсорбера відповідно.

$$\Delta Y_H = Y_H - Y_B^* = 0,0152 - 0,0133 = 0,0019 \text{ кг CO}_2/\text{кг повітря}; \quad (5.50)$$

$$\Delta Y_B = Y_B - Y_B^* = 0,00087 - 0 = 0,00087 \text{ кг CO}_2/\text{кг повітря}; \quad (5.51)$$

$$\Delta Y_{CP} = \frac{0,0019 - 0,00087}{\ln(\frac{0,0019}{0,00087})} = \frac{0,00103}{0,78} = 0,00132 \text{ кг CO}_2/\text{кг повітря}; \quad (5.52)$$

Число одиниць переносу показує, на скільки одиниць змінюється концентрація поглинаючої речовини в фазі в розрахунку на одиницю зміни рушійної сили. Число одиниць переносу для газової фази визначається за формулою [23]:

$$n_{o,y} = \frac{Y_H - Y_B}{\Delta Y_{CP}}; \quad (5.53)$$

$$n_{o,y} = \frac{0,0152 - 0,00087}{0,00132} = 10,85. \quad (5.54)$$

Конструктивні розрахунки:

Робоча (фіктивна) швидкість газу для абсорберів, що працюють в плівковому режимі, попередньо визначається за формулою:

$$w' = (0,75 \div 0,9) \cdot w_{np}; \quad (5.55)$$

де, w_{np} – швидкість газу, що відповідає точці захливання.

Граничну швидкість газу в тарілчастій колоні рекомендується розраховувати за формулою:

$$w_{np} = C * \sqrt{\frac{\rho_{ж} - \rho_{см}}{\rho_{см}}} \approx C * \sqrt{\frac{\rho_{ж}}{\rho_{см}}}; \quad (5.56)$$

де, C – коефіцієнт, який обирається по рис. 5.8 у залежності від відстані між тарілками.

Попередньо приймаємо відстань між тарілками $H_T = 500 \text{ мм}$ [23].

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

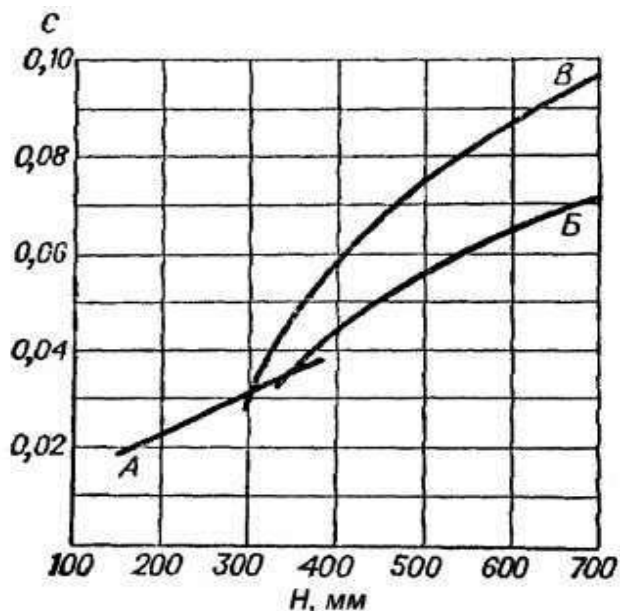


Рисунок 5.8 - Значення коефіцієнта С.

А, Б – ковпачкові тарілки; В – ситчасті тарілки.

$$w_{np} = C * \sqrt{\frac{\rho_{ж}}{\rho_{см}}} = 0,055 * \sqrt{\frac{1000}{10,49}} = 0,54 \text{ м/с}; (5.57)$$

Отже, робоча (фіктивна) швидкість газу для абсорберів дорівнює:

$$w' = 0,9 \cdot 0,54 = 0,486 \text{ м/с}; (5.58)$$

Діаметр абсорбційної колони розраховується на підставі рівняння об'ємної витрати газу за робочих параметрів:

$$D' = \sqrt{\frac{V_{см}}{0,785 * w'}} = \sqrt{\frac{0,13}{0,785 * 0,486}} = 0,58 \text{ м}; (5.59)$$

Розрахований за рівнянням діаметр колони округляється до найближчого з ряду стандартних циліндричних обичайок, мм: 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600.

Приймаємо $D = 600 \text{ mm}$.

Відповідно до новоприйнятого діаметра D уточнюється робоча швидкість газу в колоні:

$$W = \frac{V_{см}}{0,785 * D^2}; (5.60)$$

$$W = \frac{0,13}{0,785 * 0,6^2} = 0,46 \text{ м/с}; (5.61)$$

Вибір типу сітчастої тарілки.

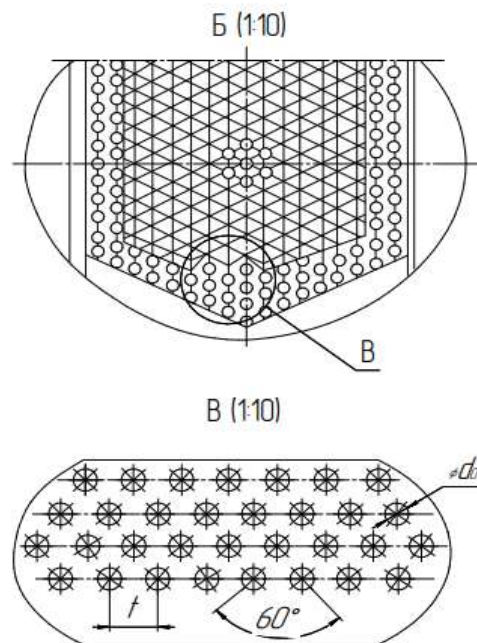


Рисунок 5.9 – Сітчата тарілка.

Для тарічастого абсорбера число теоретичних тарілок визначається графічно за діаграмою – Х (рис. 5.10). Для цього будується ступінчаста лінія, що складається з горизонтальних і вертикальних відрізків, між робочою і рівноважною лініями. Число ступенів відповідає числу теоретичних тарілок.

Таблиця 5.3 – Технічна характеристика тарілок.

Найменування параметру	Умовне Познач.	Одиниці виміру	Велич.
Діаметр колони	D	мм	600
Робоча площа тарілки	f_T	м ²	0,215
Площа проходу парів	F_o	м ²	0,027
Площа зливу	$F_{сл}$		0,012
Діаметр отворів	d_k	мм	80
Число отворів	n	шт.	13
Висота отворів	$h_{от}$	мм	55
Висота прорізу	$h_{пр}$	мм	20
Ширина прорізу	b	мм	4
Периметр зливу	L_c	м	0,48
Маса тарілки	m	кг	21,3

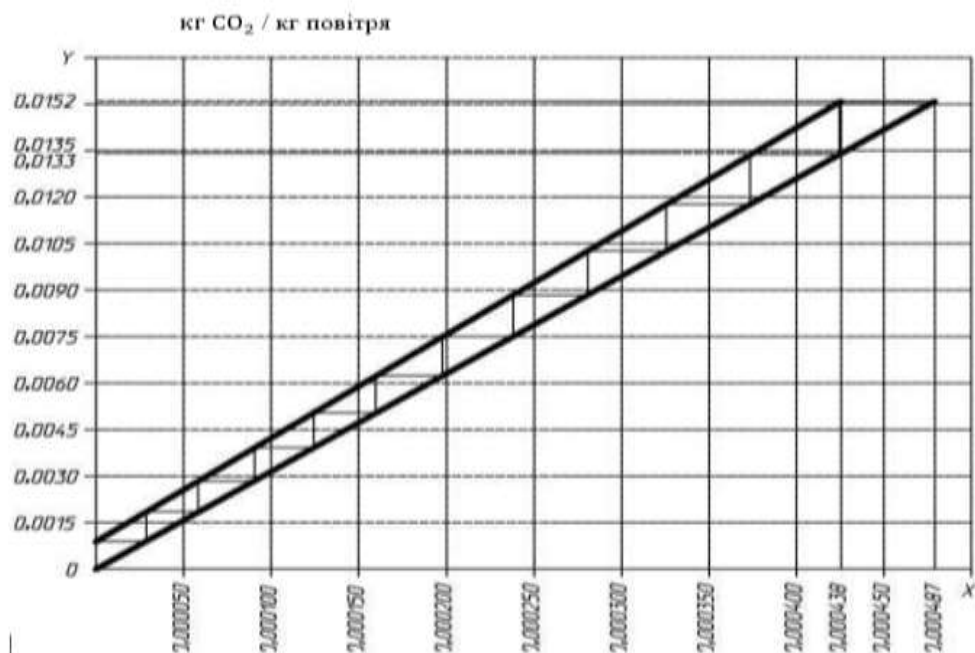


Рисунок 5.10 – Графічне визначення числа теоретичних тарілок в абсорбері.

Теоретичне число тарілок

$$N_m = 12. \quad (5.62)$$

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою, так званого, середнього к. к. д. тарілок (к. к. д. колони):

$$N_6 = N_m / \eta \quad (5.63)$$

Величина середнього к. к. д. тарілок, який вводиться для врахування реальних умов масообміну на тарілках, залежить від багатьох змінних величин (конструкція і розміри тарілки, гідродинамічні фактори, фізико-хімічні властивості газу і рідини) і може бути визначений за графіком (див. рис. 5.11).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ

Арк.

45

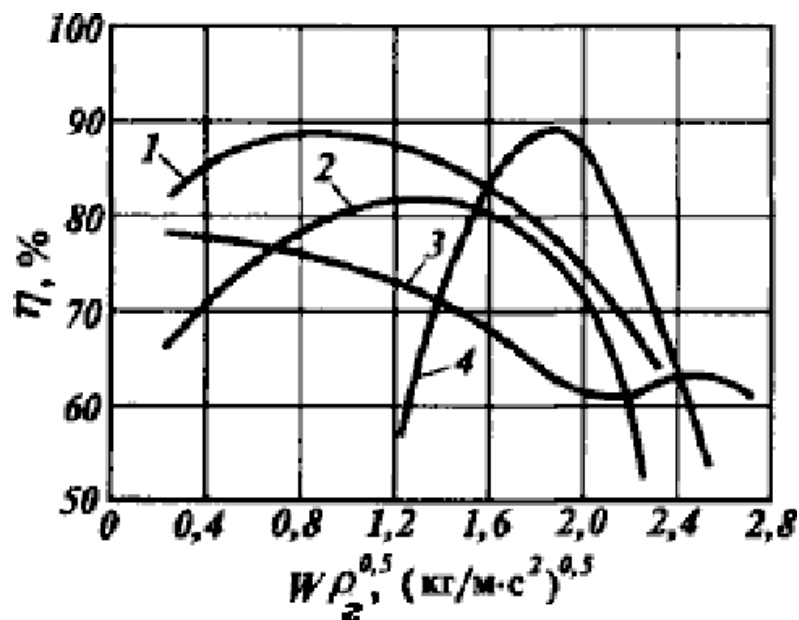


Рисунок 5.11 - Залежність ефективності тарілок різних конструкцій від фактора навантаження:

1 - клапанна; 2 - ковпачкова; 3 - ситчаста; 4 - провальна решітчаста.

Визначаємо фактор навантаження ковпачкової тарілки:

$$W\rho_g^{0,5} = 0,46 * 10,49^{0,5} = 1,49 \text{ кг/(м*с}^2)^{0,5}; \quad (5.64)$$

$$\text{Тоді } \eta = 0,77; \quad (5.65)$$

$$N_\theta = \frac{12}{0,8} = 15,58 \text{ шт}; \quad (5.66)$$

Приймаємо кількість дійсних тарілок 16 шт.

Загальна висота апарата.

Визначимо висоту колони за рівнянням:

$$H_K = H_T + Z_B + Z_H; \quad (5.67)$$

де, Z_B і Z_H – відповідно висота верхньої і нижньої частин колон, м.

Приймаємо, згідно з табл. 5.4.

$$Z_B = 0,6 \text{ м і } Z_H = 1,5 \text{ м.} \quad (5.68)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ

Арк.

46

Таблиця 5.4 – Залежність висоти сепараційного простору над тарілкою і відстанню між днищем колони та тарілкою від діаметра колони.(розміри в мм)

Діаметр колони	Z _В	Z _Н
400–1000	600	1500
1200–2200	1000	2000
2400 і більше	1400	2500

Висота тарілчастої частини колони:

$$H_T = h_{Td} (N_{Td} - 1); (5.69)$$

де, $N_{Td} = 16$ – число дійсних тарілок, шт;

$h_{Td} = 0,5$ м – відстань між тарілками, м;

$$H_T = 0,5 (16 - 1) = 7,5 \text{ м}; (5.70)$$

Тоді визначимо загальну висоту колони:

$$H_K = 7,5 + 0,6 + 1,5 = 9,6 \text{ м}; (5.71)$$

Визначення діаметрів штуцерів.

Приєднання трубної арматури до апарату, а також технологічних трубопроводів проводиться за допомогою штуцерів.

Сталеві штуцера стандартизовані і являють собою патрубки із труб з привареними до них фланцями або ковани заодно із фланцями.

Основними технологічними штуцерами є штуцери для підведення і відведення газової суміші, для підведення і відведення поглинача. Умовний діаметр розраховується, виходячи з об'ємної витрати і рекомендованої швидкості руху середовища.

Розрахунковий діаметр штуцерів для входу і виходу газової суміші $d_{1,2}$, м, знаходиться за формулою:

$$d_{1,2} = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}; (5.72)$$

де, w – рекомендована швидкість газової суміші в штуцері [22,23], м/с.

Прийmemo $w = 20$ м/с.

$$d_{1,2} = \sqrt{\frac{0,13}{0,785 \cdot 20}} = 0,09 \text{ м}; (5.73)$$

Приймемо стандартний умовний діаметр штуцерів для газової суміші $d_y=100$ мм. За ОСТ 26-1404-76 вибираємо основні розміри патрубків (табл. 5.5; рис.5.12), стандартних сталевих фланцевих тонкостінних штуцерів при $P_y=1,0$ МПа [24].

Таблиця 5.5 - Основні розміри фланцевих штуцерів для введення і виходу газової суміші.

D_y	d_T	S_T	H_T
100	108	5	215

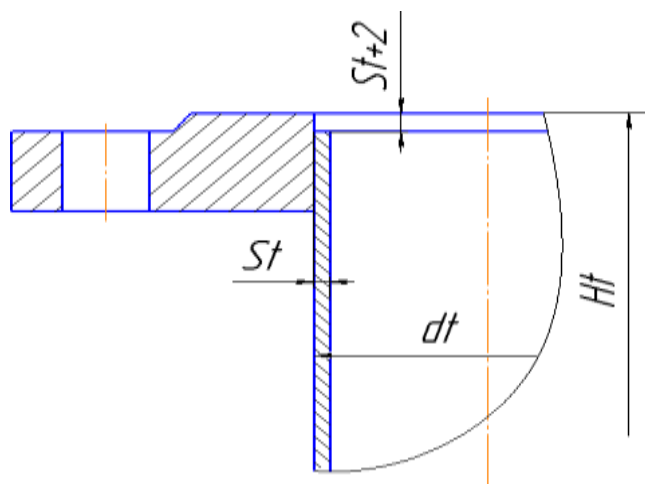


Рисунок 5.12 - Конструкції стандартних приварних фланцевих штуцерів

Виходячи з обраних нами штуцерів до них за ГОСТ 12820-80 вибираємо фланці сталеві плоскі приварні (табл. 6.5; рис. 6.15).

Таблиця 5.6 - Фланці сталеві плоскі приварні для патрубків входу і відведення газової суміші.

d_B	D_2	D_1	D	D	b	h	n	m
110	158	180	215	18	22	3	8	3,56

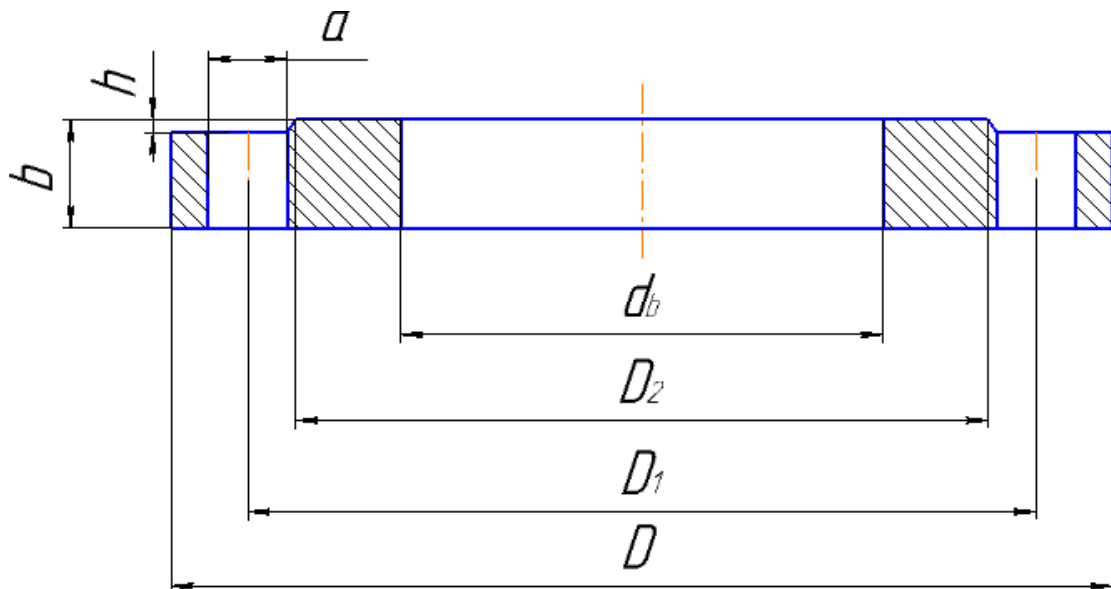


Рисунок 5.13 - Конструкції стандартних плоских приварних фланців
Номінальний діаметр болтів або шпильок М16.

Розрахунковий діаметр штуцерів для входу і виходу поглинача $d_{3,4}$, м, знаходиться за формулою:

$$V = \frac{L}{\rho_{ж}} = \frac{43,83}{1000} = 0,044 \text{ м}^3/\text{с}; (5.74)$$

де, w – рекомендована швидкість поглинача в штуцері [22,24], м/с.

Прийmemo $w = 2$ м/с.

$$d_{3,4} = \sqrt{\frac{0,044}{0,785 \cdot 2}} = 0,17 \text{ мм}; (5.75)$$

Прийmemo стандартний умовний діаметр штуцерів для поглинача $d_{3,4}=200$ мм. За ОСТ 26-1404-76 вибираємо основні розміри патрубків (табл. 5.6; рис. 5.13), стандартних сталевих фланцевих тонкостінних штуцерів при $P_y = 1,0$ МПа [24]:

Таблиця 5.7 - Основні розміри фланцевих штуцерів для введення і виходу абсорбенту.

D_y	d_T	S_T	H_T
200	219	6	250

Виходячи з обраних нами штуцерів до них за ГОСТ 12820-80 вибираємо фланці сталеві плоскі приварні (табл. 5.7: рис. 6.13)

Таблиця 5.8 - Фланці сталеві плоскі приварні для патрубків входу і відведення абсорбенту

d _B	D ₂	D ₁	D	D	b	h	n	m
222	270	295	335	18	21	3	8	8,05

Номінальний діаметр болтів або шпильок М20.

Гідравлічний опір апарата.

Опір барботажної тарілки розраховують за формулою [25]:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\delta} + \Delta P_{\text{гж}}; (5.76)$$

де, $\Delta P_{\text{сух}}$ – опір сухої тарілки;

ΔP_{δ} – опір, що викликається силами поверхневого натягу;

$\Delta P_{\text{гж}}$ – опір газорідинного шару на тарілці.

Опір сухої тарілки визначається за рівнянням:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \xi \frac{w_{\text{пр}}^2 \cdot \rho_{\text{г}}}{2}; (5.77)$$

де ξ – коефіцієнт опору, приймається з табл. 5.9;

$w_{\text{пр}}$ – швидкість газу в прорізах ковпачка або в отворах тарілки, м/с;

$\rho_{\text{г}}$ – густина газу, кг/м³.

Таблиця 5.9 - Коефіцієнт опору для різних типів тарілок [25].

Тип тарілки	ξ
Ковпачкова	4,5–5,0
Ситчасті з вільним перетином отворів 7–10 %	1,82
Ситчасті з вільним перетином отворів 11–25 %	1,45
Решітчаста провальна	1,4–1,5

Швидкість газу в прорізах ковпачка визначається за формулою:

$$W_{\text{пр}} = \frac{V}{F_0}; (5.78)$$

$$W_{\text{пр}} = \frac{0,13}{0,027} = 4,8 \text{ м/с}; (5.79)$$

Тоді опір сухої тарілки дорівнює:

$$\Delta P_{\text{сух}} = 5 \frac{4,8^2 \cdot 10,49}{2} = 604 \text{ Па}; (5.80)$$

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір газорідинного шару на тарілці визначається за формулою:

$$\Delta P_{гж} = 1,3 g k \rho_{ж} (l + \frac{h_n}{2} + \Delta h); \quad (5.81)$$

де, $k = 0,5$ – відношення густини піни до густини рідини;

$l = 0,02$ – відстань від верхнього краю прорізу до зливного порога, м (приймаємо 20мм);

h – висота рівня рідини над зливним порогом, м.

Висота рівня рідини над зливним порогом визначається за формулою:

$$\Delta h = (\frac{V_{ж}}{1,85 \Pi_{сл} k})^{2/3}; \quad (5.82)$$

де, $V_{ж}$ – об'ємна витрата рідини, м³/с.

Об'ємна витрата рідини визначається за формулою:

$$V_{ж} = \frac{L}{\rho_{ж}}; \quad (5.83)$$

$$V_{ж} = \frac{43,83}{1000} = 0,0438 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (5.84)$$

Висота рівня рідини над зливним порогом складе:

$$\Delta h = (\frac{0,0438}{1,85 \cdot 0,48 \cdot 0,5})^{2/3} = 0,2 \text{ м}; \quad (5.85)$$

Опір газорідинного шару на тарілці:

$$\begin{aligned} \Delta P_{гж} &= 1,3 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \cdot 1000 \cdot (0,02 + \frac{0,02}{2} + 0,2) = 6370 \cdot (0,23) = \\ &= 1465 \text{ Па}; \quad (5.86) \end{aligned}$$

Опір, що викликається силами поверхневого натягу, визначається за формулою:

$$\Delta P_{\delta} = 4\delta / d_3; \quad (5.87)$$

де, δ – поверхневий натяг рідини, Н/м, [11] δ (H₂O) = $73 \cdot 10^{-3}$ Н/м;

d_3 – еквівалентний діаметр отвору, м.

Еквівалентний діаметр отвору для ковпачкових тарілок визначається за формулою:

$$d_3 = \frac{4 f}{\Pi} = \frac{4 b h_n}{2(b+h_n)}; \quad (5.88)$$

де, b – ширина прорізу, м;

h_n – висота прорізу, м.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_3 = \frac{4 b h_n}{2(b+h_n)} = \frac{4*0,0004*0,02}{2*(0,004+0,02)} = 0,0067 \text{ м}; (5.89)$$

Опір, що викликається силами поверхневого натягу:

$$\Delta P_\delta = \frac{4*73*10^{-3}}{0,0067} = 44 \text{ Па}; (5.90)$$

Повний гідравлічний опір тарілки:

$$\Delta P_T = 604 + 44 + 1465 = 2113 \text{ Па}; (5.91)$$

Перевіримо, чи дотримується прийнята відстань між тарілками $h = 0,5 \text{ м}$.

Необхідна для нормальної роботи тарілок умова:

$$h_{MT} > 1,8 \cdot \frac{\Delta P_T}{\rho_{жg}} = 1,8 * \frac{2113}{1000*9,81} = 0,39 \text{ м}; (5.92)$$

Оскільки $0,39 < 0,5$, то вищезазначена умова виконується.

Опір абсорбера:

$$\Delta P_K = N_{TD} \cdot \Delta P_T = 16 \cdot 2113 = 33808 \text{ Па}; (5.93)$$

Вибір допоміжного обладнання:

Розрахунок і підбір насосу для подачі абсорбенту в колону [22,25].

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість течіння рідини, яка дорівнює $w = 2 \text{ м/с}$.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785*w}}; (5.94)$$

де, V – об'ємна витрата суміші, що подається в колону.

$$V = \frac{43,83}{1000} = 0,0438 \text{ м}^3/\text{с}; (5.95)$$

$$d = \sqrt{\frac{0,0438}{0,785*2}} = 0,167 \text{ м}; (5.96)$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 184 мм. Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$Re = \frac{w*d*\rho_p}{\mu}; (5.97)$$

$$Re = \frac{2*0,184*1000}{1,004*10^{-3}} = 366534; (5.98)$$

Тобто, режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо:

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м. (5.99)}$$

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,184} = 1,087 \cdot 10^{-3}; \text{ (5.100)}$$

$$\frac{1}{e} = 920; \frac{1}{e} = 331200; 10 \cdot \frac{1}{e} = 9200; \text{ (5.101)}$$

$$Re > 360 \cdot \frac{1}{e}; \text{ (5.102)}$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\Lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \text{ (5.103)}$$

$$\lambda = 0,11 \cdot (1,087 \cdot 10^{-3})^{0,25} = 0,020. \text{ (5.104)}$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої та напірної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями) $\xi_1 = 0,5$;

2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2; \text{ (5.105)}$$

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7. \text{ (5.106)}$$

Для напірної лінії:

1) вентиль прямооточний $\xi_1 = 0,65$;

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;

3) 1 кожухотрубний теплообмінник $\xi_3 = 3,05$;

4) вихід з труби $\xi_4 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4; \text{ (5.107)}$$

$$\Sigma \xi = 0,65 + 3,3 = 3,95; \text{ (5.108)}$$

Для напірної лінії:

1) вентиль прямооточний $\xi_1 = 0,65$;

2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;

3) 1 кожухотрубний теплообмінник $\xi_3 = 3,05$;

4) вихід з труби $\xi_4 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4; \text{ (5.109)}$$

$$\Sigma \xi = 0,65 + 3,3 + 3,05 + 1 = 8. \text{ (5.110)}$$

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}; \quad (5.111)$$

де, l , d_E – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,02 \cdot \frac{4}{0,184} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,64 \text{ м}; \quad (5.112)$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left(0,02 \cdot \frac{7,5}{0,184} + 8 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,8 \text{ м}; \quad (5.113)$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.} \quad (5.114)$$

$$h_{П} = 0,64 + 1,8 = 2,44 \text{ м}. \quad (5.115)$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_P \cdot g} + H_r + h_{П}; \quad (5.116)$$

де, $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина.

У нашому випадку, приймаємо, що ця різниця становить 0,1 МПа;

H_r – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81} + 7,5 + 2,44 = 20,13 \text{ м}; \quad (5.117)$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{П} = \rho_P \cdot g \cdot V \cdot H; \quad (5.118)$$

$$N_{П} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0438 \cdot 20,13 = 8650 \text{ Вт}. \quad (5.119)$$

Потужність, яку повинен розвинути електродвигун насосу на вихідному валу при встановленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{П}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}; \quad (5.120)$$

де η_n , $\eta_{пер}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насосу і передачі від електродвигуна до насоса.

Приймаємо $\eta_n = 0,8$ і $\eta_{пер} = 1$.

$$N = \frac{8650}{1 \cdot 0,8} = 10813 \text{ Вт}; \quad (5.121)$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-160/28-15 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 160 м³/год.; напір насосу 28 м; потужність, яку потребує насосом 15,6 кВт; частота обертів 1850 об/хв.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок і вибір проміжної ємності для зберігання абсорбенту [22,25]. Ємність для зберігання абсорбенту розраховуємо, виходячи із 6–8 го-динного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$. Приймаємо $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (5.122)$$

$$V_{EP} = \frac{2630 \cdot 7}{0,82 \cdot 1000} = 22,5 \text{ м}^3; \quad (5.123)$$

Задамося діаметром ємності $D = 2,8 \text{ м}$, тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (5.124)$$

$$H = \frac{22,5}{0,785 \cdot 2,8^2} = 3,6 \text{ м}. \quad (5.125)$$

Розрахунки апарата на міцність та герметичність:

Визначення товщини стінки апарата, кришки:

Розрахунок циліндричної обичайки, днищ і кришок виконуємо за методикою [26]. Оскільки абсорбер працює в агресивному середовищі, а вуглекислий газ є корозійно активною речовиною, то у якості конструкційного матеріалу для виготовлення основних деталей апарату (а саме: фланців, штуцерів, днищ, обичайок) вибрана сталь 08X18H10T за ГОСТ 5632-72, яка відповідає усім необхідним конструкційним вимогам.

Товщина стінки обичайки (рис. 5.14):

$$\delta = \frac{DP}{2\sigma\varphi - P}; \quad (5.126)$$

де, $\sigma = 168 \text{ МПа}$ – допустиме напруження;

$P = 0,85 \text{ МПа}$ – тиск в абсорбері;

$\varphi = 0,8$ – коефіцієнт ослаблення через зварювальний шов.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

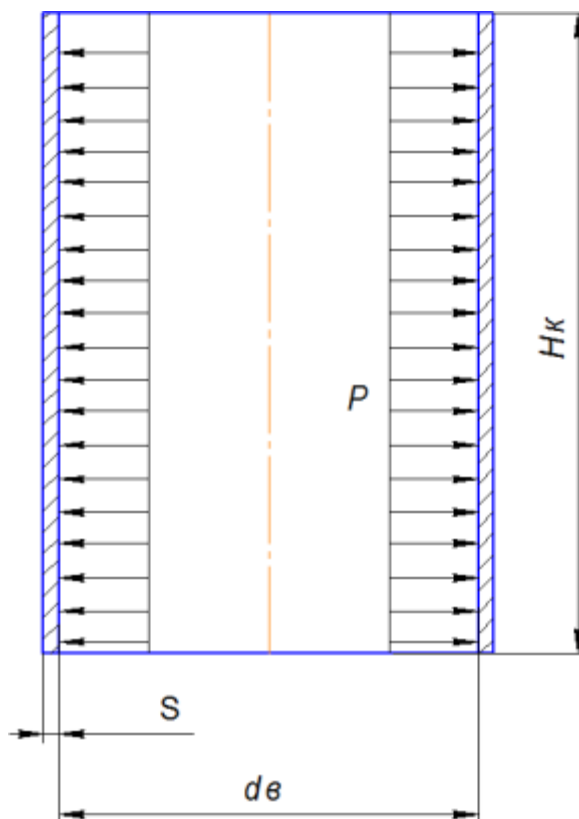


Рисунок 5.14 – Розрахункова схема циліндричної обичайки.

Поправка на корозію та ерозію розраховується:

$$C_k = P\tau_a = 0,0001 \cdot 20 = 0,002 \text{ м}; \quad (5.127)$$

де, $P=0,001$ м/рік – корозійна проникність;

$\tau_a = 20$ років – амортизаційний термін служби апарату.

$$\delta = \frac{DP}{2\delta\varphi - P} + C = \frac{0,6 \cdot 0,85}{2 \cdot 0,8 \cdot 168 - 0,85} + 0,002 = 0,004 \text{ м}; \quad (5.128)$$

Згідно із рекомендаціями ГОСТ 5285.7-89 приймаємо товщину обичайки з умовним запасом $\delta = 8$ мм.

Перевірка на допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2\delta\varphi(\delta - c)}{D + (\delta - c)} = \frac{2 \cdot 168 \cdot 0,8 \cdot (0,008 - 0,002)}{0,6 + (0,008 - 0,002)} = 2,66 \text{ МПа}; \quad (5.129)$$

Оскільки умова $P = 2,66 \text{ МПа} > P_p = 0,85 \text{ МПа}$ виконується, то товщина стінки вибрана вірно.

Розрахунок днищ і кришок виконується за ГОСТ 14249-80, СТ СЭВ1039-78, СТ СЭВ 1048-78, СТ СЭВ 1041-78.

$$\delta_{\text{дн}} = \frac{DP}{2\delta\varphi - 0,5P} + C = \frac{0,6 \cdot 0,85}{2 \cdot 1 \cdot 168 - 0,5 \cdot 0,85} + 0,002 = 0,0035 \text{ м}; \quad (5.130)$$

$\varphi = 1$ – коефіцієнт для днищ, виготовлених з цільної заготовки.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За ГОСТ 6533-78 приймемо товщину стінки днища $\delta_{\text{дн}} = 8$ мм.

Виходячи з того, що $D = 600$ мм, вибираємо еліптичне відбортване днище з легованої сталі: Днище 600-8-150 за ГОСТ 6533-78 (див. рис. 5.15).

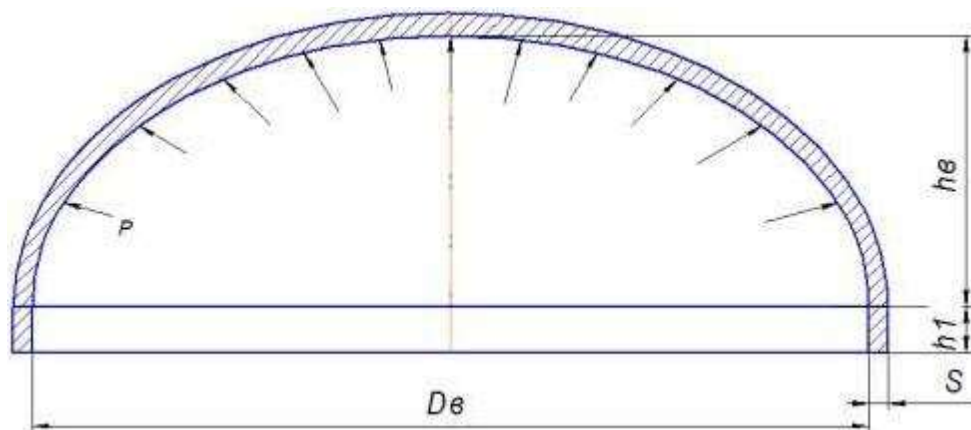


Рисунок 5.15 - Розрахункова схема еліптичного відбортваного днища

Технічні характеристики днища: Висота борта $h_1 = 25$ мм;

Висота внутрішня $H_{\text{в}} = 150$ мм;

Маса днища $m_{\text{д}} = 28,3$ кг;

Об'єм днища $V_{\text{д}} = 0,0352$ м³.

Розрахунок опори апарата:

Установка хімічних апаратів на фундаменті або спеціальні несучі конструкції здійснюється здебільшого за допомогою опор.

Вертикальні апарати, зазвичай, встановлюють на стійках, коли їх розміщують внизу в приміщенні, або на підвісних лапах, коли апарат розміщують між перекриттями в приміщенні або на спеціальних сталевих конструкціях.

У нашому випадку апарат вертикального типу зі співвідношенням $H/D > 5$, розміщений на відкритій площадці та оснащений спідничною циліндричною опорою (див. рис. 5.15).

Виходячи із заданих параметрів вибираємо опору третього типу.

Визначаємо орієнтовну масу апарату.

Маса обичайки:

$$m_{\text{об.}} = 0,785 (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{вн}}^2) H_{\text{об.}} \rho; \quad (5.131)$$

де, $D_{\text{н}} = 0,616$ м – зовнішній діаметр колони;

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$D_{вн} = 0,6$ м – внутрішній діаметр колони;

$H_{об} = 8,5$ м – висота циліндричної частини колони;

$\rho = 7850$ кг/м³ – щільність сталі.

$$m_{об} = 0,785 (0,616^2 - 0,6^2) 8,5 * 7850 = 523,8 \text{ кг}; (5.132)$$

Загальна маса колони.

Приймаємо, що маса допоміжних пристроїв (штуцерів, вимірювальних приладів, люків тощо) становить 10 % від основної маси колони, тоді:

$$m_k = m_{min} = 1,1(m_{об} + m_T + 2m_d) = \\ = 1,1(523,8 + 21,3 \cdot 16 + 2 \cdot 28,3) = 1015 \text{ кг} = 9957 \text{ Н}. (5.133)$$

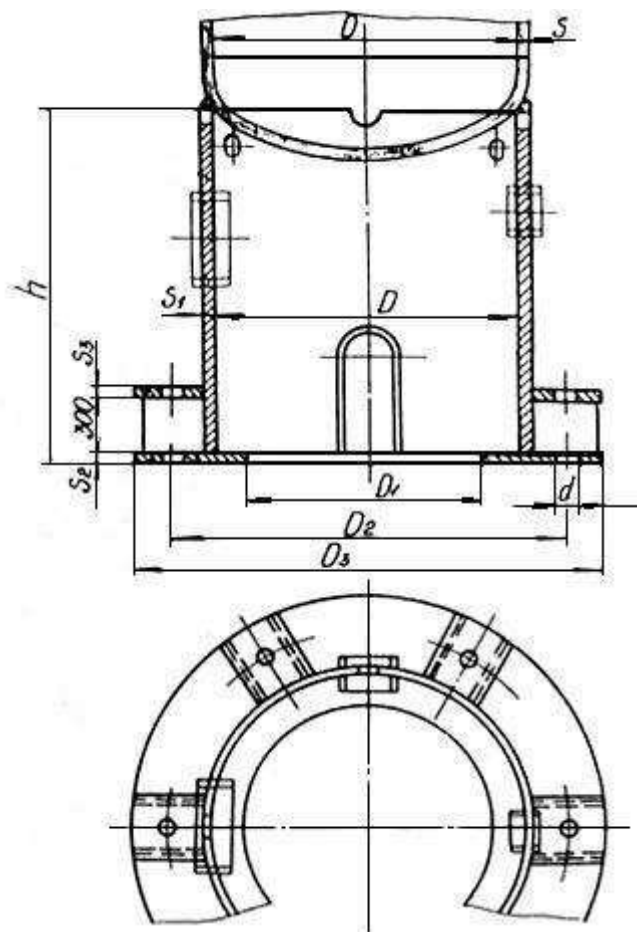


Рисунок 5.16 - Схематичне зображення циліндричної спідничної опори
Маса колони заповненої водою при гідровипробуваннях.

Маса води при гідровипробуваннях:

$$m_b = 1000(0,785D^2H_{ц.об} + 2V_d) = \\ = 1000 (0,785 \cdot 0,6^2 \cdot 8,5 + 2 \cdot 0,0352) = 3104 \text{ кг}; (5.134)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ

Максимальна вага колони:

$$m_{\max} = m_k + m_b = 1015 + 3104 = 4119 \text{ кг} = 40407 \text{ Н. (5.135)}$$

За проведеними розрахунками з табл. 5.10 [23,26], вибираємо необхідні технічні параметри для нашої опори третього типу (див. табл. 5.9).

Таблиця 5.10 – Діаметри опори апаратf (див. рис. 5.16)

D	D ₁	D ₂	D _Б
600	800	550	720

Межа плинності матеріалу повинна бути не менше 210 МПа [22,26], при температурі 20. У нашому випадку ми використовуємо сталь Ст₃, оскільки вона має межу плинності 245 МПа.

Далі визначаємо приведені навантаження для визначення основних розмірів опори.

Максимально наведене навантаження приймаємо за навантаження при гідровипробуваннях:

$$Q_{\max} = P_1 = 0,040 \text{ МН; (5.136)}$$

де, P_1 – осьова стискаюча сила, що діє в нижньому перетині опорної обичайки в режимі гідравлічного випробування.

Мінімально наведене навантаження приймаємо при порожньому апараті:

$$Q_{\min} = P_2 = 0,010 \text{ МН. (5.137)}$$

Із отриманих даних визначаємо основні розміри циліндричних опор типу 3 для колонного апарату (див. табл. 5.11).

Таблиця 5.11 – Основні розміри циліндричної опори за ОСТ 26-467-78.

$Q_{\max}$	$Q_{\min}$	D	S ₁	S ₂	S ₃	d ₂	d _Б	Z _Б
0,25	0,125	600	6	20	12	28	M24	6

6 АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ

6.1 Аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації

На підставі аналізу особливостей технологічного процесу очистки димових газів, його апаратурного оформлення та норм технологічного режиму необхідно забезпечити такий рівень автоматизації виробництва:

- контроль та регулювання температури димових газів на вході в механічний фільтр;
- контроль та регулювання витрати очищеної води на вході в механічний фільтр;
- контроль та регулювання концентрації вуглекислого газу на вході в абсорбер;
- контроль та регулювання концентрації кисню на виході з абсорберу;
- контроль та регулювання температури на виході з розподільного баку;
- контроль та регулювання рН на виході з розподільного баку;
- контроль і регулювання рівня рідини в баку промислової води;
- контроль і регулювання рівня рідини в розподільному баку;
- контроль і регулювання рівня рідини в баку з мішалкою;
- контроль і сигналізація перепаду тиску на механічному фільтрі;
- контроль та регулювання витрати біомаси на виході з розподільного баку[27].

Параметри контролю та регулювання виробництва наведено у таблиці 6.12

Таблиця 6.12 – Параметри контролю та регулювання виробництва[27].

№ пор.	Назва стадії процесу (технологічний об'єкт), місце заміру параметра	Назва контрольованого чи регульованого параметра	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	Трубопровід перед механічним фільтром	Температура	35 °С	контроль, регулювання
2	Трубопровід перед механічним фільтром	Витрата	1,5 м ³ /год	контроль, регулювання

3	Трубопровід перед абсорбером	Концентрація	0...15 %	контроль, регулювання
4	Трубопровід після абсорбера	Концентрація	20...25 %	контроль, регулювання
5	Трубопровід перед абсорбером	pH	6...8	контроль, регулювання
6	Трубопровід перед абсорбером	Витрата	1,5 м³/год	контроль, регулювання

6.2 Опис розробленої схеми автоматизації.

Щоб забезпечити належну роботу усього технологічного устаткування, збільшити продуктивність виробництва, підвищити якість продукту, стабілізацію, контроль та реєстрацію технологічних параметрів, а також мінімізувати можливі помилки технологічного персоналу розроблено схему автоматизації. Включає низку контурів автоматичного контролю та регулювання режимних параметрів технологічного процесу[28].

Контроль та регулювання температури на вході в механічний фільтр забезпечує контур 1, який включає такі технічні засоби автоматизації: термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом (1-1), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад із вбудованим пристроєм сигналізації (1-2)[28].

Для контролю та регулювання витрати реагентів розроблено контури 2 очищеної води на вході в механічний фільтр та 9 витрати біомаси після розподільчого баку. Вони включає в себе такі технічні засоби автоматизації: діафрагми камерні (2-1, 9-1), тензовимірювальні перетворювачі різниці тисків мікропроцесорні з квадратичною функцією перетворення (2-2, 9-2), автоматичні показувальний і реєструвальний вторинний прилад (2-3, 9-3), регулятор мікропроцесорний (2-4, 9-4), регулювальні клапани (2-5, 9-5)[28].

Контроль і регулювання концентрації вуглекислого газу на вході в абсорбер здійснює контур 5, а для концентрації кисню на виході з абсорбер розроблено контур 6. Контури містять газоаналітичні системи технологічного та екологічного моніторингу (5-1), (6-1), вторинні самописні прилади (5-2), (6-2), електронні

регулятори (5-3), (6-3), пускачі магнітні (МП2), (МП3) та виконавчі механізми (5-4), (6-4)[28].

Контроль та регулювання температури на вході в механічний фільтр забезпечує контур 7, який включає такі технічні засоби автоматизації: термоперетворювач з уніфікованим вихідним сигналом (7-1), автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад із вбудованим пристроєм сигналізації (7-2)[28].

Для контролю та регулювання рН біомаси після розподільчого баку розроблено контур 8. Який має у своєму складі такі технічні засоби автоматизації: чутливий елемент рН-метра магістрального виконання з електродами скляними (8-1); перетворювач високоомний (8-2) та реєструвальний вторинний прилад (8-3)[28].

Для контролю рівня рідини в баку промислової води розроблено контур 10, в розподільному баку – контур 11, в баку з мішалкою – контур 12, які включають рівнеміри буйкові електричні (10-1), (11-1), (12-1) та автоматичні показувальні та реєструвальні вторинні прилади (10-2), (11-2), (12-2)[28].

Контроль та сигналізацію перепаду тисків на механічному фільтрі здійснює контур 13, який містить у своєму складі тензоперетворювачів різниці тисків (13-1), вторинний прилад з вбудованим пристроєм сигналізації (13-2)[28].

Для дистанційного керування електроприводами насосів використовуються пости управління кнопочні (SB1), (SB2), (SB3), (SB4), (SB5), (SB6), нереверсивні магнітні пускачі МП1, МП2, МП3, МП4, МП5 з кнопками запобіжного вимикання SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, а також лампи сигнальні зеленого («ПУСК») HL3, HL6, HL8 та червоного кольору («СТОП») HL1, HL2, HL4, HL5, HL7, HL9 [28].

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 ЕКОНОМІКО–ОРГАНІЗАЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ

У даній роботі розроблено економіко-організаційні засади цеху біологічної очистки димових газів київської теплоелектроцентралі № 6 (Київська ТЕЦ-6, код ЄДРПОУ 04723646).

Метою економічних розрахунків діяльності цеху є техніко-економічне обґрунтування процесу очищення димових газів суспензією одноклітинних водоростей хлорела з виділенням кисню.

В результаті цього установа зможе знизити штрафи за викиди та претендувати на Кіотські квоти. Розроблена технологічна схема є основою окремого структурного підрозділу промислового підприємства.

7.1 Організаційна структура цеху біологічного очищення димових газів

Для чіткої і безперервної роботи цеху необхідно забезпечити його потрібною кількістю персоналу[29]. З цією метою розробляється організаційна структура цеху, що зображена на рис. 7.17:

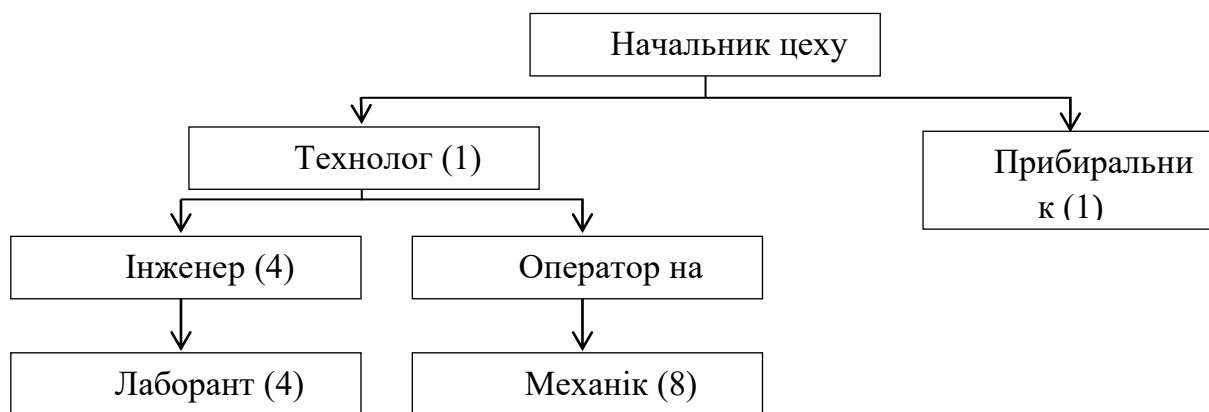


Рисунок 7.17 - Організаційна структура цеху.

Посади на підприємстві:

— Начальник цеху - забезпечує організацію виробництва, веде облік особового складу працівників при прийнятті, переведенні та звільненні з роботи; здійснює контроль документації цеху; слідкує за забезпеченням цеху всіма необхідними реагентами та сировиною; розробляє калькуляцію на продукцію.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ

Арк.

63

— Технолог — відповідальний за процес вдосконалення технології виробництва та за якість продукції, здійснює координацію дій працівників цеху.

— Інженер — керує роботою реакторів (очисткою та регенерацією загрузки) та інших апаратів, здійснює ручне керування апаратами (наприклад, відкриває та закриває крани трубопроводів, на яких немає автоматики).

— Лаборант — відбирає проби води після реакторів; здійснює періодичний контроль води після механічної фільтрації та абсорбції; заносить контрольні дані у журнал контролю, слідкує за наявністю відповідних реактивів.

— Оператор на щиті — контролює основні показники обладнання (тиск, температуру, витрати води, рівні заповнення реактору), здійснює керування автоматикою цеху.

— Механік — здійснює ремонтні роботи в цеху (аварійні і планові), заміну одиниць обладнання або його частини, слідкує за наявністю необхідних інструментів та деталей для ремонту.

— Прибиральник — підтримує чистоту в цеху та прилеглих до нього приміщеннях (кабінеті технолога і начальника цеху).

7.2 Класифікація виробничих процесів цеху.



Рисунок 7.18 – Класифікація виробничих процесів руху.

7.3 Визначення оптимального виду руху предметів праці (ВРПП).

Перелік і тривалість операцій виробничого процесу підготовки 4,4 м³ газу:

$$4 \cdot 24 = 96 \text{ м}^3. 96 / 22 = 4,4 \text{ м}^3; (7.138)$$

1. Збір і очистка димових газів від крупного пилу – 50 хв.;
2. Подача газу на механічний фільтр від мало дисперсної пилі – 10 хв.;
3. В механічному фільтрі – 50 хв.;
4. Фільтрування в абсорбері – 60 хв.;
5. Подача суспензії хлорели на виробництво – 10 хв.;

За одну годину на всіх операціях технологічно\ схеми обробляється 4,4 м³ димового газу. Цех працює безперервно 365 днів на рік. Річний випуск цеху:

$$4,4 \cdot 24 \cdot 365 = 38\,544 \text{ м}^3/\text{рік}. (7.139)$$

Для стабільної роботи даного цеху очищення було обрано паралельний вид руху предметів праці. Оскільки рецикл суспензії відбувається 1 раз на 3-7 днів, то такі процеси, як приготування регенераційного розчину, його нагрівання та власне процес рециклу не були включені в перелік операцій виробничого процесу підготовки води.

- Паралельний ВРПП

Паралельний ВРПП – кожен виріб з попередньої стадії передається на наступну стадію індивідуально. Використовується у безперервних процесах.

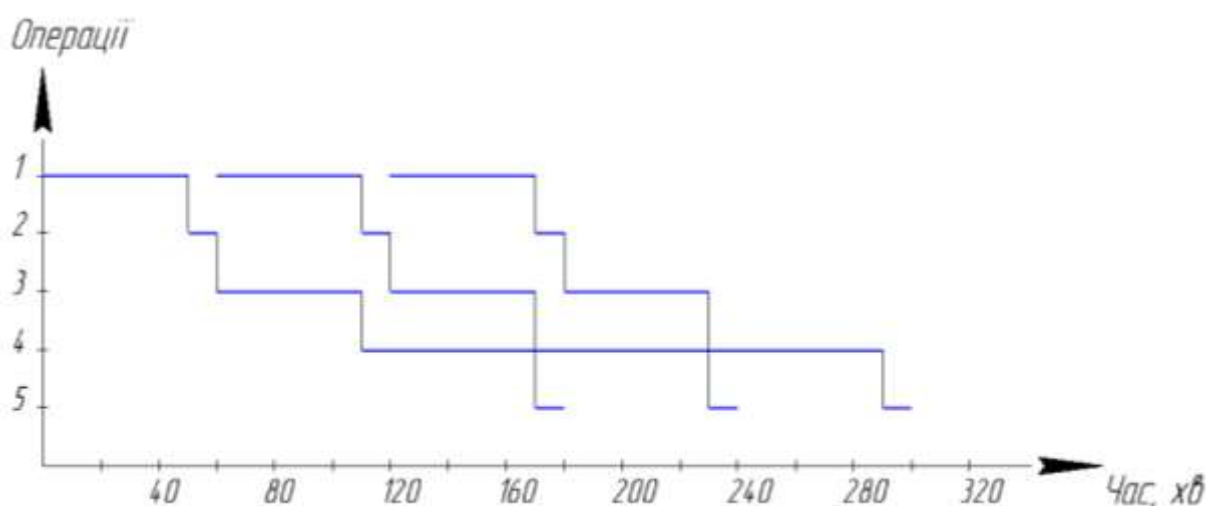


Рисунок 7.19 – Паралельний ВРПП.

$$T_{ВЦ} = \sum_{i=1}^m t_i + (B - 1)t_{max}; (7.140)$$

де, В – кількість завантажень;

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

m – кількість операцій;

$t_{\max}$ – тривалість максимальної операції.

$$n = \frac{T_{\text{вц}}^{\text{доб}} - \sum t_i}{t_{\max}} + 1 = \frac{1140 - 180}{60} + 1 = 22 \text{ завантаж. (7.141)}$$

$$T_{\text{вц}} = 180 + (22 - 1) \cdot 60 = 1140 \text{ хв} = 24 \text{ год. (7.142)}$$

Для даного виробничого циклу використання паралельного ВРПП є доцільним, так як згідно наведеному вище графіку щогодини обробляється 4,4 м³ димового газу, що повністю задовольняє потреби підприємства.

7.4 Середньорічні показники роботи цеху.

Цех працює 365 днів на рік. Тривалість зміни 8 годин. Тривалість роботи цеху за рік 8760 год. Технологічна схема працює безперервно і в разі необхідності технічного огляду та нагляду апарат замінюється аналогічним - резервним.

Визначимо середньорічну тривалість виробничого циклу для даного процесу.

$$T_{\text{вц}}^{\text{ср}} = \frac{24 \cdot D_k}{T_p \cdot D_p} \cdot T_{\text{вц}}^{\text{факт.}}; \text{ (7.143)}$$

де, 24 – кількість годин у добі;

D_k - кількість календарних днів у році;

T_p - тривалість виробничого циклу, год;

D_p - кількість робочих днів протягом року;

$T_{\text{вц}}^{\text{факт.}}$ - тривалість роботи цеху за рік, днів;

$$T_{\text{вц}}^{\text{ср}} = \frac{24 \cdot 365}{24 \cdot 365} \cdot 365 = 365 \text{ днів. (7.144)}$$

Річний випуск для паралельного ВРПП – 38 544 м³/рік.

7.5 Розрахунок кількості одиниць обладнання, чисельності персоналу явочної і за списком, графік змінності.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.13 – Кількість обладнання.

Назва Операцій	№ п/п	Назва апарату	Кількість одиниць
Очищення димових газів	1	Батарея циклона	2
	2	Механічний фільтр	4
	3	Абсорбційний фільтр	4
Циркуляція Хлорели	4	Реактор	2
	5	Апарат з лопатевою мішалкою	2
	6	Бак поживного розчину	2
Циркуляція води	7	Бак води	2
	8	Бак для охолодження води	2
Рециркуляції тепла	9	Теплообмінник	2
Збірник	10	Збірник	2
Насос	11	Насос	10

Кількість одиниць обладнань збільшується вдвічі враховуючи резервний апарат. Який використовується на час ремонтних робіт та техогляду.

В цеху постійно знаходяться інженер, лаборант, оператор на щиті і два механіки. Ці працівники забезпечують правильність і надійність роботи кожної одиниці обладнання та цеху в цілому. Начальник цеху, головний технолог та прибиральник знаходяться в цеху з 9:00 до 17:00. Інженери, лаборанти, оператори, механіки приходять в цех позмінно з 6:00 до 14:00; з 14:00 до 22:00; з 22:00 до 6:00. Система охорони електронна.

$$T_{\text{прац}}^{\text{рік}} = 365 \cdot 24 = 8760 \frac{\text{год}}{\text{рік}}; (7.145)$$

$$T_{\text{прац}}^{\text{рік}} = \frac{365 - T_{\text{св}}}{7} \cdot 40 - T_{\text{св}}^* \cdot 1 = \frac{365 - 11}{7} \cdot 40 - 8 \cdot 1 = 2015 \frac{\text{год}}{\text{рік}}; (7.146)$$

$$N_{\text{бриг}} = \frac{T_{\text{підпр}}^{\text{рік}}}{T_{\text{прац}}^{\text{рік}}} = \frac{8760}{2015} = 4,35 \approx 4. (7.147)$$

Цеху необхідно 4 бригади працівників для забезпечення заданої продуктивності.

Графік змінності працівників підприємства наведений у таблиці 7.14 та таблиці 7.15.

Таблиця 7.14– Графік змінності керуючого персоналу та прибиральника

День Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В

Тривалість змінообороту: $T_{зм/об.} = 7$ днів.

Таблиця 7.15 – Графік змінності бригадних працівників

Дні Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В
II	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1
III	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2
IV	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3

Тривалість змінообороту: $T_{зм/об.} = 16$ днів.

Чисельність працівників за списком у виробничому цеху (тих, хто працює позмінно):

$$Ч_{сп} = Ч_{яв} \times K_{перерах.}; (7.148)$$

де,

$$K_{перерах.} = \frac{T_{рік\ відділу}}{T_{рік\ прац.}} = \frac{8760}{2190} = 4. (7.149)$$

$$Ч_{яв1} = 5 \text{ осіб.}$$

$$Ч_{сп1} = 5 \times 4 = 20 \text{ осіб. (7.150)}$$

Працівники всього підприємства в період з 9:00 до 17:00 год (працівники відділення та технолог, начальник цеху, прибиральник):

$$Ч_{яв} = Ч_{яв1} + 3 = 8 \text{ осіб. (7.151)}$$

$$\text{За списком: } Ч_{сп} = Ч_{сп1} + 3 = 23 \text{ особи. (7.152)}$$

Час відпрацьований фактично за рік персоналом, що має п'ятиденний робочий тиждень:

$$T_{прац1} = \frac{365 - \text{празд.}}{T_{зм.об.}} (T_{зм.об.} - T_{вих.}) \cdot T_{зм} = \frac{351}{7} (7 - 2) \cdot 8 = 2006 \text{ год. (7.153)}$$

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ		Арк.
							68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Час відпрацьований фактично за рік працівниками, що працюють позмінно:

$$T_{\text{прац1}}^{\text{факт}} = \frac{365}{T_{\text{зм.об.}}} (T_{\text{зм.об.}} - T_{\text{вих}}) \cdot T_{\text{зм}} = \frac{365}{16} (16 - 4) \cdot 8 = 2190 \text{ год. (7.154)}$$

7.6 Контроль якості виробництва.

До об'єктів контролю належать власне технологічний процес, виробнича апаратура, сировина, напівфабрикати та готова продукція. На підприємстві присутні всі види контролю: вхідний, проміжний та вихідний. Контроль обладнання проводять інженер та механіки, всі інші види контролю виконуються лаборантами. Для проведення аналізу використовують хімічні методи, де лаборанти здійснюють кількісний та якісний аналіз домішок в вихідній суспензії. Суспензію аналізують на вміст завислих частинок, тяжких смол та вміст тяжких металів. Контроль вихідної суспензії здійснюють з однаковими проміжками в часі кілька разів за зміну. Всі дані лаборанти заносять до журналу вхідного контролю, оформляють та подають їх у вигляді звіту для технолога.

Вхідний контроль обладнання здійснюється технологом та механіками. При купівлі обладнання вивчають паспорти на продукцію та обладнання, ліцензії та сертифікати постачальників. Перед кожним запуском реактора після його рециклу, а також після кожного ремонту здійснюють вхідний контроль. Його результати записують до журналу вхідного контролю.

Апарати встановлюють згідно з правилами монтажу електроустаткування, вимогами до безпеки праці та до пожежної безпеки. Кожен апарат повинен мати свою електричну проводку, має бути заземлений та захищений, електроконтакти повинні бути щільно приєднані та заізолювані.

Об'єктом проміжного контролю якості є газ після механічного фільтру, а також газ одразу після рециклінгу суспензії. Аналіз проводять лаборанти. Результати записуються в базу даних комп'ютера та у журнал поточного контролю.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На підставі даних вихідного контролю технолог заповнює паспорт якості на продукцію – на суспензію хлорели (див. Додаток Б, В).

При невідповідності суспензії відповідним нормативам, механіки перевіряють обладнання на справність, а інженер перевіряє загрузку реакторів на здатність поглинати вуглекислий газ та виділяти кисень.

Контроль якості води є неруйнівним, оскільки для проведення аналізу на якість води, кількість відібраної води є незначною, порівняно з загальним обсягом води і цією величиною можна знехтувати.

Контроль якості здійснюється за рахунок виклика спеціалістів з інших філіалів та міжлабораторних аналізів, ціна на які складає 20 000 грн.

7.7 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва

Основні засоби відділення

До основних засобів належать:

Вартість будівель	700 000 грн.
Вартість обладнання, а саме:	2 322 000 грн.
– батарея циклона	29 000 грн.
– механічний фільтр	2 × 453 000 грн.
– абсорбційний фільтр	2 × 565 000 грн.
– апарат з лопатевою мішалкою	13 000 грн.
– реактор	42 000 грн.
– бак поживного розчину	22 000 грн.
– бак води	20 000 грн.
– теплообмінник	50 000 грн.
– бак для охолодження води	35 000 грн.
– збірник	20 000 грн.
– насос	5 × 11 000 грн.
Нематеріальні активи	60 000 грн.

Лабораторний посуд	15 000 грн.
Ваги електронні	10 000 грн.
Апарат зварювальний (1 шт.)	2 500 грн.
Набір слюсарних інструментів	5 000 грн.
Комп'ютер (4 шт.)	4 × 12 000 грн.
Стіл письмовий (6 шт.)	6 × 1 000 грн.
Стілець (8 шт.)	8 × 525 грн.
Принтер (2 шт.)	2 × 4 000 грн.
Протипожежний інвентар	20 000 грн.
Всього	3 200 700 грн.

Амортизація будівель (5%)	35 000 грн./рік
Амортизація обладнання (20%)	464 400 грн./рік
Амортизація активів (10%)	6 000 грн./рік
Амортизація комп'ютерів і принтерів (50%)	28 000 грн./рік
Амортизація електронних ваг (20%)	2 000 грн./рік
Амортизація посуду, інструментів, меблів, протипожежного інвентарю (25%)	13 175 грн./рік
Сумарна амортизація	548 575 грн./рік

Оборотні засоби відділення

До оборотних фондів даного виробництва належать:

1. Сировина
 - хлорела;
 - поживний розчин;
 - р-н мінералізована;
 - реактиви.
2. Електроенергія.
3. Запасні частини та матеріали

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.16– Вартість та витрати сировини цехом за рік.

Сировина	Кількість, кг.	Ціна за рік, грн.
Реактиви	1 900	17 100
Поживний розчин	7 163,2	207 732,8
Хлорела	23 040	322 560
Р-н мінералізована	1 900	7 000
Всього	34 003,2	554 392,8

Заміну розчину в механічних фільтрах проводять двічі на рік під час техогляду для кожного фільтра. При роботі резервного апарату. Об'єм фільтруючої заправки для одного фільтра становить:

$$V = N_{\text{загр}} \cdot F = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ м}^3. (7.155)$$

Витрати мінералізованої р-н:

$$Q_{\text{р-н}}^{\text{рік}} = n \cdot N \cdot V \cdot \rho = 2 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 950 = 1 900 \text{ кг}; (7.156)$$

де, n – кількість механічних фільтрів;

N – кількість замін р-н на рік;

ρ – густина, кг/м^3 .

Оптова ціна мінералізованого р-н – 9 грн/кг. Ціна за рік становить:

$$C_{\text{р-н}}^{\text{рік}} = 1 900 \cdot 9 = 17 100 \text{ грн}. (7.157)$$

Заміну поживного розчину для хлорели в абсорбційних колонах проводять двічі на рік для кожної колони. Об'єм заправки для однієї колони становить:

$$V = N_{\text{tot}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{ads}}^2}{4} = 1,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} = 4,07 \text{ м}^3. (7.158)$$

Витрати поживного розчину:

$$Q_{\text{п-р}}^{\text{рік}} = n \cdot N \cdot V \cdot \rho = 2 \cdot 2 \cdot 4,07 \cdot 440 = 7 163,2 \text{ кг}; (7.159)$$

де n – кількість абсорбційних колон;

N – кількість замін п-р на рік;

ρ – густина, кг/м^3 .

Оптова ціна поживного розчину – 29 грн/кг. Ціна за рік становить:

$$C_{\text{п-р}}^{\text{рік}} = 7 163,2 \cdot 29 = 207 732,8 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}. (7.160)$$

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість рециклів абсорбційних колон, що проводиться цехом за рік:

$$N = \frac{365 \cdot 24}{t_{\text{ads}}} = \frac{365 \cdot 24}{109} = 80. \quad (7.161)$$

Маса хлорели, що витрачається на один регециклінг хлорели:

$$m_{\text{хлорел.}} = W_2 \cdot 1\,000 \cdot \omega = 7,2 \cdot 1\,000 \cdot 0,04 = 288 \text{ кг}, \quad (7.162)$$

де, ω – концентрація; 0,04.

Витрати хлорели на рік:

$$Q_{\text{хлорел.}}^{\text{рік}} = N \cdot m_{\text{NaOH}} = 80 \cdot 288 = 23\,040 \frac{\text{кг}}{\text{рік}}. \quad (7.163)$$

Оптова ціна хлорели – 14 грн/кг. Ціна за рік становить:

$$C_{\text{хлорел.}}^{\text{рік}} = 23\,040 \cdot 14 = 322\,560 \frac{\text{грн.}}{\text{рік}}. \quad (7.164)$$

Витрати на ремонт обладнання – 5% від його вартості:

$$2\,322\,000 \times 0,05 = 116\,100 \text{ грн/рік}. \quad (7.165)$$

Визначимо витрати електроенергії підприємством.

$$\text{Ціна } 1\text{кВт} = 232,17 \text{ копійок} = 2,3217 \text{ грн}. \quad (7.166)$$

Таблиця 7.17– Витрати електроенергії.

Найменування обладнання	Потужність, кВт/год	Середній час роботи, год/рік	Кількість, шт.	Річна потужність, кВт	Вартість електроенергії, грн
фен подачі газу на циклон, фільтри	3	8760	2	52 560	122 028,55
Насос подачі регенераційних і промивних вод	3	540	3	4 860	11 283,46
Апарат з лопатевою мішалкою	4	160	1	640	1 485,89
Система автоматизації	15,2	8760	1	133 152	309 138,99
Освітлення	12,6 кВт/день	365 днів		4 599	10 677,50
Всього				195 811	454 614,4

Отже, ціна електроенергії за рік становить 454 614,4 грн/рік.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.18 – Заробітна плата персоналу за місяць:

Посада	Кількість осіб	ЗП, грн/міс.
Начальник цеху	1	20 000
Технолог	1	17 000
Інженер	4	12000·4=48 000
Лаборант	4	7000·4=28 000
Оператор на щиті	4	6500·4=26 000
Механік	8	7000·8=56 000
Прибиральник	1	6 000
Всього		201 000

Фонд оплати праці:

$$201000 \cdot 13 \cdot 1,22 = 3187860 \text{ грн/рік, (7.167)}$$

де, 22% – нарахування на ЗП визначене законодавством України.

Вартість оборотних засобів підприємства

$$\text{ОбЗ} = \text{Сировина} + \text{Ремонт} + \text{Електроенергія} + \text{ФОП} = 554\,392,8 + \\ + 116\,100 + 454\,614,4 + 3187860 = 4312967,2 \text{ грн/рік. (7.168)}$$

Таблиця 7.19 – Баланс споживання оборотних фондів на підприємстві.

Завантажено		Отримано	
Назва	Вартість, грн	Назва	Вартість, грн
1.Сировина і матеріали	554 392,80	1.Готова продукція	4 312967,2
2. Витрати на ремонти	116 100,00		
3. Електроенергія	454 614,40		
4. ФОП	3187860		
Всього (ОбЗ)	4 312967,2	Всього	5 312 967,2

7.8 Розрахунок техніко-економічних показників

1. Випуск продукції річний:

$$B^* = P \cdot 24 \cdot 365 = 4,4 \cdot 24 \cdot 365 = 38\,544 \text{ м}^3. (7.169)$$

Вода після промивання механічних фільтрів відстоюється і повертається у виробництво, тому її не враховуємо. На одне промивання і рециклінг абсорбційних колон використовується: $W_{\text{заг}} = 17,77 \text{ м}^3$. Кількість рециклінгу за рік становить: $N = 80$. Отже, кількість води, яка витрачається:

$$W = W_{\text{заг}} \cdot N = 17,77 \cdot 80 = 1\,421,6 \text{ м}^3; (7.170)$$

$$B = B^* - W = 38\,544 - 1\,421,6 = 37\,122,4 \text{ м}^3. (7.171)$$

2. Чисельність персоналу:

Явочна чисельність бригадних працівників:

$$\text{Ч}_{\text{яв1}} = 5 \text{ осіб.} (7.172)$$

Явочна чисельність всіх працівників в період з понеділка по п'ятницю з 9:00 до 17:00:

$$\text{Ч}_{\text{яв}} = \text{Ч}_{\text{яв1}} + 3 = 5 + 3 = 8 \text{ осіб.} (7.173)$$

Чисельність за списком бригадних працівників:

$$K_{\text{перерах.}} = \frac{T_{\text{цеху}}^{\text{рік}}}{T_{\text{прац.}}^{\text{рік}}} = \frac{8760}{2190} = 4; (7.174)$$

$$\text{Ч}_{\text{сп1}} = \text{Ч}_{\text{яв1}} \cdot K_{\text{перерах.}} = 5 \cdot 4 = 20. (7.175)$$

Чисельність за списком всіх працівників:

$$\text{Ч}_{\text{сп}} = \text{Ч}_{\text{сп1}} + 3 = 20 + 3 = 23 \text{ осіб.} (7.176)$$

3. Норма виробітку:

$$H_B = \frac{B}{\text{Ч}_{\text{яв}} \cdot T} = \frac{37\,122,4}{8 \cdot 365 \cdot 24} = 0,53 \frac{\text{м}^3}{\text{люд.год}}; (7.177)$$

4. Капіталовкладення:

$$K = O_3 + O_{\text{б3}} = 3\,200\,700 + 5\,175\,560,64 = 8\,376\,260,64 \text{ грн.} (7.178)$$

5. Собівартість виробнича:

$$C = A + O_{\text{б3}} = 548\,575 + 5\,175\,560,64 = 5\,724\,135,64 \frac{\text{грн.}}{\text{рік}}; (7.179)$$

$$C_{\text{м}^3} = \frac{C}{B} = \frac{5\,724\,135,64}{37\,122,4} = 154,19 \text{ грн/м}^3. (7.180)$$

6. Собівартість цехова:

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\text{сех}} = C_{\text{свир}} * 1,2 = 154,19 * 1,2 = 185,02 \text{ грн/м}^3; (7.181)$$

7. Вартість основних засобів:

$$O_3 = 3\,200\,700 \text{ грн. (7.182)}$$

8. Вартість оборотних засобів і їх невраховані витрати:

$$O_{63} = 4\,312\,967,2 \text{ грн. (7.183)}$$

$$O_{63} + \text{невраховані витрати} = 4\,312\,967,2 * 1,2 = 5\,175\,560,64 \text{ грн/рік. (7.184)}$$

9. Продуктивність праці:

$$ПП = \frac{B}{\text{Ч}_{\text{сп}} \cdot T} = \frac{37\,122,4}{23 \cdot 365 \cdot 24} = 0,18 \frac{\text{м}^3}{\text{люд} \cdot \text{год}}; (7.185)$$

Таблиця 7.20 – Основні техніко-економічні показники.

Показник	Значення
Випуск продукції річний, м ³	37 122,4
Чисельність персоналу явочна, осіб	8
Чисельність персоналу за списком, осіб	23
Норма виробітку, м ³ /(люд·год)	0,53
Капіталовкладення, грн.	8 376 260,64
Собівартість, грн/м ³	185,02
Вартість основних засобів, грн.	3 200 700
Вартість оборотних засобів, грн.	5175560,64
Продуктивність праці, м ³ /(люд·год)	0,18

Інші техніко-економічні показники (прибуток, рентабельність, коефіцієнт економічної ефективності, період повернення капіталовкладень, фондівіддача та фондоемність) приймаються рівними нулю, оскільки очищена вода повторно використовується на виробництві або скидається в каналізацію.

7.9 Порівняння даного способу з тими що зараз використовуються.

На даний момент вітчизняні заводи здебільшого несуть збитки за рахунок виплат за надмірний викид вуглекислого газу. В результаті чого шкодять екології, несуть додаткові збитки. Реалізації положень Кіотського протоколу до переліку

забруднюючих речовин нового Податкового кодексу внесено двоокис вуглецю. Ставка податку становить на першому етапі 0,2 грн/т, що дасть змогу стимулювати платників податку до скорочення обсягу викидів ПГ.

Отже, виплата за надмірний викид вуглекислого газу становить 136054,42грн.

Абсорбційний метод очищення димових газів є більш економічно та екологічно вигідним.

Згідно зі ст. 33 Закону N 2707-XII (2707-12) особи, винні у викидах забруднюючих речовин в атмосферне повітря без дозволу спеціально уповноважених на те органів виконавчої влади, відповідно до зазначеного Закону (2707-12) несуть відповідальність згідно з законодавством, а саме: ст. 78 Кодексу України про адміністративні правопорушення (80731-10) визначено, що викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря без дозволу спеціально уповноважених на те державних органів або недотримання вимог, передбачених наданим дозволом, інші порушення порядку здійснення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря або перевищення граничних нормативів утворення забруднюючих речовин під час експлуатації технологічного устаткування, споруд і об'єктів тягнуть за собою накладення штрафу на посадових осіб від п'яти до восьми неоподатковуваних мінімумів доходів громадян.

Штрафи на посадових осіб = $17 \cdot 8 = 136,00$ грн; (7.186)

Крім того, підприємство повинно нарахувати і сплатити до бюджету збір за забруднення навколишнього природного середовища виходячи з фактичних обсягів викидів, нормативів збору та коригувальних коефіцієнтів, визначених Порядком встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору (303-99-п). У разі несплати цього збору до підприємства застосовуються штрафні санкції, передбачені ст. 17 Закону N 2181-III (2181-14).

Згідно із постановою Кабінету Міністрів України від 31.12.2004 р. № 1790 до нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища у 2005 році застосовується коефіцієнт 1,082.

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Пвс = 0,021 * (257 \text{ грн/т} * 1,082) * 1,8 * 1,25 = 13,14 \text{ грн. (7.187)}$$

Отже, сума збору за забруднення складатиме 13,14 грн.

$$\text{Сума за рік} = 38\,544 \text{ м}^3/\text{рік} * 13,14 = 506\,468,16 \text{ грн. (7.188)}$$

Таблиця 7.21 – Основні техніко-економічні показники.

Витрати за старою технологією, за рік		Витрати за очищення димових газів
136 054,42 грн	Штраф за Кіотським протоколом	185,02 грн/м³
136,00 грн	Адміністративний штраф	
506 468, 16 грн	Збір за забруднення навколишнього природного середовища	
642 658,58 грн		

8 ОХОРОНА ПРАЦІ

У процесі біологічного очищення димових газів виробництва використовуються токсичні, хімічно агресивні, пожежо- та вибухонебезпечні речовини; передбачено використання механічної, електричної, теплової енергії та енергії стисненого газу.

Проект виконано з урахуванням вимог охорони праці.

В даному розділі на основі аналізу шкідливих і небезпечних факторів розроблені заходи, спрямовані на створення здорових і безпечних умов праці та забезпечення пожежної безпеки на проектуваному об'єкті.

8.1. Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на проектуваному об'єкті. Заходи з охорони праці.

8.1.1. Повітря робочої зони.

Згідно ДСН 3.3.6.042 – 99, фізичні роботи в цеху за важкістю належать до категорії Іб (легка) та Іа (фізичні роботи середньої важкості). Основна частина працівників виконує роботи категорії Іа, тому оптимальні умови мікроклімату будуть спрямовані, передусім, на їх умови праці[30].

Таблиця 8.22 - Санітарні норми параметрів мікроклімату.

Період року	Категорія робіт	Температура, °С					Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		оптимальна	допустима				оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш ніж	Оптимальна, не більш ніж	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш ніж
			Верхня межа		Нижня межа					
			На робочих місцях							
			постійних	непостійних	постійних	непостійних				
Холодний	Іа	19-21	23	24	17	15	60 - 40	75	0,2	0,3
Теплий		21-23	27	29	18	17	60 - 40	65	0,3	0,4 – 0,2

Таблиця 8.23 - Коротка санітарна характеристика цеху.

Назва виробничої ділянки, лабораторії, установки	Шкідливі речовини, що виділяються. Причини їх виділення	Група шкідливої речовини. Характеристика шкідливого впливу	ГДК шкідливої речовини у повітрі робочої зони, мг/м ³	Клас небезпечності шкідливої речовини	Засоби індивідуального захисту	Засоби долікарської допомоги	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони	Клас виробництва згідно СН-245-71	Санітарна група технологічного процесу згідно СНиП 2.09.04-87
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Виробничі приміщення	Димові гази з виробництв	Високо не безпечна. Алергійна дія	0,2	2	Халат ГОСТ 12.4.103-83, респіратор РУ60М, захисні окуляри, латексні рукавички	Після вдихання: свіже повітря. Зателефонуйте лікареві. У разі контакту зі шкірою: негайно зніміть весь забруднений одяг. Змити водою. Після потрапляння в очі: промити великою кількістю води. Негайно зверніться до офтальмолога. Видалити контактні лінзи. Після ковтання: випити води (не більше двох склянок), уникайте блювоти (ризик перфорація). Негайно викликайте лікаря. Не намагайтеся нейтралізувати.	Газоаналізатор УГ-2	IV	3а

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ

Арк.

80

Значну частину процесів в проектованому цеху механізовано та автоматизовано. Нормативні умови праці досягнуто за рахунок раціонального розміщення та теплоізоляції устаткування, агрегатів, комунікації та інших джерел, що випромінюють на робочих місцях тепло.

В процесі виробництва використовуються небезпечні речовини. З метою уникнення їх небезпечного впливу проект передбачає зберігання всіх речовин та розчинів у щільно закритих ємностях та їх транспортування по трубопроводах за допомогою автоматизованих систем. Перед роботою апарати перевіряють на герметичність за допомогою інертного газу.

Передбачаються засоби індивідуального захисту: захисні окуляри типу «О», спецодяг і спецвзуття типу «Пн».

Проектом передбачено здійснення контролю концентрації небезпечних речовин у повітрі робочої зони за допомогою газоаналізатор УГ-2 не рідше ніж один раз на день.

Для видалення шкідливих речовин з повітря, та подання чистого повітря, в цеху передбачені відповідно витяжна вентиляція та механічна загальнообмінна припливна вентиляція.

Розрахунок аерації цеху:

Конструкція стулки віконного отвору одинарна підвісна. Висота і довжина стулки рівні, кут відкриття стулки $\alpha = 45^\circ$. Ліхтар П-подібний з фрамугами на вертикальній осі з вітрозахисними панелями, які знаходяться на відносній відстані $l/h = 1,5$ з кутом відкриття $\alpha = 90^\circ$.

Розрахуємо температуру повітря, що видаляється з верхньої частини приміщення за формулою 9.1:

$$t_{\text{вид}} = t_{\text{зовн}} + \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.з.}}}{m}; \quad (8.189)$$

де, $t_{\text{зовн}}$ – температура зовнішнього повітря, для с. Калинівка Київської обл. в теплий період становить $t_{\text{зовн}} = 21^\circ\text{C}$;

$t_{\text{вн}}$ – температура внутрішнього повітря $t_{\text{вн}} = 22^\circ\text{C}$;

$t_{\text{рз}}$ – температура повітря, що надходить до робочої зони $t_{\text{рз}} = t_{\text{зовн}} = 21^\circ\text{C}$;

m – коефіцієнт, приймаємо 0,53.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{\text{вид}} = 21 + \frac{22-21}{0,53} = 22,887 \text{ }^{\circ}\text{C}; (8.190)$$

Визначимо питому вагу повітря за формулою 8.191:

$$\rho = \frac{353}{t+273}(\text{кг/м}^3); (8.191)$$

$$\rho_{\text{зовн.}} = \frac{353}{21+273} = 1,201 \text{ кг/м}^3; (8.192)$$

$$\rho_{\text{вид.}} = \frac{353}{22,89+273} = 1,193 \text{ кг/м}^3; (8.193)$$

Розподілений тиск обчислимо за формулою 8.194:

$$\Delta\rho_{1,2} = h \times (\rho_{\text{зовн.}} - \rho_{\text{вид.}}); (8.194)$$

де, h – відстань між осями прорізів, $h = 10 \text{ м}$.

$$\Delta\rho_{1,2} = 10 \times (1,201 - 1,193) = 0,077 \text{ кг/м}^2; (8.195)$$

Втрати тиску на прохід повітря через припливні прорізи можна визначити за формулою 8.196:

$$\Delta\rho_1 = \beta \times \Delta\rho_{1,2}, \text{ кг/м}^2; (8.196)$$

де, β – різниця тисків, що використовується на прохід повітря через припливні прорізи, $\beta = 0,3$.

$$\Delta\rho_1 = 0,3 \times 0,077 = 0,023 \text{ кг/м}^2; (8.197)$$

Витрати тиску на прохід повітря через ліхтар обчислюємо за формулою 8.198:

$$\Delta\rho_2 = \Delta\rho_{1,2} - \Delta\rho_1 = 0,07 - 0,021 = 0,054 \text{ кг/м}^2; (8.198)$$

Визначаємо площу прорізів у стіні $F_{\text{прип}}$ і площа прорізів ліхтаря $F_{\text{л}}$ за формулами 8.199 і 8.200 відповідно:

$$F_{\text{прип.}} = \frac{G_{\text{прип.}}}{3600 \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \rho_{\text{зовн.}}}{\varepsilon_1} \times \Delta\rho_1}} = \frac{42000}{3600 \times \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 1,201}{3,7} \times 0,023}} = 30.508 \text{ м}^2; (8.199)$$

$$F_{\text{л.}} = \frac{G_{\text{вид.}}}{3600 \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \rho_{\text{вид.}}}{\varepsilon_2} \times \Delta\rho_2}} = \frac{30000}{3600 \times \sqrt{\frac{2 \times 9,81 \times 1,193}{4,1} \times 0,054}} = 15.065 \text{ м}^2; (8.200)$$

де, $G_{\text{припл.}}$ – кількість повітря, що повинна надходити в приміщення;

$G_{\text{вид.}}$ – кількість повітря, що видаляється.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.1.2. Виробниче освітлення.

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018 [31] роботи, що виконуються на виробництві, належать до IVв розряду за характером зорових робіт. Норми параметрів освітлення, згідно ДБН В.2.5-28:2018 наведено у таблиці 8.24.

Таблиця 8.24 - Норми освітленості і КПО цеху, згідно ДБН В.2.5-28:2018.

Розряд і підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк		КПО, %			
	Штучне		Природне		Суміщене	
	Комбіноване	Загальне	середнє	мінімальне	середнє	мінімальне
IVв	400	200	4	1,5	2,4	0,9

Виробниче приміщення забезпечено боковим природним та комбінованим штучним освітленням. Таким чином загальна система освітлення є суміщеною. Система штучного освітлення в цеху здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп типу ЛБ-40 та світильників ЛПО-01. Крім робочого освітлення, передбачається встановлення аварійного, евакуаційного та охоронного освітлення. Також проект передбачає встановлення аварійного і евакуаційного освітлення, для якого обрано світильники прямого типу «Альфа»[32].

Оцінку освітленості у виробничих приміщеннях проводитиметься за допомогою фотоелектричного люксметра Ю-117 один раз на рік, а також після заміни або ремонту освітлювальних приладів.

8.1.3. Виробничий шум і вібрація.

Джерелами вібрації та шуму в цеху є насоси, екстрактор та реактори, обладнані перемішувачами механізмами. Рівень шуму на виробництві сягає 90 – 100 дБА, що перевищує допустимий рівень (згідно ДСН 3.3.6.037-99, допустимий рівень не повинен перевищувати 80 дБА).

З метою зниження шуму проектом передбачено наступні комплексні заходи:

- ізоляція джерел шуму засобами звукоізоляції і звукопоглинання;
- встановлення обладнання на опорні плити та віброгасні основи;
- відстань від стіни до обладнання з робочого боку лінії 1,5 м; з неробочого – 1,2-1,5 м; площа виробничого приміщення на одного працівника становитимуть

не менше ніж 4,5 м²; площа приміщення, зайнята лінією виробництва становить чверть від загальної площі цеху;

- нанесення звукопоглинаючого облицювання на стелі та верхній частині стін;
- обладнання оснащено засобами дистанційного управління та автоматичного контролю.

В цеху, що проектується, передбачено контроль рівня шуму і вібрації за допомогою приладу ВШВ-003.

8.1.4. Електробезпека.

Проектований цех належить до класу приміщень з особливою небезпекою, оскільки присутні такі умови: наявність струмопровідної підлоги; можливість одночасного дотику людини до струмопровідних частин електроустановки і металоконструкцій, що мають контакт із землею.

Ураження людей електричним струмом може виникнути в результаті дотику до струмоведучих елементів устаткування, які опинилися під напругою в результаті порушення ізоляції, а також через електродугу.

Електрообладнання проектного цеху живиться від трифазної чотирьохпровідної електромережі постійного струму з напругою 380/220В, частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю. Відповідно до ГОСТу 12.1.038-92 допустимі значення напруги дотику (U_d) і струму (I_L), що проходить через тіло людини становлять: при нормальному режимі роботи електричного встаткування $U_d = 2$ В, а $I_L = 0,3$ мА; при аварійному режимі роботи $U_d = 36$ В, а $I_L = 6$ мА.

Найчастіше відбувається однофазний дотик людини до мережі змінного струму. Сила струму та напруга, які проходить через тіло людини, розраховується за формулами 8.201 та 8.203 відповідно:

$$I_L = U_\phi \cdot 10^3 / (R_0 + R_L), \text{ мА ; (8.201)}$$

де, U_ϕ - 220 - фазна напруга, В; $R_L = 3000$ – загальний опір тіла людини, Ом;

$R_0 = 4$ - опір робочого заземлення нейтралі, Ом.

$$I_L = 220 \cdot 10^3 / (3000 + 4) = 73 \text{ мА; (8.202)}$$

$$U_d = I_L \cdot R_L, \text{ В; (8.203)}$$

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_d = 73 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 = 219 \text{ В; (8.204)}$$

Отримані значення I_d та U_d значно перевищують нормативні. При порушенні вимог ПБЕ в цеху можливі електротравми з тяжкими наслідками.

Для забезпечення безпечної експлуатації та електробезпеки передбачено наступні технічні способи і засоби: заземлення електрообладнання, ізоляція струмоведучих частин, запобіжне відключення установок, використання електроінструментів з малою напругою живлення, вирівнювання потенціалів, багатофазний поділ мереж, сигналізація, блокування, знаки безпеки, попереджувальні плакати[33].

8.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання.

Основними причинами аварійних ситуацій на рамках даного виробництва можуть бути:

- відмова систем автоматизації процесів;
- виток речовини в результаті розриву трубопроводу;
- розгерметизація корпусів апаратів з потраплянням сумішей хімічних речовин у простір цеху;
- порушення роботи насосів в результаті пошкоджень або раптового відключення від електромережі, що може спричинити пошкодження трубопроводів та апаратів;
- небезпека отримання хімічних опіків внаслідок розливу кислот чи лугів та тримання термічних опіків у разі неправильного поводження з нагрітими апаратами.

З метою запобігання даних ситуацій проектом передбачено комплекс заходів:

- 1.Застосування системи комплексної механізації, автоматизації та дистанційного керування виробничих процесів, що зменшує безпосередній контакт персоналу з матеріалами та обладнанням до мінімуму;
- 2.Передбачено попереджувальну сигналізацію на випадок виникнення небезпечних ситуацій на виробництві;

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.Забезпечення можливості аварійного електропостачання;

4.Проведення інструктажів та перевірку знань персоналу з охорони праці та безпеки експлуатації обладнання.

8.2 Пожежна безпека.

Згідно НАПБ Б.03.002-2007, за вибухопожежною і пожежною небезпекою приміщення цеху, що проектується, належить до категорії В (пожежонебезпечна). Причиною виникнення пожежі можуть бути протікання горючих рідин через пошкодження апаратів і/або трубопроводів, порушення правил зберігання сировини, пошкодження електропроводу, коротке замикання електроустановок, розряди статичної електрики, прямий удар блискавки у будівлю.

Для гасіння джерел пожежі на робочих місцях обладнуються протипожежні щити з набором засобів пожежогасіння, вогнегасники СУБ–7, пінні вогнегасники і ящики з піском. Також виробничі приміщення та склади обладнано внутрішніми пожежними кранами. Приміщення оснащено автоматичними установками пожежної сигналізації та автоматичними установками пожежогасіння, системами димовидалення, технічними засобами оповіщення про пожежу та засобами зв'язку. У цеху, окрім стаціонарної системи пожежогасіння, на ділянках є вуглекислотні та порошкові вогнегасники ОУБ–8–2 і ОПС–6. Між виробничими будинками передбачені пожежні розриви 10 м.

Для попередження виникнення електростатичних зарядів передбачено заземлення виробничого устаткування. Для захисту ізоляції електропроводу використовують пластиковий захисний кожух. Для попередження перевантажень і короткого замикання в електричних мережах застосовують плавкі запобіжники і спеціальні автомати, включені в мережу послідовно. Попередження перегріву проводів від перехідних опорів досягається збільшенням площі опору контактів, застосування пружних контактів. Для захисту від прямого удару блискавки проектом передбачено блискавковідводи вертикального стрижньового типу[33].

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовин, що використовуються в процесі біологічного очищення димових газів виробництва, наведені в таблиці 8.25.

Таблиця 8.25 – Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин.

Речовина, що використовується у виробництві	Температура, °C		Межа вибуховості, об. %		Вогнегасні засоби
	спалаху	самозаймання	нижня	верхня	
Димові гази	500	380	-	-	розбризкування води, піна, сухий порошок для гасіння, діоксид вуглецю Невідповідні засоби пожежогасіння: струмінь води
Кисень	190	280	1,1	7,1	

9 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА

Проблема зміни клімату є однією з найважливіших екологічних проблем, що стоять перед людством, оскільки вона може призвести до незворотних катастрофічних наслідків для довкілля та суспільства. Провідні вчені світу дійшли висновку, що підвищення глобальної температури не має перевищити 2°C, оскільки цей показник є переломним моментом для кліматичної системи планети.

Щоб утримати підвищення температури в межах 2°C необхідно, щоб концентрація парникових газів (ПГ) в атмосфері не перевищувала до індустріальних рівнів, а саме - 350 чнм (Roach, 2006). Тому необхідно здійснювати негайні та рішучі заходи у всіх країнах світу для скорочення викидів та стабілізації концентрації ПГ на відносно безпечному рівні [34].

9.1 Методичні основи визначення скорочення викидів П.Г,

Викиди діоксиду вуглецю — одна з найбільш впливових і найменш контрольованих екологічних проблем сучасності. Від контролю за ними, без перебільшення, залежить майбутнє планети і людства.

Сучасна теплоенергетика, промисловість й автотранспорт викидає в атмосферне повітря близько 200 млн. т/рік окису вуглецю, 150 млн. т/рік сірчистого ангідриду й 50 млн. т/рік оксидів азоту. З'єднуючись з атмосферою водою, вони утворюють кислоти, які окислюють ґрунт, прискорюють корозію металів, руйнують будинки, пам'ятники архітектури. Газоподібні забруднювачі, включаючись у біохімічні природні цикли, повертаються на земну поверхню переважно в районі їхнього викиду в атмосферу.

Підвищення ефективності очищення димових газів від сульфуру (IV) оксиду, оксидів карбону, оксидів нітрогену і пилу – актуальна проблема, рішення якої становить теоретичний інтерес і має велике практичне значення. Комплексне очищення димових газів поліпшує екологічну обстановку й заощаджує природні ресурси.

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основна причина зміни клімату полягає в надмірному викиді парникових газів (ПГ) в атмосферу. Кіотський протокол визначає шість основних ПГ, викиди яких мають бути скорочені. Це діоксиду вуглецю, метан, закис азоту, гексафторид сірки, гідрофторвуглеці ГФУ та перфторуглероди ПФС. Для забезпечення гармонізації і рівнозначності карбону (IV) оксид є стандартом для інших п'яти парникових газів, а «т діоксиду вуглецю-екв» (еквівалент карбону (IV) оксиду в тоннах) став розрахунковою одиницею для точної оцінки впливу будь-якого проекту, який виробляє квоти на викиди, в тоннах діоксиду вуглецю-екв для шести перелічених вище ПГ [35]. Виконання рішень Кіотського протоколу, Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та пост-кіотських документів про зниження викидів ПГ потребує реалізації відповідної політики держави, яка повинна мати глибоке наукове обґрунтування. Проблема зниження викидів парникових газів включає міжнародне співробітництво та проведення різнопланових заходів усередині країни щодо запобігання зміні клімату шляхом обмеження і скорочення антропогенних викидів ПГ і захисту та підвищення якості поглиначів і накопичувачів ПГ.

Для виконання міжнародних зобов'язань Україною щодо зменшення викидів парникових газів необхідно всередині країни сформувати внутрішній вуглецевий ринок, який дасть можливість визначити пріоритетні напрями зниження викидів, економічно простимулювати суб'єкти до впровадження чистих технологій. У нормативно-правовій базі та науковій літературі приділяється багато уваги розробці питань зниження викидів ПГ та боротьби зі зміною клімату на планеті. Міжнародна та вітчизняна спільнота, науковці різних галузей знань вивчають проблему ПГ на технічному, біологічному, соціальному та економічному рівнях. Основним напрямком зниження викидів парникових газів є розвиток та функціонування глобальних, регіональних та внутрішніх ринків [36]. Проблеми розподілу квот на викиди ПГ між державами свідчать про необхідність створення умов для формування власного вуглецевого ринку в Україні, що дозволить великим приватним компаніям модернізувати підприємства чорної металургії і

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основної хімії, залучити сучасні технології та інвестиції, одержати додаткові кошти в бюджет і покращити імідж держави [37].

Хлорела – це одноклітинна рослина, невибаглива до умов існування і завдяки простому життєвому циклу здатна до інтенсивного розмноження, тому є космополітом: у прісних водоймах, морях, ґрунті та аерофітоні. Може бути симбіонтом найпростіших та фікобійонтом лишайників. У зоологічній літературі зустрічається під назвою зоохлорела. Здібності водорості успішно використовувалися у ході очищення води, підвищення поживності раціону худоби, терапії широкого спектра хвороб людини. Основою мікроорганізму виступає хлорофіл - макроелемент, за структурою нагадує клітини гемоглобіну. Поживність обумовлена високим вмістом білкових з'єднань. Крім них склад хлорели збагачений клітковиною, поліненасиченими жирами, Омега-3 і Омега-6 кислотами, біотин, калієм, магнієм, кальцієм і вітамінами А, В, С, D, Е і К. Харчуються ці зелені кульки розчинними у воді солями і вуглекислим газом і ростуть, утворюючи в своєму тілці жири, білки і цукор і виділяючи на світлі кисень.

Технологічні параметри на стадії біоочищення: блок схеми працює в світовому режимі день/ніч за рахунок ультрафіолетової лампи для життєдіяльності хлорели; діоксид вуглецю пропускається через біореактор в розчиненій формі і за рахунок зворотнього циклу Кребса – частина фотосинтезу (також відомий як зворотний цикл трикарбонових кислот - послідовність хімічних реакцій, яку деякі бактерії використовують для синтезу органічних сполук з діоксиду вуглецю і води) утворюється кисень; біореактор має температурний режим 70°C, щоб хлорела не входила в сплячку.

Відпрацьований біоматеріал після відправляється до реактору змішування, де осаджується за рахунок коагулянтів.

Схема направлена на зменшення викидів діоксиду вуглецю з димових газів: відходи даного технологічного рішення присутні на стадії очищення газів в батареї циклонів від зважених часток – пилі. Всі інші відходи повторно використовуються. Вода з абсорберу йде на рециклінг в основний апарат. На

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виході з основного апарату суспензія відпрацьованих водоростей (Хлорела) після коагуляції іде на утворення вторинного продукту:

- Паста хлорели (концентрат хлорели) - це живий штам хлорели, згущений в 100 раз, щільністю 4-6 млрд.Кл/мл, який продовжує своє зростання і розмноження після внесення в ставши, ставок, відстійник. Використовується для рибних водойм, тваринницьких комплексів, птахоферм, очисних споруд, вживання людиною;

- Сухого порошку - виробники хлорели випускають препарат у вигляді таблеток, суспензії, капсул насичено зеленого кольору. Водорості на 50-60% складається з рослинного білка, який за якістю не поступається білку м'яса. Такий збалансований джерело білка включає всі незамінні амінокислоти, необхідні організму людини. Всього 3 г сухої речовини містить 0,1 г Омега-3;

- Рідких комплексних добрив.

На виході з даної технологічної схеми основним продуктом являється надлишок кисню.

Тверді частки, на відміну від газоподібних, здатні накопичуватися й переміщатися на великі відстані. Вони адсорбують з повітря шкідливі речовини й погіршують екологічний стан в локальному й глобальному масштабах. Частки пилу з розмірами менш одного мкм не затримуються у верхніх дихальних шляхах, накопичуються в легенях і перешкоджають газовому обміну організму із зовнішнім середовищем. Ступінь очищення в циклонних апаратах залежить від відцентрової сили, що діє на частку. Утворений і зібраний пил можливо використовувати в формуванні будівельних матеріалів.

Запропонований метод – це комплекс з вже існуючих технологій, зібраний в новий технологічний цикл. За рахунок цього передбачається більша ефективність, мала кількість відходів, утворення побічних продуктів.

9.2 Розрахунок екологічних платежів

Розрахунок методу представлений наступним чином.

Об'єм димових газів:

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{ПГПС} = 7,84 * \alpha * V_{\Gamma} * \Xi \text{ (м}^3\text{/с). (9.205)}$$

де, α - коефіцієнт надлишку повітря;

V_{Γ} - витрати газу (м³/с);

Ξ - калорійний еквівалент газу (безрозмірний).

Показник емісії діоксиду вуглецю K_{CO_2} :

$$K_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} * \frac{C^r}{100} * \frac{10^6}{Q_i^r} * \epsilon_c = 3,67 K_c \epsilon_c \text{ г/ГДж; (9.206)}$$

$C^r = 73,67\%$ - ваговий вміст вуглецю в газі на робочу масу;

$\epsilon_c = 0,995$ (безрозмірна) – ступінь окислювання вуглецю;

$Q_i^r = 46,03$ МДж/кг – вагова нижча теплота згорання;

$K_c = \frac{C^r}{100} * \frac{10^6}{Q_i^r}$ – показник емісії вуглецю, г/ГДж.

$$K_{\text{CO}_2} = 44/12 * 73,67/100 * 10^6 / 46,03 * 0,995 = 58390,77 \text{ г/ГДж. (9.207)}$$

Валовий викид вуглекислого газу $E(\text{CO}_2)$ складе:

$B(\text{год}) = 25,23$ т/рік – вагова витрата газу;

$$E(\text{CO}_2) = 10^6 * k(\text{CO}_2) * Q_i^r * B(\text{год}) = 10^6 * 58390,77 * 46,03 * 25,23 = 67,81136 \text{ т/рік. (9.208)}$$

Максимальний разовий викид:

$B(\text{сек}) = 1,606$ г/сек – вагова витрата газу;

$$E(\text{CO}_2) = 10^6 * k(\text{CO}_2) * Q_i^r * B(\text{сек}) = 10^6 * 58390,77 * 46,03 * 1,606 = 4,316490 \text{ г/сек. (9.209)}$$

Так як для CO_2 ГДК м.р. та ГДК с.д. не визначені, то береться ОБРД цієї речовини згідно «Списку гранично допустимих концентрацій (ГДК) та орієнтовних безпечних рівнів діяння (ОБРД) забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць», що включає в себе відомості про діючі на території України ГДК і ОБРД за станом на 01.03.2000р.

$$\text{CO}_2 = 432,3 \text{ т/рік. (9.210)}$$

Розрахунок викидів забруднюючих речовин та парникових газів в атмосферу при спалюванні природного газу:

Витрата природного газу на рік розраховується за формулою:

$$B = X \cdot p. \text{ (9.211)}$$

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, X – об'єм спожитого газу (м^3);

ρ – густина природного газу при нормальних умовах, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Витрата палива на рік – B (т);

Густина природного газу – $\rho=0,723 \text{ кг}/\text{м}^3$;

Нижча робоча теплота згорання палива – $Q_{\text{гi}} = 45,75 \text{ МДж}/\text{кг}$;

Показники емісії забруднюючих речовин: $k(\text{CO}_2) = 58748,13 \text{ г}/\text{ГДж}$;

Якщо підприємство використало за рік 225046 м^3 природного газу, то його масова витрата становить:

$$B = 225046 \text{ м}^3 \cdot 0,723 \text{ кг}/\text{м}^3 = 162708,26 \text{ кг} = 162,71 \text{ т. (9.212)}$$

Валовий викид діоксиду вуглецю:

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} \cdot k_{\text{CO}_2} \cdot Q_{\text{гi}}; \text{ (9.213)}$$

$$B = 10^{-6} \cdot 58748,13 \cdot 45,75 \cdot 162,71 \text{ т} = 437,3 \text{ т. (9.214)}$$

Одним з пріоритетних напрямів розвитку України є створення низьковуглецевої економіки. Формування внутрішнього вуглецевого ринку торгівлі правами квот на викиди вуглецевих одиниць є інструментом зниження ПГ, акумулювання коштів та залучення інвестицій для впровадження екологічно чистих технологій, зниження споживання енергоресурсів на основі підвищення ефективності їх використання. Концепція формування внутрішнього вуглецевого ринку має включати надання більшої самостійності регіонам та підприємствам у ринковому обсязі (обігу) квот на викиди вуглецевих одиниць та виходу на світові ринки.

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В бакалаврському проекті розроблено технологічну схему відділення біологічного очищення димових газів з використанням культури мікроводоростей. Наведено технологічне креслення відділення та його опис. Проведено розрахунки основного і допоміжного обладнання відповідно до продуктивності 4 м³/год. Діаметр абсорбційного фільтру становить 600 мм, висота складає 1,5 м, висота рівня рідини над зливним порогом дорівнює 0,2 м.

Розроблено схему автоматизації технологічного процесу, в якій передбачено контроль та регулювання температури димових газів на вході в механічний фільтр, рН на виході з розподільного баку та концентрації вуглекислого газу на вході в абсорбер і на виході-кисню.

Проведено економічний розрахунок відділення біологічного очищення димових газів. Річний випуск продукції складає 38 544 м³/рік, а собівартість становить 185,02 грн/м³.

У розділі екологічної безпеки проаналізовано джерела небезпеки, надано можливі варіанти їх рішення, а також пораховано суму річного екологічного податку.

В проекті розроблено заходи з техніки безпеки технологічного процесу біологічного очищення димових газів: передбачено забезпечення працівників спецодягом, проведено відповідні інструктажі, всі апарати та приміщення оснащені звукоізолюючими матеріалами, по периметру відділення розміщено вогнегасники та заземлено всі електропроводи. Проектні та технологічні рішення наведено з врахуванням вимог пожежної безпеки та охорони праці. Створено заходи з забезпечення безпечних умов роботи працівників відділення.

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Commercial applications of microalgae / [P. Spolaore, C. Joannis-Cassan, E. Duran та ін.]. // Bioengineering. – 2006. – №101. – С. 87–96.
2. Рубенчик Л. И. Поиск микроорганизмов в космосе. 2-е изд./ Л.И. Рубенчик. – Київ: Наукова думка, 1983 . – 112 с.
3. Перспективи використання мікроводоростей у біотехнології / О. К. Золотарьова, Є. І. Шнюкова, О. О. Сиваш, Н. Ф. Михайленко. – Київ: Альтерпрес, 2008. – 234 с.
4. Selection of microalgae for lipid production under high levels carbon dioxide. / [C. Yoo, S. Jun, J. Lee and oth.]. // Bioresour. Technol. – 2010. – №101. – P. 71– 74.
5. Utilization of carbon dioxide in industrial flue gases for the cultivation of microalga Chlorella./ [Kao, C. Y., Chen, T. Y., Chang and oth.].//Bioresource Technology. – 2014. - №166. - P. 485-493.
6. High concentration CO₂ sequestration by using microalgae in staged cultivation. /[Huang, G.H., Li, T., Chen, F.,]//.- Environ. Prog. Sustain.- 2016.- №. 35(6), – P. 1862–1867.
7. Viktoriia Katysheva. About the problem of biological processes complicated by mass transfer / Vasyl Dyachok, Serhiy Huhlych, Yuri Yatchyshyn, Yulia Zaporochets, Viktoriia Katysheva // Chemistry & Chemical Technology. — Lviv: Lviv Politechnic Publishing House, 2017. — Vol 11. — No 1. — P. 111–116.
8. Performance evaluation of microalge for concomitant wastewater bioremediation, CO₂ biofixation and lipid biosynthesis for biodiesel application. / Nayak, M., Karemore, A., Sen, R., //Algal Res.- 2016.- № 16, - P. 216–223.
9. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: a critical review. /[Chen C.-Y., Yeh K.-L., Aisyah R. and oth.].// Bioresour. Technol. - 2011.-№102.-P 71-81.

					<i>ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ</i>	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Victoriia Katysheva. Effect of Fuel Combustion Products on Carbon Dioxide Uptake Dynamics of Chlorophyll Synthesizing Microalgae. /Vasil Dyachok, Solomiya Mandryk, Victoria Katysheva, Serhiy Huhlych . // - Poland: Journal of Ecological Engineering, 2019. - Vol 20(6) - P. 18-24.
11. Development of suitable photobioreactors for CO₂ sequestration addressing global warming using green algae and cyanobacteria. / [K. Kumar, C. Dasgupta, B. Nayak and oth.]. // Bioresour. Technol. – 2011. – №102. – P. 4945–4953.
12. Utilization of simulated flue gas for cultivation of *Scenedesmus dimorphus* / [Y. Jiang, W. Zhang, J. Wang and oth.]. // Bioresour. Technol. – 2013. – №128. – P. 359–364.
13. Azov Y. Free ammonia inhibition of algal photosynthesis in intensive cultures / Y. Azov, J. Goldman. // Appl. Environ. Microbiol.. – 1982. – №43. – P. 735–739
14. Циганков А.А. Лабораторні фотобіореактори / А.А. Циганков. // Приклад. біохім. і мікробіол. – 2001. – №4. – С. 397.
15. Воєвода Д. В. Патент України на корисну модель №112994 за заявкою а201405765/ Спосіб культивування мікроводоростей *chlorella vulgaris*. / Воєвода Д. В. Голуб Н. Б. // МПК С12М 1/42//Опубл. 25.11.2016. Бюл. №22.
16. Packer M. Algal Capture of Carbon Dioxide; Biomass Generation as a Tool for Greenhouse Gas Mitigation with Reference to New Zealand Energy Strategy and Policy / Michael Packer. // Energy Policy. – 2009. – №37. – P. 3428–3437.
17. Катишева В. В. Дисертація підвищення рівня екологічної безпеки атмосфери поглинанням вуглекислого газу хлорофіл вмісними мікроводоростями. 63 – 101 с.
18. Процеси та апарати хімічних виробництв + КП [Електронний ресурс]: Методичні вказівки – Режим доступу: <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266163/index.html>

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Процеси та обладнання газороздільних установок (ПОГРУ) [Електронний ресурс]: Методичні вказівки – Режим доступу: https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:a431440315da9066760766d0c931a08acfc9ca64/latest/316645/index.html
20. Торопчинова К. Л. Абсорбер // Велика українська енциклопедія. URL: <https://vue.gov.ua/Абсорбер> (дата звернення: 10.06.2021).
21. Машины и аппараты химических производств / Под ред. д-ра техн. наук, проф. И.И. Чернобыльского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1974. – 456 с.
22. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
23. Расчет абсорбционных установок : методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплинам «Процессы и аппараты химических технологий», «Гидравлика и теплотехника» для студентов всех форм обучения / Под ред. Т. Л. Леканова, Е. Г. Казакова, 2009.
24. Лацинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лацинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
25. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.
26. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.
27. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 436 с. : іл. – Бібліогр.: с. 427–428. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-247-6.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології» / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Бібліогр.: с. 230–231. – 200 пр. – ISBN 978-966-622-287-2.
29. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини проектів для студ. Хіміко-технологічних спец. усіх форм навчання / Уклад.: О. А. Підлісна, В. В. Янковий, М. П. Дорошенко. – К.: ІВЦ —Видавництво «Політехніка», 2002. – 28.
30. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
31. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
32. Турский Ю. И. Очистка производственных сточных вод [Текст]. / Ю. И. Турский, И. В. Филиппов. – Л.: Химия, 1967. – 332 с., ил. – 9000 пр.
33. Белов, С. В. Безпека виробничих процесів [Текст]: Довідник / С. В. Белов, В. Н. Бринза, Б. С. Векшин. Под общ. ред. С. В. Белова. - М.: Машиностроение, 1985. – 44.
34. Порівняльний аналіз податку на викиди CO₂ та систем торгівлі викидами: висновки для України [Електронний ресурс]: – Режим доступу https://necu.org.ua/wp-content/uploads/NECU_Carbon-tax-vs-ETS-UA.pdf
35. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату [Електронний ресурс]: – Режим доступу zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801
36. Протидія глобальній зміні клімату в контексті Кіотських домовленостей: Український вимір. Аналітична доповідь, Київ – Національний інститут стратегічних досліджень при Президенті України, 2010.- 48 с.
37. Потапенко В.Г. Проблеми та перспективи формування вуглецевого ринку в Україні /В.Г. Потапенко// Економічний часопис – XXI. – 2010. - №11-12. - С. 18-22.

					ДП ХН 7107 1440 000 ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		