

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

## Кваліфікаційна робота магістра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"  
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв  
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Виробництво пігментного двоокису титану сульфатним способом. Розробити та модернізувати вакуум-випарний апарат для концентрування розчину титанілсульфату

Виконав:  
студент групи ХМ.мз–91с  
Сірий Андрій Юрійович

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота магістра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викл.

Острога Руслан Олексійович

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 76 с., 6 рис., 4 табл., 20 літературних джерел, 2 додатки.

Графічні матеріали: технологічна схема вакуум-випарного відділення виробництва пігментного двоокису титану, складальне креслення вакуум-випарного апарата, складальне креслення сепаратора, монтажне креслення цеху виробництва пігментного двоокису титану, схема автоматизації, віртуальна модель цеху та вакуум-випарного апарата – усього 6 аркушів формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи: «Виробництво пігментного двоокису титану сульфатним способом. Розробити та модернізувати вакуум-випарний апарат для концентрування розчину титанілсульфату».

У роботі наведено обґрунтування технологічної схеми виробництва двоокису титану, запропонована новизна до конструкції випарного апарату. Наведено теоретичні основи процесу випарювання, виконані технологічні розрахунки проєктованого апарату, а також конструктивні і розрахунки на міцність, які підтверджують працездатність і надійність випарного апарату. Розроблено схему автоматизації технологічного процесу з використанням сучасних контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

У розділі «Охорона праці» подано аналіз потенційних небезпек і шкідливостей, що виникають при експлуатації устаткування, яке працює на ділянці; запропоновані заходи по їх усуненню; проведено розрахунок заземлення установки.

Ключові слова: ДВООКИС ТИТАНУ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, СЕПАРАТОР, ТИТАНІЛСУЛЬФАТ, ТЕМПЕРАТУРНА ДЕПРЕСІЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОБОТИ	8
1.1 Обґрунтування вибору технологічної схеми виробництва	10
1.2 Новизна проектної розробки та її економічна доцільність	15
1.3 Пристрій і принцип дії проектованого апарата	16
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19
2.1 Опис технологічної схеми виробництва	19
2.2 Теоретичні основи процесу	22
2.3 Технологічні розрахунки	25
2.4 Конструктивні розрахунки	38
2.5 Визначення гідравлічного опору апарата	40
2.6 Вибір допоміжного обладнання	41
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	47
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	47
3.2 Розрахунки апарата на міцність, стійкість та герметичність	49
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	53
4.1 Обґрунтування компонування обладнання установки	53
4.2 Монтаж та ремонт основного технологічного обладнання	55
5 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ	60
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей під час роботи обладнання	63
6.2 Розрахунок захисного заземлення	69
6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях на досліджувальному об'єкті	71

					<b>XI.B.00.00.00 ПЗ</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Сірий				<b>Вакуум-випарний апарат</b>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Острога				<b>у виробництві TiO<sub>2</sub></b>	4	76	
Реценз.					<b>Пояснювальна записка</b>	<b>СумДУ, ХМ.мз-91с</b>		
Н. Контр.								
Затверд.	Склябінський							

ВИСНОВКИ

74

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

75

ДОДАТКИ

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Концентрування розчинів методом випарювання – це один із найбільш поширених технологічних процесів в хімічній, харчовій, металургійній та інших галузях промисловості [1, 2].

Випарюванням називається процес концентрування розчинів твердих речовин при температурі кипіння шляхом часткового видалення розчинника в пароподібному стані. У переважній більшості випадків випарювання піддають водні розчини твердих речовин, і розчинник, що видаляється, являє собою водяну пару, яка називається вторинною парою. Однак закономірності процесу, методи його інженерного розрахунку і апаратного оформлення справедливі також і в тих випадках, коли розчинниками є інші рідини. При цьому передбачається, що вторинна пара складається з чистого розчинника, а розчинена тверда речовина нелетке; таке припущення практично виправдано [3–5].

Як приклад випарювання з виділенням чистого розчинника з розчину можна привести опріснення морської води, коли водяну пару, що утворюється, конденсують і отриману воду використовують для різних цілей. Для нагрівання випаровуваних розчинів до кипіння використовують пічні гази, електрообігрів і високотемпературні теплоносії, але найбільше використовують водяну пару, що характеризується високою питомою теплотою конденсації і високим коефіцієнтом тепловіддачі [6].

У хімічній промисловості в основному застосовують безперервно діючі випарні установки з високою продуктивністю за рахунок великої поверхні нагріву (до 2500 м<sup>2</sup> в одиничному апараті) [6].

Найбільше застосування в хімічній технології знайшли випарні апарати поверхневого типу, особливо вертикальні трубчасті випарні апарати з паровим обігрівом безперервної дії. Залежно від режиму руху киплячої рідини у випарних апаратах їх розділяють на апарати з вільною, природною і примусовою циркуляцією, плівкові випарні апарати, до яких відносяться і апарати роторного типу. У сучасних випарних апаратах випарюється дуже великі кількості води. Вище було показано, що в однокорпусному випарному апараті на випаровування 1 кг води

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витрачається 1 кг гріючої пари, а це приводить до її великих витрат. Витрати пари можуть бути значно знижені, якщо процес випарки проводити в багатокорпусному випарному апараті (принцип дії такої установки полягає в багатократному використанню тепла гріючої пари, яка поступає в перший корпус установки і в якості вторинної пари подається у наступний корпус [7].

Дана магістерська робота має елементи науково-практичної новизни та є самостійною працею, яку виконано у відповідності до методичних вказівок [8]. У даній кваліфікаційній роботі застосовувалися методи математичного моделювання, а розрахунки та узагальнення одержаних результатів проводилися із використанням комп'ютерних прикладних програм.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

# 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОБОТИ

У літературі [1–5] описано безліч конструкцій випарних апаратів, але лише невелика їх кількість обумовлена індивідуальними особливостями випарюваних розчинів. Єдиної класифікації таких апаратів не існує, але є доцільним засновувати її на конструктивному оформленні поверхні нагрівання і властивості використуваного теплоносія. Найбільшого поширення в промисловості отримали випарні апарати, що обігріваються водяною парою, яка конденсується; рідше – топковими газами і висококиплячими органічними теплоносіями; дуже рідко – електричним струмом.

Найбільш простими є випарні апарати у вигляді вертикальних порожнистих циліндрів або чашоподібні, забезпечені нагрівальними сорочками або спіральними змійовиками. Ці апарати відрізняються малою питомою поверхнею нагріву (на одиницю робочого об'єму), тому вони громіздкі, малопродуктивні і знаходять застосування тільки в мало масштабних виробництвах [3].

Широко використовуються в хімічній промисловості випарні апарати з внутрішніми вертикальними нагрівальними камерами. Останні являють собою вертикальний пучок труб, кінці яких розвальцьовані в двох трубних решітках. У міжтрубному просторі конденсується гріюча пара. Випарюваний розчин, закипаючи всередині нагрівальних труб, викидається у вигляді більш легкої парорідинної суміші в сепараційний об'єм апарату. Тут вторинна пара відокремлюється і залишає апарат, звільняючись від бризок і крапель, а розчин опускається вниз по центральній циркуляційній трубі великого діаметру в простір під нижньою трубною решіткою, знову потрапляє в нагрівальні труби, знову закипає і т. д. [2, 3].

Для забезпечення більшої компактності нагрівальної камери застосовують апарати з зовнішніми циркуляційними трубами, що характеризуються дещо більшим гідравлічним опором циркуляційного контуру.

Перевагою підвісної нагрівальної камери є менша небезпека порушення щільності розвальцьовування нагрівальних труб внаслідок деформацій і більш інтенсивна циркуляція розчину завдяки кільцевому каналу між корпусом апарата і

						XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
							8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

нагрівальною камерою. Недоліки даного апарату: менша компактність, а також ускладнення вузлів входу гріючої пари і виходу конденсату.

У промисловості знайшли також застосування апарати зі співвісними і виносними (розосередженими) нагрівальними камерами. Випарний апарат зі співвісним розташуванням сепаратора і нагрівальної камери відрізняється спокійним кипінням і особливо рекомендується для концентрування розчинів, що піняться.

Великими габаритами відрізняються апарати з розосередженими сепараторами і нагрівальними камерами, але вони доступніше для ремонту і очищення. Істотною перевагою цих апаратів є також тангенціальний вхід парорідинної суміші в сепаратор по циркуляційній трубі; це полегшує відділення вторинної пари від розчину.

Нерідко застосовуються випарні апарати із двома виносними нагрівальними камерами, приєднаними до загального сепаратора. Перевагою таких апаратів, крім збільшеної поверхні нагрівання, є можливість відключення на робочому ході однієї камери для її ремонту або заміни.

Для випарювання термолабільних і розчинів, що піняться, знайшли застосування плівкові апарати, які складаються із довгої трубної (до 6–7 м) вертикальної нагрівальної камери і співвісного сепаратора. Рівень заповнення нагрівальних труб розчином, що надходять знизу, становить зазвичай  $1/4$  їх висоти. Відмінною особливістю цих апаратів є одноразовий прохід розчину через нагрівальну камеру (відсутня циркуляція) і висхідним рухом плівки.

При випарюванні дуже вузьких розчинів використовують апарати з низхідним рухом плівки. У цьому випадку вихідний розчин надходить у верхній перетин нагрівальної камери і відводиться в суміші з вторинною парою з нижнього перетину; сепаратор розташовується вже не вгорі, а внизу.

Перевагами розглянутих плівкових апаратів є короткочасний контакт розчину з поверхнею нагріву і деяке зростання коефіцієнта теплопередачі. До числа їх недоліків відносяться велика висота, важкість ремонту і чистки, велика чутливість до вмісту твердих частинок в випарюваному розчині і відносно невеликий об'єм останнього, що обумовлює нестійкість робочого режиму (коливання продуктивності і кінцевої концентрації).

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						9
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Для випарювання термолабільних і в'язких розчинів знаходять все більш широке застосування плівкові роторні апарати. Найважливішими перевагами плівкових роторних апаратів є: короткочасний контакт розчину з поверхнею нагріву, високий коефіцієнт теплопередачі, можливість випарювання не тільки високов'язких, але також розчинів, що кристалізуються, аж до отримання сухого залишку (поверхню нагріву безперервно очищають лопатями). До числа недоліків цих апаратів відносяться: обмежена продуктивність, складність конструкції і відносно висока вартість [4].

Проаналізувавши вище викладене, найбільш раціональним апаратом для випарювання водного розчину  $TiO_2$  є випарний трубчастий апарат з винесеною гріючою камерою.

## 1.1 Обґрунтування вибору технологічної схеми виробництва

Пігменти діоксиду титану існують у двох формах (анатозна та рутильна) і виробляються за двома технологічними схемами: сульфатним і хлорний способами. Обидві (анатозна і рутильна) форми діоксиду титану можуть бути виготовлені будь-яким із способів.

**Сульфатний спосіб** був впроваджений у промисловість в 1931 р. для виробництва анатозної форми діоксиду титану, а пізніше, у 1941 р. – рутильної. У цьому способі руда, що містить титан, розчиняється в сірчаній кислоті, утворюючи розчини сульфатів титану, заліза та інших металів. Потім, в ряді хімічних реакцій, що включають в себе хімічне відновлення, очищення, осадження, промивання і кальцинацію, утворюючи базовий діоксид титану з необхідним розміром частинок. Будова кристалів (анатозної або рутильної форми) контролюється в процесі ядроутворення і кальцинації [3, 5].

**Хлорний спосіб** був винайдений компанією DuPont в 1950 р. для виробництва рутильної форми діоксиду титану. Цей спосіб включає в себе високотемпературні фазові реакції. Титановмісна руда вступає в реакцію з хлорним газом при зниженому тиску, у результаті чого утворюється тетрахлорид титану  $TiCl_4$  і домішки хлоридів інших металів, які згодом видаляються.  $TiCl_4$  високого ступеня чис-

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

тоти потім окислюють при високій температурі, у результаті чого утворюється діоксид титану [3, 5].

У порівнянні з сульфатним хлорний спосіб є більш екологічно чистим і досконалим завдяки можливості здійснювати процес в безперервному режимі, що передбачає повну автоматизацію виробництва. Однак він вибірковий до сировини, а у зв'язку із використанням хлору і високих температур вимагає застосування корозійностійкого обладнання [9].

**Розглянемо більш детально сульфатний спосіб виробництва.** Технологія такого виробництва складається з трьох основних етапів [10]:

1. *Отримання розчинів сульфату титану шляхом обробки ільменітових концентратів сірчаною кислотою.* У результаті отримують суміш сульфату титану і сульфатів заліза (II) і (III), останній відновлюють металевим залізом до ступеня окислення заліза +2. Після відновлення на барабанних вакуум-фільтрах відокремлюють розчини сульфатів від шламу. Сульфат заліза (II) відокремлюють у вакуум-кристалізаторі.

2. *Гідроліз розчину сульфатних солей титану.* Гідроліз проводять методом введення зародків (їх готують осаджуючи  $Ti(OH)_4$  із розчинів сульфату титану гідроксидом натрію). На етапі гідролізу утворені частинки гідролізату (гідратів діоксиду титану) мають високу адсорбційну здатність, особливо по відношенню до солей  $Fe^{3+}$ , саме із цієї причини на попередній стадії тривалентне залізо відновлюється до двовалентного. Варіюючи умови проведення гідролізу (концентрацію, тривалість стадій, кількість зародків, кислотність і т. п.) можна домогтися виходу частинок гідролізату із заданими властивостями, у залежності від передбачуваного застосування.

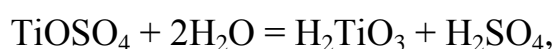
3. *Термообробка гідратів діоксиду титану.* На цьому етапі, варіюючи температуру сушки, використовуючи добавки (такі як оксид цинку, хлорид титану) та інші методи можна провести рутілізацію (тобто перебудову оксиду титану в рутильну модифікацію). Для термообробки використовують обертові барабанні печі довжиною 40–60 м. При термообробці випаровується вода (гідроксид титану і гідрати оксиду титану переходять в форму діоксиду титану), а також діоксид сірки.

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відомі три варіанти періодичного процесу розкладання ільменіту сірчаною кислотою – рідиннофазний, середньофазний і твердофазний, що розрізняються за концентрацією використовуваної сірчаної кислоти і характером продуктів розкладання. Однак, у промисловій практиці найбільше застосування отримав твердофазний метод, що дозволяє найбільш швидко і повно розкривати концентрати і отримувати розчини більшої основності, що полегшує проведення I гідролізу і отримання готового продукту підвищеної якості [10].

Для розкладання ільменіту за даним методом застосовують концентровану сірчану кислоту, завдяки чому температуру реакційної суміші можна швидко довести до 190–220°C (різко підвищити температуру вдається додаванням до концентрованої кислоти води або гідролізної кислоти), що забезпечує швидке протікання процесу і високий ступінь розкладання концентрату – 96–97 %. Після вилуговування одержувані розчини сульфату титану мають низький (~1,8) кислотний фактор. Окрім періодичного існують і безперервний способи розкладання ільменіту.

Гідроліз, з метою його прискорення і поліпшення якості (дисперсності), одержуваних гідратів ведуть кип'ятінням у присутності затравки (зародків) з розчинів сульфату титану з концентрацією  $TiO_2$  не менше 190–200 г/л при кислотному факторі  $> 2$ . Не наводячи тут технологічний режим гідролізу і механізм процесу, який є достатньо складним, відзначимо, що при цій операції, яка протікає по сумарному рівнянню



утворюється велика кількість (в перерахунку на моногідрат ~ 2 т на 1 т  $TiO_2$ ) розведеної 20–22 %-ої гідролізної сірчаної кислоти, забрудненої сульфатом заліза, 1–2 % титанілсульфату і кількома відсотками інших сульфатів. Ця кислота є відходом виробництва, проте повернення її затруднене. Можливий напрямок утилізації гідролізної кислоти – упарювання до концентрації 55 % із подальшим її використанням для виробництва суперфосфату.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						12
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

При гідролізі в осад виділяється до 95–96 % титану, причому утворена метатитанова кислота сорбує значну кількість  $\text{SO}_3$ . Метатитанову кислоту потім промивають, сушать і прожарюють, у результаті чого із неї видаляється спочатку вода (при 200–300°C), потім  $\text{SO}_3$  (при 500–800°C) і при 850–900°C виходить нейтральний (рН 7) продукт – діоксид титану.

Побічний продукт виробництва (семиводний залізний купорос) прожарюють до отримання одноводного ( $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) і подрібнюють. Орієнтовна витрата основних матеріалів на виробництво з ільменітових концентратів сірчано-кислотним методом 1 т діоксиду титану становить:

- ільменітового концентрату, що містить 42 %  $\text{TiO}_2$  – 3,1 т;
- сірчаної кислоти (моногідрат) – 4,0–4,5 т;
- залізної стружки – 0,24 т.

Як зазначено вище, джерелом для отримання  $\text{TiO}_2$  можуть служити також одержувані при рудовідновній плавці ільменітових концентратів титанові шлаки. На шлаках (70 %  $\text{TiO}_2$ ), зокрема, працює завод великої продуктивності в Канаді (провінція Квебек, поблизу Сореля).

При отриманні діоксиду титану із шлаків сірчано-кислотним методом розчини після вилуговування сульфату титану, які містять 190 г/л  $\text{TiO}_2$  і малу кількість заліза, гідролізуються легше, аніж при переробці ільменітових концентратів. Отримана гідролізна кислота містить ~ 9 г/л заліза, що полегшує її регенерацію.

Сірчано-кислотний метод виробництва діоксиду титану з ільменіту і титанових шлаків має ряд істотних недоліків:

- складна багатостадійна схема;
- висока витрата сірчаної кислоти, значна кількість якої непродуктивно витрачається на утворення великих кількостей відходів – сульфату заліза (> 3 т семиводного продукту на 1 т  $\text{TiO}_2$ ), а також розведеної 20–22 %-ої і забрудненої домішками гідролізної сірчаної кислоти.

**Далі розглянемо більш детально хлорний спосіб виробництва.** Хлорний метод отримання діоксиду титану полягає в тому, що вихідною сировиною (напівфабрикатом) служить тетрахлорид титану. Із нього діоксид титану можна отримувати методом гідролізу або спалюванням при високій температурі. Тетрахло-

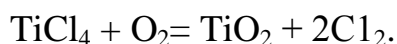
					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

рид титану гідролізується при нагріванні водних розчинів, або в газовій фазі під дією водяної пари.

Промислові методи виробництва титанових пігментів методом гідролізу ще не розроблені. Загальний їх недолік – незадовільне вирішення проблеми використання утворених при гідролізі хлориду водню або соляної кислоти, які не вдається повернути для повторного використання у виробництво діоксиду титану.

Гідроліз тетрахлориду титану парами води при 25–75°C на повітрі призводить до утворення в'язкої рідини, що затвердіває при тривалій витримці в білу масу. Парофазний гідроліз при 1000–1200°C дозволяє отримувати діоксид титану з пігментними властивостями, тому його можна використовувати за умови знаходження ефективного методу утилізації хлориду водню.

Спалювання тетрахлориду титану киснем протікає за наступною реакцією:



Хлор, що виділяється, може бути повернутий у виробництво для отримання тетрахлориду титану, тому метод спалювання вже застосовують у промисловому виробництві.

Найважливішою операцією у виробництві пігментного діоксиду титану хлорним методом є спалювання тетрахлориду титану. Воно проводиться при 900–1000°C на пальниках спеціальної конструкції, які забезпечують підтримку температури реакції в заданих межах і витримування продуктів згоряння протягом певного часу.

Для отримання монодисперсного продукту перебування діоксиду титану в зоні високих температур не повинно перевищувати 0,01–5 с. Залежно від умов спалювання тетрахлориду титану діоксид титану має структуру рутилу або анатаза. Змішування вихідних реагентів при 400°C призводить до утворення анатазу з розміром частинок 0,5–1,0 мкм. Попереднє нагрівання їх до 1000°C при спалюванні дає продукт, який містить до 60 % рутилу. Спалювання тетрахлориду титану з домішкою тетрахлориду кремнію (0,5–4,0 %) призводить до зменшення розмірів частинок діоксиду титану. Тетрахлорид кремнію сприяє також зниженню,

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

так званої, фотоактивності діоксиду титану. Додаток до продуктів спалювання ще і хлориду алюмінію (1–5 %) прискорює перехід анатаза в рутил. Частка рутилу в готовому продукті залежить від концентрації зародкових кристалів, що виникають на першій стадії реакції.

Титанові пігменти, одержувані при спалюванні тетрахлориду титану, містять до 0,6 % адсорбованого хлору. Водна суспензія такого продукту має рН > 7, і він не придатний для приготування фарб. Десорбцію хлору з пігменту можна здійснити прожарюванням його при температурі 300–900°C, домішка хлору при цьому знижується до 0,1 %. Такий продукт має рН водної витяжки 5–6,8 і придатний для виготовлення фарб і емалей, але потребує поверхневої обробки сполуками кремнію і алюмінію.

При виготовленні діоксиду титану **хлорним способом** необхідна поверхнева обробка сполуками кремнію і алюмінію, а при виготовленні **сульфатним способом** не потрібно проводити цю додаткову операцію, а також можливі різні варіанти діоксиду титану, які застосовні в інших виробництвах. Тому в даному проекті застосовуємо сульфатний спосіб виробництва діоксиду титану.

## 1.2 Новизна проектної розробки та її економічна доцільність

У даній проектній розробці передбачено багаторазове використання енергоносіїв. Це досягається завдяки повторному використанню гріючої пари. У стандартних технологічних схемах упарюваний розчин підігрівається до температури кипіння в одному теплообміннику насиченою парою, яка йде від ТЕЦ.

У цій технологічній схемі підігрів вихідного розчину проводиться послідовно в теплообміннику, а в якості гріючого агента виступають різні речовини: гріюча пара, конденсат пари випарного апарату. За рахунок цього виникає велика економія гріючої пари, що надходить з котельні. Тому немає необхідності в потужній котельні для отримання великих обсягів пари.

Розроблена технологічна схема має ряд переваг:

– застосований чистий прямоток, установка проста по об'язці, технологічним трубопроводам і регулюванню;

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- знижено витрату гріючої пари (2-х кратне її використання);
- забезпечено отримання більш якісного нагрівання початкового розчину.

Для комплектації установки було застосовано стандартне (покупне) і запозичене обладнання. При виборі обладнання виходили з вимог забезпечення працездатності та надійності експлуатації установки, а також технічних характеристик цього обладнання.

Один із напрямків, спрямованих на збільшення рентабельності виробництва, полягає в максимальному збільшенні ефективності цього виробництва. Одним із найбільш перспективних напрямків є економія енергоресурсів, зокрема, що гріючої пари. Це стало можливим завдяки новій технологічній обв'язці випарної установки з багаторазовим використанням тепла пари, конденсату упареного розчину.

### **1.3 Пристрій і принцип дії проектованого апарата**

Широке застосування процесу випарювання в хімічному виробництві привело до створення великої кількості випарних апаратів різної конструкції. Їх можна класифікувати за рядом ознак, а саме:

- 1) за розташуванням поверхні нагрівання: горизонтальні, вертикальні і рідше зустрічаються похилі;
- 2) за родом теплоносія: з паровим обігрівом, газовим обігрівом, обігрівом високотемпературними теплоносіями (масла, вода під високим тиском), з електрообігрівом;
- 3) за способом підведення теплоносія: з подачею теплоносія всередину трубок (кипіння у великому об'ємі), подача пари в парову камеру зовні трубок (кипіння всередині трубок);
- 4) за режимом циркуляції: природна і примусова циркуляція;
- 5) за кратністю циркуляції: одноразова і багаторазова;
- 6) за типом поверхні нагрівання: з паровою сорочкою, змієвикові, з трубчастою поверхнею нагріву різної конфігурації.

					<b>XI.B.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Що стосується вимог, які повинні бути пред'явлені до раціональних конструкцій, то вони можуть бути зведені до наступних:

1) простота, компактність, надійність, технологічність конструкції з точки зору зручності і дешевизни виготовлення, монтажу і ремонту, стандартизації вузлів і деталей;

2) задоволення технологічним вимогам: дотримання необхідного режиму (температури, тиску, часу перебування), отримання товару належної якості і необхідної концентрації, стійкість у роботі, за можливістю більш тривала робота між зупинками на очистку при мінімальних відкладеннях осаду на поверхні нагрівання, зручність обслуговування і очищення, регулювання та контролю роботи;

3) інтенсивність тепловіддачі, мала вага і невисока вартість 1 м<sup>2</sup> поверхні нагрівання.

При розміщенні нагрівальної камери поза корпусом апарата є можливість підвищити інтенсивність випарювання не тільки за рахунок збільшення різниці густини рідини і парорідинної суміші в циркуляційному контурі, а й за рахунок збільшення довжини кип'ятильних труб.

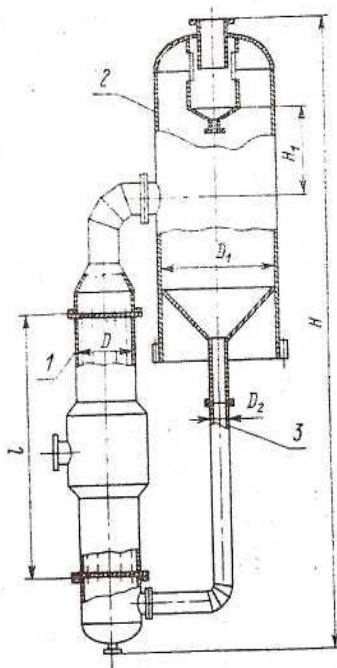


Рисунок 1.1 – Випарний апарат з природною циркуляцією

і винесеною грійочною камерою (тип 1, виконання 2):

1 – грійоча камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляційна труба

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

XI.B.00.00.00 ПЗ

Лист

17



Апарат з виносною гріючою камерою, має кип'ятильні труби, довжина яких сягає 7 м. Він працює при більш інтенсивній природній циркуляції, обумовленої тим, що циркуляційна труба не обігривається, а підйомна і опускна ділянки циркуляційного контуру мають значну висоту.

Зовнішня гріюча камера 1 легко відділяється від корпусу апарата, що полегшує і прискорює її очищення та ремонт. Ревізію і ремонт камери можна робити без повної зупинки апарата (а лише при зниженні його продуктивності), якщо приєднати до його корпусу дві гріючі камери.

Вихідний розчин надходить під нижню трубну решітку нагрівальної камери і, піднімаючись по кип'ятильним трубам, випаровується. Вторинна пара відділяється від рідини у сепараторі 2. Рідина опускається по поверхні циркуляційної труби 3, яка не обігривається, змішується з вихідним розчином, і цикл циркуляції повторюється знову. Вторинна пара, пройшовши бризкоуловлювач, видаляється зверху сепаратора. Упарений розчин відбирається через бічний штуцер в кінці дну сепаратора.

Швидкість циркуляції в апаратах з виносною гріючою камерою може досягати 1,5 м/с, що дозволяє випарювати в них концентровані розчини, не побоюючись занадто швидкого забруднення поверхні теплообміну. Завдяки універсальності, зручності в експлуатації і гарною теплопередачею апарати такого типу отримали досить широке поширення.

#### **Переваги апаратів з природною циркуляцією:**

- високий коефіцієнт теплопередачі при великій різниці температур;
- простота механічного очищення від накипу;
- відносно невисока вартість.

#### **Недоліки апаратів з природною циркуляцією:**

- низький коефіцієнт теплопередачі при малій різниці температур і низької температури кипіння;
- погана теплопередача при випаровуванні в'язких рідин;
- великі виробничі площа і маса;
- великий час перебування продукту в апараті.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

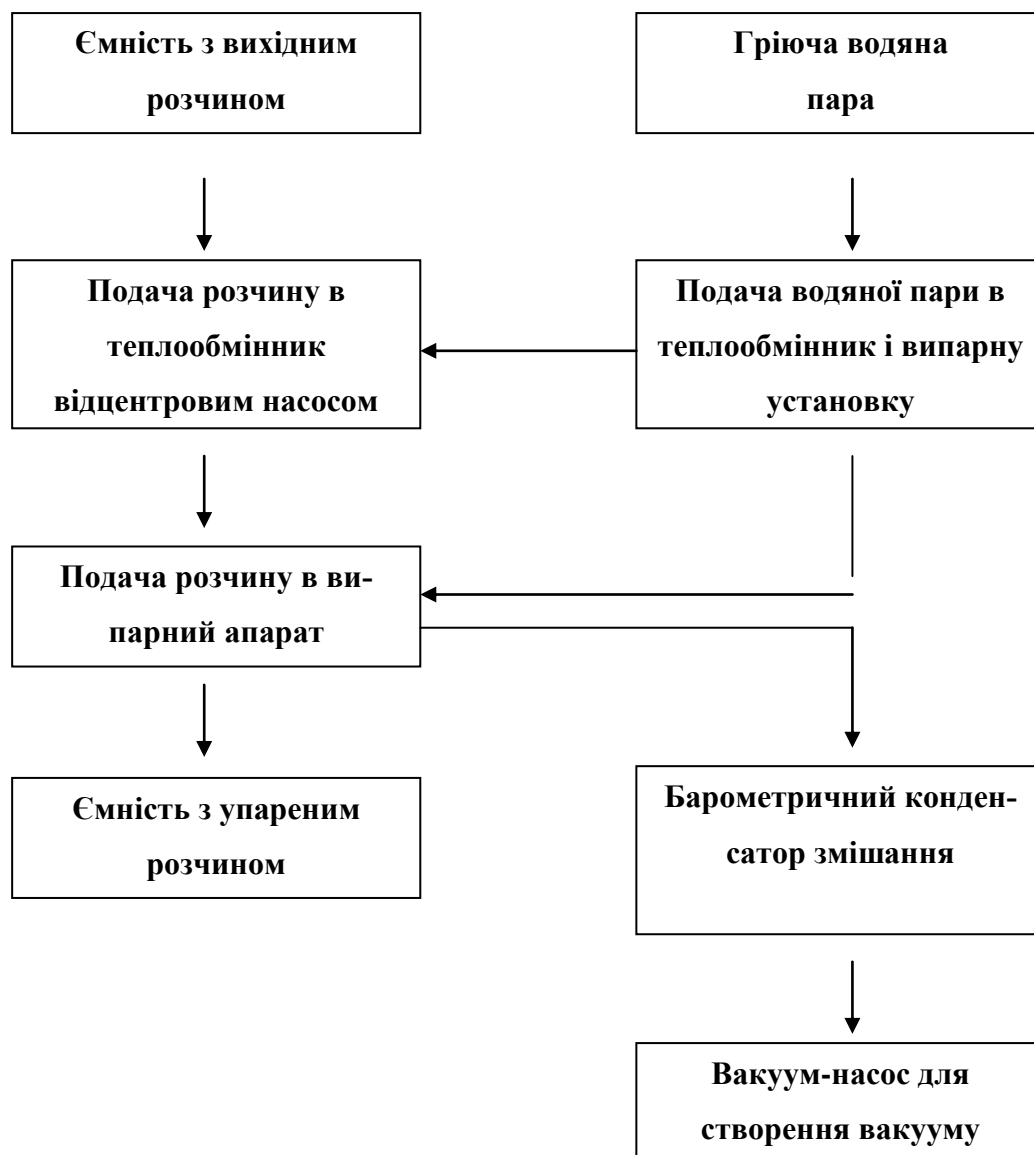
### 2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Вакуум-випарні трубчасті апарати з винесеною гріючою камерою розрізняють за такими ознаками:

- за циркуляцією – із природною і примусовою циркуляцією;
- за періодичністю роботи – періодичної і безперервної дії;
- за конструкцією – однокорпусні і багатокорпусні.

Незважаючи на різноманітність випарних трубчастих апаратів з винесеною гріючою камерою, їх можна охарактеризувати загальною схемою.

#### Схема випарювання концентрованого розчину



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

XI.B.00.00.00 ПЗ

Лист

19

Як говорилося вище, найбільшого поширення на даний час отримали однокорпусні вакуум-випарні трубчасті апарати з винесеною гріючою камерою, що обігріваються водяною парою, яка конденсується. Це обумовлено невеликими витратами на гріючу пару, достатньою продуктивністю, достатньою поверхню нагріву і простотою конструкції.

Багатокорпусні випарні апарати складаються з двох-, трьох- і більш послідовно з'єднаних корпусів, через які послідовно рухається розчин. Кожен наступний корпус обігрівається вторинною парою, що утворилася в попередньому корпусі; первинною парою обігрівається лише перший корпус. Вакуум-випарні апарати цього типу більш складні за конструкцією (і відповідно в експлуатації), ніж однокорпусні. Витрата первинної гріючої пари на випарювання розчинів в багатокорпусних апаратах знижується зі збільшенням числа корпусів. Однак, одночасно зростає сумарна температурна депресія, зменшується робоча різниця температур і, отже, збільшується сумарна поверхня нагріву апарата. Все це призводить до збільшення розмірів і вартості самого апарата, площі і кубатури виробничої будівлі, ремонту, обслуговування і т. п.

Застосування багатокорпусних вакуум-випарних установок доцільно лише для розчинів, на випарювання яких в однокорпусних апаратах витрата гріючої пари дуже велика і становить значну частку собівартості кінцевого продукту.

Як уже зазначалося, примусова циркуляція розчину може бути створена у випарному апараті будь-якої конструкції і необхідна для запобігання інкрустації поверхні нагрівання при випарюванні розчинів, що кристалізуються.

У даному проекті розчин  $TiO_2$  слабо кристалізується, тому використовуємо природну циркуляцію розчину [2].

Отже, найбільш ефективним агрегатом для випарювання розчину  $TiO_2$  є однокорпусна вакуум-випарна трубчаста установка з винесеною гріючою камерою безперервної дії з природною циркуляцією. Принципова схема такої установки представлена на рис. 2.1.

Принцип роботи такої установки полягає у наступному. Вихідний розбавлений розчин з проміжної ємності Е1 відцентровим насосом Н1 подається в теплообмінник П, де підігрівається до температури, близької до температури кипіння.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20



## 2.2 Теоретичні основи процесу

Тиск пари розчинника над розчином завжди нижче, ніж тиск над чистим розчинником. Внаслідок цього температура кипіння розчину вище температури кипіння чистого розчинника при тому ж тиску. Наприклад, вода кипить під атмосферним тиском при  $100^{\circ}\text{C}$ , оскільки тиск її пари при цій температурі дорівнює 1 ат. Для 13 % розчину  $\text{TiO}_2$  тиск водяної пари над розчином нижче 1 ат., і розчин закипить при більш високій температурі, коли тиск пари над ним досягне 1 ат.

При випарюванні під вакуумом стає можливим проводити процес при більш низьких температурах, що важливо у випадку концентрування розчинів речовин, схильних до розкладання при підвищених температурах. Крім того, при розрідженні збільшується корисна різниця температур, що дозволяє зменшити поверхню нагріву апарата, а також використовувати гріючий агент більш низької температури і тиску. Внаслідок цього випарювання під вакуумом широко застосовують для концентрування висококиплячих розчинів. Застосування вакууму дає можливість використовувати в якості гріючого агента, крім первинної пари, вторинну пару самої випарної установки. При випарюванні під тиском вище атмосферного також можна використовувати вторинну пару, що дозволяє краще використовувати тепло.

Найбільш поширені багатокорпусні випарні установки, що складаються з декількох випарних апаратів, в яких вторинна пара кожного попереднього корпусу направляється в якості гріючої в наступний корпус. При цьому тиск в послідовно з'єднаних корпусах знижується таким чином, щоб забезпечити різницю температур між вторинною парою з попереднього корпусу і розчином, що кипить у даному корпусі, тобто створити необхідну рушійну силу процесу випарювання. У цих установках первинною парою обігрівається тільки перший корпус, отже, в багатокорпусних установках досягається значна економія первинної пари, у порівнянні з однокорпусними установками тієї ж продуктивності.

За відносним рухом гріючої пари і випарюваного розчину випарні установки поділяють на кілька груп:

а) прямоточні випарні установки для розчинів, що володіють високою температурною депресією;

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- б) проти точні – для розчинів, що володіють високою в'язкістю при підвищенні їх концентрації (в цих схемах між ступеннями ставлять насоси);
- в) установки з паралельним живленням – для розчинів, які легко кристалізуються;
- г) установки з відпусткою частини вторинних парів споживачам;
- д) випарні установки зі змішаним живленням корпусів – для розчинів з підвищеною в'язкістю.

При збільшеній продуктивності (від декількох кубічних метрів на годину і вище), яка характерна для промисловості, випарювання проводять за безперервним принципом. В апаратах безперервної дії, зазвичай, створюють умови для інтенсивної циркуляції розчину, тобто у таких апаратах гідродинамічна структура потоків близька до моделі ідеального змішування. Тому концентрація розчину в таких апаратах ближче до кінцевої, що призводить до погіршення умов теплопередачі (оскільки із підвищенням концентрації розчину збільшується його в'язкість і, отже, знижується коефіцієнт тепловіддачі від стінки до розчину).

Різниця між температурами кипіння розчину ( $t$ ) і чистого розчинника ( $t_r$ ) називається **температурною депресією**

$$\Delta' = t - t_r. \quad (2.1)$$

Температурна депресія залежить від властивостей розчиненої речовини і розчинника; вона підвищується зі збільшенням концентрації розчину і тиску. Визначається температурна депресія дослідним шляхом.

Якщо відома температурна депресія при атмосферному тиску  $\Delta_{атм}$ , Можна знайти депресію і при інших тисках за наближеною формулою Тищенко:

$$\Delta' = 16,2 \cdot \frac{T^2}{r} \cdot \Delta_{атм}, \quad (2.2)$$

де  $T$  і  $r$  – відповідно абсолютна температура кипіння (в К) і теплота випарювання (в Дж/кг) для води при даному тиску.

Підвищення температури кипіння розчину визначається не тільки температурною депресією, але також гідростатичною і гідравлічною депресіями.

**Гідростатична депресія  $\Delta''$**  викликається тим, що нижні шари рідини в апараті закипають при більш високій температурі, ніж верхні (внаслідок гідростатич-

ного тиску верхніх шарів). Якщо, нагрівати при атмосферному тиску воду до температури кипіння в трубі заввишки 10 м, то верхній шар води закипить при температурі 100°C, а нижній шар, що знаходиться під тиском 2 ат. – при температурі ~120°C. У даному випадку гідростатична депресія змінюється по висоті труби від 0°C до 20°C і в середньому становить 10°C. Розрахунок гідростатичної депресії в випарних апаратах неможливий, оскільки рідина в них, в основному у вигляді парорідинної суміші, знаходиться в русі. Із підвищенням рівня рідини в апараті гідростатична депресія зростає. У середньому вона становить 1–3°C.

У апаратах з винесеною зоною кипіння як з примусовою, так і з природною циркуляцією, кипіння розчину відбувається в трубі скипання, яка встановлюється над гріючою камерою. Кипіння в трубах відбувається за рахунок гідростатичного стовпа рідини у трубі скипання.

У гріюючих трубках відбувається перегрів рідини по відношенню до температури кипіння на верхньому рівні розділення фаз, тому в цих апаратах температуру кипіння розчину визначають без урахування гідростатичних температурних втрат  $\Delta''$ .

**Гідравлічна депресія  $\Delta'''$**  враховує підвищення тиску в апараті внаслідок гідравлічних втрат при проходженні вторинної пари через ловушку і вихідний трубопровід при розрахунках  $\Delta'''$  приймають рівною 1°C.

При кипінні чистої води температурний напір дорівнює різниці температури граючої пари і температури киплячої води, яка в цьому випадку дорівнює температурі насичення вторинної пари. При кипінні розчину температура насичення вторинної пари, відповідно тиску в апараті, не змінюється, а температура кипіння розчину підвищується на величину депресії. Отже, на ту ж величину депресії зменшується і температурний напір. Таким чином, депресія викликає втрату температурного напору, внаслідок чого її називають температурної втратою.

**Повна депресія  $\Delta$**  дорівнює сумі температурної, гідростатичної і гідравлічної депресій:

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' . \quad (2.3)$$

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

Температура кипіння розчину  $t$  визначається у залежності від температури насичення вторинної пари  $t_r$ , за формулою

$$t = t_r + \Delta. \quad (2.4)$$

При випарюванні (різновид теплообмінного процесу) рушійною силою є різниця температур між гріючою парою і температурою кипіння розчину. Одночасно в процесі випарювання відбувається міжфазовий обмін речовиною (масою), пов'язаний із фазовими переходами рідкої фази в парову (для розчинника) або з рідкої фази в тверду (для розчиненої речовини при його кристалізації). Такі процеси є масообмінними, для них рушійною силою процесу може бути різниця парціальних тисків парів розчинника в розчині і над ним (для розчинника) або різниця фактичної концентрації розчиненої речовини в розчині і в умовах насичення при даній температурі (для розчиненої речовини).

### 2.3 Технологічні розрахунки

Хімічна формула водного розчину діоксиду титану –  $\text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Густина водного розчину діоксиду титану залежить від його концентрації. При розрахунку вакуум-випарних апаратів виходять із наступних припущень. Розподіл концентрацій розчину в випарному апараті з інтенсивною циркуляцією практично відповідає моделі ідеального перемішування. Тому концентрацію киплячого розчину приймають рівною кінцевої в даному корпусі і, отже, фізичні параметри розчину визначають при кінцевій концентрації.

Початкова концентрація розчину, що надходить в вакуум-випарну установку  $x_n = 12,8 \%$ , кінцева концентрація упареного розчину  $x_k = 20 \%$ . Густина 20 %-го водного розчину  $\text{TiO}_2$  при температурі  $20^\circ\text{C}$  за довідковими даними дорівнює  $\rho = 1610 \text{ кг/м}^3$ . Зміною густини з підвищенням температури від  $20^\circ\text{C}$  до температури кипіння через мале значення коефіцієнта об'ємного розширення нехтуємо.

Випарюваний розчин надходить в теплообмінник при температурі  $t_n=30^\circ\text{C}$ , де підігрівається гріючою парою до температури кипіння. Упарений розчин охолоджується в кожухотрубному холодильнику до температури  $t = 25^\circ\text{C}$ . Температуру охолоджуючої води приймаємо в інтервалі  $10\text{--}20^\circ\text{C}$ .

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25



За довідковими даними [4], використовуючи вихідні дані по тискам гріючої пари і барометричного конденсатора, знаходимо їх температури і ентальпії (див. табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Температури і ентальпії речовин у залежності від тиску

P, МПа	t, °C	I, кДж/кг
P = 0,1	t = 100	I = 2679
P <sub>0</sub> = 0,011	t <sub>0</sub> = 55	I <sub>0</sub> = 2632

Решта фізико-хімічних величин, що необхідні для розрахунків, будемо визначати по мірі виконання проекту з використанням довідкових даних або емпіричних рівнянь.

Остаточні фізико-хімічні властивості водного розчину діоксиду титану, гріючої водяної пари і охолоджувальної води зводимо в табл. 2.2.

**Розрахунок матеріального балансу випарної установки.** При випарюванні розчину відбувається випаровування вологи, але залишається незмінною кількість розчиненої речовини у вихідному і концентрованому розчинах. Отже, матеріальний баланс процесу випарювання можна представити наступними рівняннями:

$$G_n = G_k + W; \quad (2.5)$$

$$G_n x_n = G_k x_k, \quad (2.6)$$

де  $G_n$ ,  $G_k$  – відповідно масові витрати початкового (вихідного) розчину і кінцевого (упареного) розчину, кг/с;

$x_n$ ,  $x_k$  – масові частки розчиненої речовини в початковому і кінцевому розчині, %;

$W$  – масова витрата випаровуваної води, кг/с.

Із рівнянь матеріального балансу визначаємо масову витрату випаровуваної води:

$$W = G_n \left( 1 - \frac{x_n}{x_k} \right). \quad (2.7)$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$W = 5,4 \cdot \left( 1 - \frac{0,128}{0,2} \right) = 1,71 \text{ кг/с.}$$

Таблиця 2.2 – Фізико-хімічні властивості водного розчину діоксиду титану, гріючої водяної пари і охолоджувальної води

Найменування показника	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
1. Хімічна формула	–	–	TiO <sub>2</sub>
2. Густина 20% -го водного розчину TiO <sub>2</sub>	ρ	кг/м <sup>3</sup>	1610
3. Початкова концентрація розчину	x <sub>н</sub>	%	12,8
4. Кінцева концентрація розчину	x <sub>к</sub>	%	20
5. Температура вихідного розчину	t <sub>н</sub>	°C	30
6. Температура охолоджуючої води	t <sub>води</sub>	°C	15
7. Температура охолодженого упареного розчину	t <sub>охл</sub>	°C	35
8. Тиск гріючої пари (надлишковий)	P	МПа	0,1
9. Тиск пари в барометричному конденсаторі (вакуум)	P <sub>0</sub>	МПа	0,011
10. Температура гріючої пари	t <sub>г.п.</sub>	°C	100
11. Продуктивність	G <sub>н</sub>	кг/с	5,4
12. Ентальпія граючої пари	I <sub>г.п.</sub>	кДж/кг	2679
13. Ентальпія пари в барометричному конденсаторі	I <sub>0</sub>	кДж/кг	2632

Із рівнянь матеріального балансу визначаємо масову витрату кінцевого (упареного) розчину:

$$G_{\text{к}} = G_{\text{н}} - W; \quad (2.8)$$

$$G_{\text{к}} = \frac{G_{\text{н}} x_{\text{н}}}{x_{\text{к}}}; \quad (2.9)$$

$$G_{\text{к}} = 5,4 - 1,71 = 3,046 \text{ кг/с};$$

$$G_{\text{к}} = \frac{5,4 \cdot 0,128}{0,2} = 3,046 \text{ кг/с}.$$

**Розрахунок температурних депресій.** При визначенні температури кипіння розчинів в апаратах виходять із наступних припущень. Розподіл концентрацій розчину у випарному апараті з інтенсивною циркуляцією практично відповідає моделі ідеального перемішування. Тому концентрацію киплячого розчину приймають рівною кінцевої в даному корпусі і, отже, температуру кипіння розчину визначають при кінцевій концентрації.

Зміна температури кипіння по висоті кип'ятильних труб відбувається внаслідок зміни гідростатичного тиску стовпа рідини. Температуру кипіння розчину в корпусі приймають відповідній температурі кипіння в середньому шарі рідини. Таким чином, температура кипіння розчину в корпусі відрізняється від температури гріючої пари на суму температурних втрат: від температурної, гідростатичної і гідравлічної депресій [3].

**Температурні втрати від гідравлічних опорів.** Гідравлічна депресія обумовлена втратою тиску пари на подолання гідравлічних опорів трубопроводів. За практичними даними величину гідравлічної депресії приймають рівною 0,5–1,5°C на корпус. Приймаємо величину гідравлічної депресії рівною  $\Delta t_{r.c.} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Знаючи величину гідравлічної депресії, визначаємо температуру гріючої пари в сепараторі випарного апарата з рівняння:

$$t_1 = t_0 + \Delta t_{r.c.}, \quad (2.10)$$

де  $t_0$  – температура пари в барометричному конденсаторі, °C;

$\Delta t_{r.c.}$  – величина гідравлічної депресії, °C.

$$t_1 = 55 + 1 = 56 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Знаючи температуру гріючої пари в сепараторі, за довідковими даними знаходимо тиск в паровому просторі сепаратора, який дорівнює  $P_1 = 0,011 \text{ МПа}$  [4].

**Температурні втрати від концентраційної (температурної) депресії.** За довідковими даними знаходимо, що 20%-ий водний розчин  $\text{TiO}_2$  під атмосферним тиском  $P'_1 = 101300 \text{ Па}$  кипить при температурі 110,6 °C. При цій температурі тиск насиченої пари води становить  $P'_b = 146 \text{ 460 Па}$  [5].

Визначаємо відношення тисків пари над розчином і води при одній і тій же температурі 110,6 °C:

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						28
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$\left(\frac{P_1'}{P_B'}\right)_{110,6} = \frac{101300}{146460} = 0,69. \quad (2.11)$$

Згідно з правилом [8], це відношення зберігає постійне значення при всіх температурах кипіння розчину.

Для шуканої температури кипіння розчину при  $P_1 = 0,011$  МПа визначимо тиск води:

$$\left(\frac{P_1}{P_B}\right)_t = \frac{0,041}{P_B} = 0,69, \quad (2.12),$$

звідки

$$P_B = \frac{0,011}{0,69} = 0,017 \text{ МПа},$$

чому відповідає за довідковими даними температура кипіння води  $57^\circ\text{C}$ . Цю ж температуру кипіння матиме і 20%-ий водний розчин  $\text{TiO}_2$  при тиску над розчином  $P_1 = 0,011$  МПа [4].

**Температурні втрати від гідростатичного ефекту.** Гідростатична депресія обумовлена різницею тисків в середньому шарі киплячого розчину і на його поверхні. Тиск в середньому шарі киплячого розчину визначається за рівнянням:

$$P_{\text{cp}} = \frac{P_1 + \rho g H (1 - \varepsilon)}{2}, \quad (2.13)$$

де  $P_1$  – тиск пари в паровому просторі сепаратора, Па;

$\rho$  – щільність киплячого розчину,  $\text{кг/м}^3$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$H$  – висота кип'ятильних труб в апараті, м;

$\varepsilon$  – питома об'ємна частка пари в киплячому розчині,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Для вибору значення висоти кип'ятильних труб апарата необхідно орієнтовно оцінити поверхню теплопередачі випарного апарата. При кипінні водних розчинів для апаратів з природною циркуляцією по практичним даним величина питомого теплового навантаження дорівнює  $20000\text{--}50000$   $\text{Вт/м}^2$ . Приймаємо питома теплове навантаження рівним  $q = 40000$   $\text{Вт/м}^2$ . Тоді поверхня теплопередачі апарата орієнтовно складе:

$$F_{\text{оп}} = \frac{Q}{q} = \frac{W \cdot r_1}{q}, \quad (2.14)$$

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $Q$  – теплове навантаження, Вт;

$W$  – масова витрата води, що випаровується, кг/с;

$q$  – питоме теплове навантаження, Вт/м<sup>2</sup>;

$r_1$  – теплота пароутворення гріючої пари в сепараторі при тиску  $P_1 = 0,011$  МПа; за довідковими даними  $r_1 = 2368,2$  кДж/кг [4].

$$F_{op} = \frac{1,71 \cdot 2368,2 \cdot 10^3}{40000} = 101,24 \text{ м}^2.$$

Трубчаті апарати з природною циркуляцією і винесеною гріючою камерою при  $F_{op} = 112 \text{ м}^2$  складаються з кип'ятильних труб висотою 4 і 5 м при діаметрі  $d_n = 38$  мм і товщиною стінки  $\delta_{ст} = 2$  мм. Приймаємо висоту кип'ятильних труб 5 м.

При бульбашковому (ядерному) режимі кипіння за практичними даними паронаповнення становить 0,4–0,6. Приймаємо паронаповнення рівним  $\varepsilon = 0,5$ . Густина 20 %-го водного розчину  $TiO_2$  при температурі 20 °С за довідковими даними  $\rho = 1610$  кг/м<sup>3</sup> [5].

При визначенні густини розчину в корпусі нехтуємо зміною її з підвищенням температури від 20 °С до температури кипіння через мале значення коефіцієнта об'ємного розширення і орієнтовно прийнятого значення  $\varepsilon$ .

Гідростатичний тиск в середньому шарі кип'ятильних труб корпусу:

$$P_{cp} = \frac{0,011 \cdot 10^6 + 1610 \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot (1 - 0,5)}{2} = 43013 \text{ Па} = 0,043 \text{ МПа}.$$

Температура кипіння води при тиску  $P_{cp} = 0,043$  МПа за довідковими даними становить  $t_{cp} = 79$  °С [4].

Визначаємо гідростатичну депресію за рівнянням:

$$\Delta t_{г.эф.} = t_{cp} - t_1, \quad (2.15)$$

де  $t_{cp}$  – температура кипіння води при гідростатичному тиску, °С;

$t_1$  – температура гріючої пари в сепараторі випарного апарата, °С.

$$\Delta t_{г.эф.} = 79 - 56 = 23 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Загальна сума температурних депресій (втрат) складе:

$$\sum \Delta t_{пот} = \Delta t_{г.с.} + \Delta t_{г.эф.}, \quad (2.16)$$

										Лист
										30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

де  $\Delta t_{г.с.}$  – величина гідравлічної депресії, °С;

$\Delta t_{г.еф.}$  – величина гідростатичної депресії, °С.

$$\sum \Delta t_{пот} = 1 + 23 = 24 \text{ } ^\circ \text{C}.$$

**Визначення температури кипіння розчину.** Температура кипіння розчину є найважливішим параметром процесу його випарювання. Температура кипіння розчину вища за температуру кипіння чистого розчинника.

Знаючи показники температурних депресій, визначаємо температуру кипіння розчину на середньому рівні кип'ятильних труб за формулою:

$$t_{кип} = t_0 + \Delta t_{г.с.} + \Delta t_{г.еф.}, \quad (2.17)$$

де  $t_0$  – температура пари в барометричному конденсаторі, °С;

$\Delta t_{г.с.}$  – величина гідравлічної депресії, °С;

$\Delta t_{депр}$  – величина концентраційної депресії, °С;

$\Delta t_{г.еф.}$  – величина гідростатичної депресії, °С.

Підставивши значення, отримаємо:

$$t_{кип} = 55 + 1 + 23 = 79 \text{ } ^\circ \text{C}.$$

Співвідношення температур в однокорпусній вакуум-випарній установці повинно задовольняти наступні умови:

$$t_{г.п.} > t_{кип} > t_{сп} > t_1 > t_0, \quad (2.18)$$

де  $t_{г.п.}$  – температура гріючої пари, °С;

$t_{кип}$  – температура кипіння розчину на середньому рівні кип'ятильних труб, °С;

$t_{сп}$  – температура кипіння води при гідростатичному тиску, °С;

$t_1$  – температура гріючої пари в сепараторі випарного апарата, °С;

$t_0$  – температура пари в барометричному конденсаторі, °С.

Підставивши значення, отримаємо:

$$100 > 80 > 79 > 56 > 55,$$

що задовольняє необхідній умові.

Визначаємо загальну різницю температур за формулою:

$$\Delta t_{общ} = t_{г.п.} - t_0, \quad (2.19)$$

де  $t_{г.п.}$  – температура гріючої пари, °С;

$t_0$  – температура пари в барометричному конденсаторі, °С.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

$$\Delta t_{\text{общ}} = 100 - 55 = 45^{\circ}\text{C}.$$

Корисна різниця температур буде дорівнювати:

$$\Delta t_{\text{пол}} = \Delta t_{\text{общ}} - \sum \Delta t_{\text{пот}} ; \quad (2.20)$$

$$\Delta t_{\text{пол}} = t_{\text{г.п.}} - t_{\text{кип}} , \quad (2.21)$$

де  $\Delta t_{\text{общ}}$  – загальна різниця температур,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\sum \Delta t_{\text{пот}}$  – загальна сума температурних депресій,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{г.п.}}$  – температура гріючої пари,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{кип}}$  – температура кипіння розчину на середньому рівні кип'ятильних труб,  $^{\circ}\text{C}$ .

$$\Delta t_{\text{пол}} = 45 - 24 = 21^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{пол}} = 100 - 79 = 21^{\circ}\text{C}.$$

**Розрахунок теплового балансу випарної установки.** За принциповою схемою однокорпусної випарної установки – вихідний розбавлений розчин, нагрітий до температури, близької до температури кипіння в теплообміннику, надходить в корпус випарної установки.

Теплота, необхідна для кипіння (розпарювання) розчину, підводиться за допомогою водяної пари. Із огляду на усі втрати, що надходять (з розведеним розчином і водяною парою) і втрати теплоти в навколишній простір (з упареним розчином і вторинною парою на виході), отримуємо рівняння теплового балансу:

$$Q + G_{\text{н}} c_{\text{н}} t_{\text{н}} = G_{\text{к}} c_{\text{к}} t_{\text{к}} + W I_{\text{вп}} + Q_{\text{пот}} \pm Q_{\text{д}} , \quad (2.22)$$

де  $Q$  – витрата теплоти на випарювання, Вт;

$G_{\text{н}}$ ,  $G_{\text{к}}$  – відповідно масові витрати початкового (вихідного) розчину і кінцевого (упареного) розчину, кг/с;

$c_{\text{н}}$ ,  $c_{\text{к}}$  – відповідно питома теплоємність початкового (вихідного) і кінцевого (упареного) розчину, Дж/(кг·К);

$t_{\text{н}}$ ,  $t_{\text{к}}$  – відповідно температура початкового розчину на вході в апарат і кінцевого на виході з апарата,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  – масова витрата води, що випаровується, кг/с;

$I_{\text{вп}}$  – питома ентальпія вторинної пари на виході з сепараційного простору випарного апарата, Дж/кг;

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$Q_{\text{пот}}$  – витрата теплоти на компенсацію втрат у навколишнє середовище, Вт (при розрахунку випарних апаратів величину витрат теплоти на компенсацію втрат у навколишнє середовище зазвичай приймають у розмірі 3–5 %).

Приймаємо  $Q_{\text{пот}} = 5 \%$ ;

$Q_{\text{д}}$  – теплота дегідратації, Вт (зазвичай ця величина, у порівнянні з іншими статтями теплового балансу, мала і нею можна знехтувати).

Температуру початкового розчину на вході в апарат визначаємо за формулою:

$$t_{\text{н}} = t_1 + \Delta t'_{\text{депр}}; \quad (2.23)$$

$$t_{\text{н}} = 55 + 2 = 57^\circ \text{C}.$$

Визначаємо питому теплоємність початкового розчину за рівнянням:

$$c_{\text{н}} = 4190 \cdot (1 - x_{\text{н}}), \quad (2.24)$$

де  $x_{\text{н}}$  – масова частка розчиненої речовини в початковому розчині.

$$c_{\text{н}} = 4190 \cdot (1 - 0,128) = 3654 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}.$$

Із рівняння теплового балансу випарного апарата визначаємо витрату теплоти на випарювання:

$$Q = G_{\text{н}} c_{\text{н}} (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) + W(I_{\text{вп}} - c_{\text{в}} t_{\text{к}}) + Q_{\text{пот}}, \quad (2.25)$$

$$Q = 1,05 \cdot [4,756 \cdot 3654 \cdot (79 - 57) + 1,71 \cdot (2644 \cdot 10^3 - 4190 \cdot 79)] = 4554415 \text{ Вт}.$$

Визначаємо витрату гріючої пари за формулою:

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{Q}{x \cdot r_{\text{г.п.}}}, \quad (2.26)$$

де  $x$  – ступінь сухості гріючої пари, %.

$$G_{\text{г.п.}} = \frac{4554415}{0,95 \cdot 2100 \cdot 10^3} = 2,28 \text{ кг/с}.$$

Звідки питома витрата гріючої пари дорівнює:

$$d = \frac{G_{\text{г.п.}}}{W}; \quad (2.27)$$

$$d = \frac{2,28}{1,71} = 1,33 \text{ кг/кг}.$$

**Тепловий розрахунок гріючої камери.** Мета теплового розрахунку гріючої камери випарного апарата – розрахувати коефіцієнт теплопередачі і на підста-

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33



ві основного рівняння теплопередачі визначити поверхню теплообміну гріючої камери для вибору випарного апарата за каталогом.

Коефіцієнт теплопередачі визначається за рівнянням адитивності термічних опорів:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.28)$$

де  $\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\sum \frac{\delta}{\lambda}$  – сумарний термічний опір, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Прийнемо, що сумарний термічний опір дорівнює термічному опору стінки  $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$  і накипу  $\frac{\delta_{н}}{\lambda_{н}}$ . Термічний опір забруднень з боку пари не враховуємо.

Тоді отримаємо:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{н}}{\lambda_{н}}, \quad (2.29)$$

де  $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$  – термічний опір стінки, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$\frac{\delta_{н}}{\lambda_{н}}$  – термічний опір накипу, (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,002}{25,1} + \frac{0,0005}{2} = 0,0003296 = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{·К)/Вт.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки визначається за формулою:

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{r_1 \cdot \rho_p^2 \cdot \lambda_p^3}{\mu_p \cdot H \cdot \Delta t_1}}, \quad (2.30)$$

де  $r_1$  – теплота конденсації гріючої пари, Дж/кг;

$\rho_p$  – густина конденсату при середній температурі плівки, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda_p$  – теплопровідність конденсату при середній температурі плівки, Вт/(м·К);

$\mu_p$  – динамічна в'язкість конденсату при середній температурі плівки, Па·с;

$H$  – висота кип'ятільних труб в апараті, м;

$\Delta t_1$  – різниця температур конденсації пари і стінки, °С.

					Лист
					34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	XI.B.00.00.00 ПЗ

Середня температура плівки визначається за формулою:

$$t_{пл} = t_{г.п.} - \frac{\Delta t_1}{2}. \quad (2.31)$$

Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки ведемо методом послідовних наближень. У першому наближенні прийmemo  $\Delta t_1 = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Тоді:

$$t_{пл} = 100 - \frac{2}{2} = 99 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2100 \cdot 10^3 \cdot 943^2 \cdot 0,686^3}{231 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 2}} = 8199 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Для усталеного процесу передачі тепла справедливе рівняння:

$$q = \alpha_1 \Delta t_1 = \frac{\Delta t_{ст}}{\sum \frac{\delta}{\lambda}} = \alpha_2 \Delta t_2. \quad (2.32)$$

Із рівняння (2.32) отримуємо:

$$\Delta t_{ст} = \alpha_1 \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda}; \quad (2.33)$$

$$\Delta t_{ст} = 8199 \cdot 2 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 5,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Звідки визначаємо різницю між температурою стінки з боку розчину і температурою кипіння розчину за формулою:

$$\Delta t_2 = \Delta t_{пол} - \Delta t_{ст} - \Delta t_1, \quad (2.34)$$

$$\Delta t_2 = 21 - 5,4 - 2 = 13,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину для бульбашкового кипіння у вертикальних кип'ятильних трубках за умови природної циркуляції розчину визначаємо за формулою:

$$\alpha_2 = 780 \cdot (\alpha_1 \Delta t_1)^{0,6} \frac{\lambda^{1,3} \cdot \rho^{0,5} \cdot \rho_{г.п.}^{0,06}}{\sigma^{0,5} \cdot r_B^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c^{0,3} \cdot \mu^{0,3}}, \quad (2.35)$$

$\sigma$  – поверхневий натяг розчину, Н/м;

$r_B$  – теплота пароутворення, Дж/кг.

Розподіл температур в процесі теплопередачі від пари через стінку до киплячого розчину показано на рис. 2.2.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						35
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

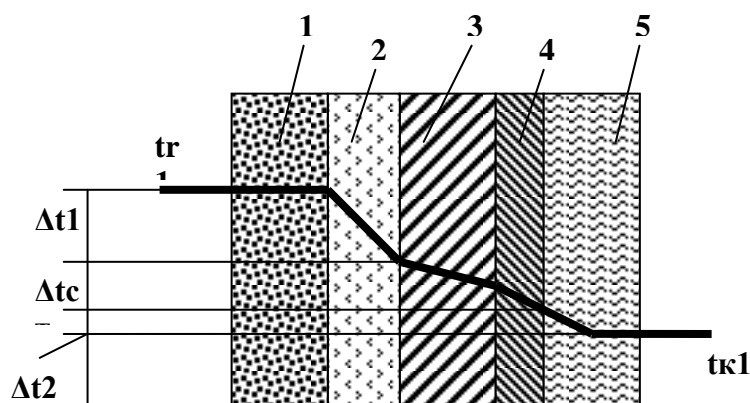


Рисунок 2.2 – Розподіл температур в процесі теплопередачі від пари через стінку до киплячого розчину: 1 – пара; 2 – конденсат; 3 – стінка; 4 – накип; 5 – розчин

Підставивши чисельні значення, отримуємо:

$$\alpha_2 = 780 \cdot (8199 \cdot 2)^{0,6} \cdot \frac{0,61^{1,3} \cdot 1610^{0,5} \cdot 0,42^{0,06}}{0,074^{0,5} \cdot (2100 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3654^{0,3} \cdot (2,7 \cdot 10^{-3})^{0,3}};$$

$$\alpha_2 = 7,3 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 7,3 \cdot (8199 \cdot 2)^{0,6} = 1555 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень:

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1; \quad (2.36)$$

$$q' = 8199 \cdot 2 = 16398 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \Delta t_2; \quad (2.37)$$

$$q'' = 1555 \cdot 13,6 = 21148 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Як бачимо,  $q' \neq q''$ , тому для другого наближення прийmemo  $\Delta t_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Нехтуючи зміною фізичних властивостей конденсату при зміні температури на  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ , розрахуємо  $\alpha_1$  за таким співвідношенням:

$$\alpha_1 = 8199 \cdot \sqrt[4]{\frac{2}{5}} = 6520 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Отримаємо:

$$\Delta t_{\text{cr}} = 6520 \cdot 5 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 10,75 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 21 - 10,75 - 5 = 5,25 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$q' = 6520 \cdot 5 = 32600 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 2349 \cdot 5,25 = 12332 \text{ Вт/м}^2.$$

Як бачимо, знову  $q' \neq q''$ , тому для розрахунку в третьому наближенні будемо графічну залежність питомого теплового навантаження  $q$  від різниці температур між парою і стінкою корпусу і визначаємо  $\Delta t_1$  (рис. 2.3).

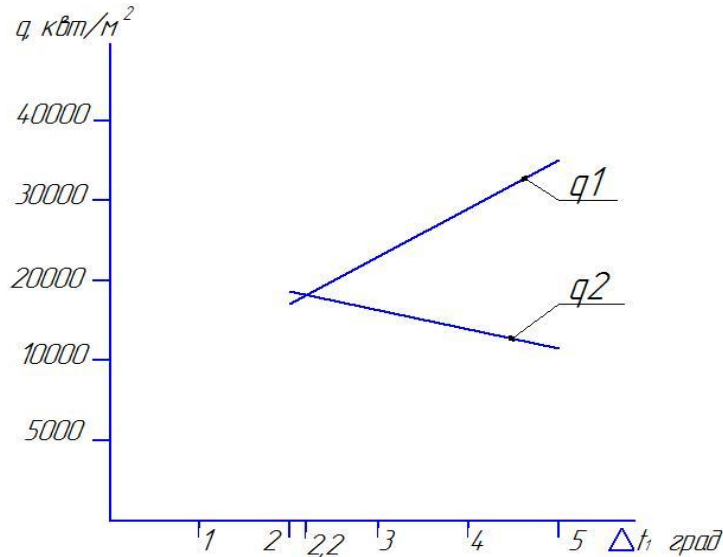


Рисунок 2.3 – Залежність питомого теплового навантаження від різниці температур

Із графічної залежності питомого теплового навантаження  $q$  від різниці температур між парою і стінкою корпусу  $\Delta t_1 = 2,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Тоді отримаємо:

$$\alpha_1 = 8199 \cdot 4 \sqrt{\frac{2}{2,2}} = 8006 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$\Delta t_{cr} = 8006 \cdot 2,2 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 5,9 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = 21 - 5,9 - 2,2 = 12,9 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_2 = 7,3 \cdot (8006 \cdot 2,2)^{0,6} = 2575 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$q' = 8006 \cdot 2,2 = 17613 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 1499 \cdot 12,9 = 193337 \text{ Вт/м}^2.$$

Як бачимо,  $q' \approx q''$ . Оскільки розбіжність між тепловими навантаженнями не перевищує 3 %, розрахунок коефіцієнтів  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  на цьому закінчуємо.

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі за рівнянням (2.28):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8006} + 3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2575}} = 2568 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

					<b>XI.B.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Конструктивні розрахунки

На підставі основного рівняння теплопередачі визначаємо поверхню теплообміну гріючої камери:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{пол}}}, \quad (2.38)$$

$$F = \frac{4554 \cdot 10^3}{1497} = 177 \text{ м}^2.$$

Вибираємо випарний апарат з такими характеристиками:

Номінальна поверхню теплообміну	180 м <sup>2</sup>
Діаметр труб	38×2 мм
Висота труб	5000 мм
Діаметр гріючої камери	1200 мм
Діаметр сепаратора	2400 мм
Діаметр циркуляційної труби	700 мм
Загальна висота апарата	13500 мм
Маса апарата	12000 кг

**Визначення товщини теплової ізоляції.** Товщина теплової ізоляції визначається з рівності питомих теплових потоків через шар ізоляції від поверхні ізоляції в навколишнє середовище:

$$\alpha_{\text{в}} (t_{\text{ст2}} - t_{\text{в}}) = \left( \frac{\lambda_{\text{н}}}{\delta_{\text{н}}} \right) (t_{\text{ст1}} - t_{\text{ст2}}), \quad (2.39)$$

де  $\alpha_{\text{в}}$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляційного матеріалу в навколишнє середовище, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$t_{\text{в}}$  – температура навколишнього середовища (повітря), °С. Приймаємо рівною 20 °С;

$t_{\text{ст1}}$  – температура ізоляції з боку апарата; зважаючи на незначний термічний опір стінки апарата, у порівнянні з термічним опором шару ізоляції, приймають рівною температурі гріючої пари, °С;

$t_{\text{ст2}}$  – температура ізоляції з боку навколишнього середовища (повітря), °С;

$\lambda_{\text{н}}$  – коефіцієнт теплопровідності ізоляції, Вт/(м·К);

$\delta_{\text{н}}$  – товщина теплової ізоляції, м.

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні ізоляційного матеріалу в навколишнє середовище визначаємо за формулою:

$$\alpha_{\text{в}} = 9,3 + 0,058 \cdot t_{\text{ст2}}. \quad (2.40)$$

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для апаратів, що працюють в закритому приміщенні значення  $t_{ct2}$  вибирають в інтервалі 35–45 °С.

Приймаємо  $t_{ct2} = 40$  °С. Тоді:

$$\alpha_b = 9,3 + 0,058 \cdot 40 = 11,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

У якості матеріалу для теплової ізоляції вибираємо совеліт (85 % магнезії + 15 % азбесту), який має коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_n = 0,09 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Тоді, з рівності питомих теплових потоків через шар ізоляції від поверхні ізоляції в навколишнє середовище, визначаємо товщину теплової ізоляції за рівнянням:

$$\delta_n = \frac{\lambda_n (t_{ct1} - t_{ct2})}{\alpha_b (t_{ct2} - t_b)}; \quad (2.41)$$

$$\delta_n = \frac{0,09 \cdot (100 - 40)}{11,6 \cdot (40 - 20)} = 0,024 \text{ м.}$$

**Визначення діаметра штуцерів.** Штуцери виготовляють зі сталевих труб необхідного розміру. Застосовують труби наступних діаметрів: 14, 16, 18, 20, 22, 25, 32, 38, 45, 48, 57, 70, 76, 90, 95, 108, 133, 159, 194, 219, 245, 273, 325, 377, 426.

Діаметр штуцера для розведеного розчину:

$$d = \sqrt{\frac{G_n}{\rho_n \cdot 0,785 \cdot w_n}} = \sqrt{\frac{17121,6}{1610 \cdot 0,785 \cdot 1 \cdot 3600}} = 0,061 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для упареного розчину:

$$d = \sqrt{\frac{G_k}{\rho_k \cdot 0,785 \cdot w_k}} = \sqrt{\frac{6156}{1610 \cdot 0,785 \cdot 1 \cdot 3600}} = 0,037 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для введення грійучої пари в корпусі:

$$d_n = \sqrt{\frac{D}{\rho_n \cdot 0,785 \cdot w_n'}}$$

де  $D$  – витрата пари, кг/с;

$\rho_n$  – густина пари при її тиску, кг/м<sup>3</sup> (при 0,1 МПа  $\rho_n = 0,598$  кг/м<sup>3</sup>).

$$d_n = \sqrt{\frac{1,33}{0,598 \cdot 0,785 \cdot 40}} = 0,226 \text{ м}$$

					<b>XI.B.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.5 Визначення гідравлічного опору апарата

Об'ємна витрата розчину:

$$V = \frac{G_H}{\rho}; \quad (2.42)$$

$$V = \frac{5,4}{1610} = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Дійсна швидкість розчину:

$$\omega = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 2,9 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 0,7^2} = 0,00075 \text{ м/с}. \quad (2.43)$$

Величина критерію Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot D \cdot \rho}{\mu}; \quad (2.44)$$

$$\text{Re} = \frac{0,00075 \cdot 0,7 \cdot 1610}{0,51 \cdot 10^{-3}} = 1657.$$

Отже, режим руху – ламінарний.

Для ламінарного режиму в круглих трубах коефіцієнт тертя визначається:

$$\lambda = \frac{75}{\text{Re}}; \quad (2.45)$$

$$\lambda = \frac{75}{1657} = 0,045.$$

Втрата тиску на тертя в прямих трубах

$$\Delta p_{mp} = \lambda \cdot \frac{H}{D} \cdot \frac{\omega^2}{2 \cdot g}; \quad (2.46)$$

$$\Delta p_{mp} = 0,045 \cdot \frac{4}{0,7} \cdot \frac{0,00075^2}{2 \cdot 9,81} = 9,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па}.$$

Коефіцієнти місцевих опорів:

- вхід і вихід з труби  $\xi_1 = 1,0$ ;

- поворот на  $90^\circ$   $\xi_2 = 1,0$ .

Втрати тиску на місцеві опори:

$$\Delta p_m = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}; \quad (2.47)$$

$$\Delta p_m = (2 \cdot 1,0 + 1,0) \cdot \frac{0,00075^2 \cdot 1610}{2} = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ Па}.$$

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Прийmemo температуру води на виході з конденсатора на 4 °C нижче температури конденсації пари. Тоді:

$$t_{\text{в.к.}} = t_{\text{б.к.}} - 4, \quad (2.51)$$

де  $t_{\text{б.к.}}$  – температура пари в барометричному конденсаторі, °C.

$$t_{\text{в.к.}} = 56 - 4 = 52 \text{ °C.}$$

Звідки

$$G_{\text{в}} = \frac{1,71 \cdot (2632000 - 4190 \cdot 52)}{4190 \cdot (52 - 20)} = 30,8 \text{ кг/с.}$$

Діаметр барометричного конденсатора визначаємо з рівняння витрати:

$$d_{\text{б.к.}} = \sqrt{\frac{4W}{\rho v_{\text{п}}}}. \quad (2.52)$$

При залишковому тиску в конденсаторі близько 104 Па, швидкість парів знаходиться в інтервалі 15–25 м/с [3]. Приймаємо швидкість парів 20 м/с. Тоді:

$$d_{\text{б.к.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,47}{0,24 \cdot 3,14 \cdot 15}} = 1,1 \text{ м.}$$

Вибираємо барометричний конденсатор діаметром  $d_{\text{б.к.}} = 1200 \text{ мм}$ .

Внутрішній діаметр барометричної труби становить 200 мм [3]. Знаючи внутрішній діаметр барометричної труби, визначаємо швидкість води в барометричній трубі за рівнянням:

$$v_{\text{в}} = \frac{4(G_{\text{в}} + W)}{\rho_{\text{в}} \pi d_{\text{б.т.}}^2}; \quad (2.53)$$

$$v_{\text{в}} = \frac{4 \cdot (30,8 + 1,71)}{1200 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2} = 0,86 \text{ м/с.}$$

Висота барометричної труби залежить від величини вакууму (розрідження) в конденсаторі і визначається за рівнянням:

$$H_{\text{б.т.}} = H_0 + H_{\text{г.с.}} + 0,5. \quad (2.54)$$

де  $H_0$  – висота, на яку піднімається вода в барометричній трубі, м;

$H_{\text{г.с.}}$  – величина втраченого напору внаслідок гідравлічних опорів, м;

0,5 – запас висоти на можливу зміну барометричного тиску, м.

Висота, на яку піднімається вода в барометричній трубі визначається за формулою:

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_0 = \frac{B}{\rho_b g}, \quad (2.55)$$

де  $B$  – вакуум в барометричному конденсаторі, Па;

$g$  – прискорення вільного падіння, м<sup>2</sup>/с;

$\rho_b$  – густина води, кг/м<sup>3</sup>.

Величина втраченого напору внаслідок гідравлічних опорів розраховується за рівнянням:

$$H_{г.с.} = \left( 1 + \sum \xi + \lambda \frac{H_{б.т.}}{d_{б.т.}} \right) \frac{v_b^2}{2g}, \quad (2.56)$$

де  $\sum \xi$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

$\lambda$  – коефіцієнт тертя в барометричній трубі;

$H_{б.т.}$  – висота барометричної труби, м;

$d_{б.т.}$  – внутрішній діаметр барометричної труби, м;

$v_b$  – швидкість води в барометричній трубі, м/с;

$g$  – прискорення вільного падіння, м<sup>2</sup>/с.

Тоді висоту барометричної труби визначимо за рівнянням:

$$H_{б.т.} = \frac{B}{\rho_b g} + \left( 1 + \sum \xi + \lambda \frac{H_{б.т.}}{d_{б.т.}} \right) \frac{v_b^2}{2g} + 0,5. \quad (2.57)$$

Вакуум в барометричному конденсаторі визначаємо за рівнянням:

$$B = P_{атм} - P_0, \quad (2.58)$$

де  $P_{атм}$  – атмосферний тиск, Па;

$P_0$  – тиск в барометричному конденсаторі, Па.

$$B = 9,8 \cdot 10^4 - 1,1 \cdot 10^4 = 8,7 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\sum \xi = \xi_{вх} + \xi_{вих}, \quad (2.59)$$

де  $\xi_{вх}$ ,  $\xi_{вих}$  – коефіцієнти місцевих опорів на вході в трубу і на виході з неї, рівні відповідно 0,5 і 1,0.

$$\sum \xi = 0,5 + 1,0 = 1,5.$$

Коефіцієнт тертя залежить від режиму течії рідини в барометричній трубі.

Визначимо режим течії води в барометричній трубі за рівнянням:

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Re = \frac{v_B d_{б.т.} \rho_B}{\mu_B}; \quad (2.60)$$

$$Re = \frac{0,86 \cdot 1,2 \cdot 1000}{0,54 \cdot 10^{-3}} = 191111.$$

За довідковими даними [4] для гладких труб при  $Re = 191111$  коефіцієнт тертя дорівнює  $\lambda = 0,024$ .

Підставивши в рівняння (1.57) зазначені значення, отримаємо:

$$H_{б.т.} = \frac{1,91 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9,8} + \left(1 + 1,5 + 0,024 \cdot \frac{H_{б.т.}}{0,2}\right) \cdot \frac{1,04^2}{2 \cdot 9,8} + 0,5.$$

Звідки  $H_{б.т.} = 8,4$  м.

**Розрахунок і вибір вакуум-насоса.** Розрахунок вакуум-насоса полягає у визначенні кількості повітря і його об'єму, відкачуваного вакуум-насосом з барометричного конденсатора.

Продуктивність вакуумного насоса або кількість повітря, відкачуваного вакуум-насосом з барометричного конденсатора, визначаємо за формулою:

$$G_{возд} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (W + G_B) + 0,01 \cdot W. \quad (2.61)$$

де  $2,5 \cdot 10^{-5}$  – кількість повітря, що виділяється з 1 кг води;

$G_B$  – витрата охолоджуючої води в барометричному конденсаторі, кг/с;

$W$  – масова витрата води, що випаровується, кг/с;

0,01 – кількість повітря, що підсмоктується в конденсатор через нещільності, на 1 кг парів.

Підставивши чисельні значення, отримуємо:

$$G_{возд} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (1,71 + 30,8) + 0,01 \cdot 1,71 = 0,013 \text{ кг/с.}$$

Об'ємна продуктивність вакуум-насоса

$$V_B = \frac{R \cdot (273 + t_B) \cdot G_B}{M_B \cdot P_B}, \quad (2.62)$$

де  $R$  – універсальна газова постійна, Дж/(кмоль · К);

$M_B$  – молекулярна маса повітря, кг/кмоль;

$t_B$  – температура повітря, °С;

$P_B$  – парціальний тиск сухого повітря в барометричному конденсаторі, Па.

Температура повітря:

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						44
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$t_{\text{в}} = t_{\text{н}} + 4 + 0,1 \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) = 20 + 4 + 0,1 \cdot (52 - 20) = 27,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (2.63)$$

Тиск повітря:

$$P_{\text{в}} = P_{\text{бк}} - P_{\text{п}}, \quad (2.64)$$

де  $P_{\text{п}}$  – тиск сухої насиченої пари при  $t_{\text{в}}$ , Па.

При температурі повітря 27,2 °С:

$$P_{\text{п}} = 0,0376 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$P_{\text{в}} = (0,11 - 0,0411) \cdot 9,8 \cdot 10^4 = 0,67 \cdot 10^4 \text{ Па}.$$

Тоді:

$$V_{\text{в}} = \frac{8310 \cdot (273 + 27,2) \cdot 13 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 0,67 \cdot 10^4} = 0,167 \text{ м}^3/\text{с} = 10,02 \cdot \text{м}^3/\text{хв}.$$

Знаючи об'ємну продуктивність повітря і залишковий тиск в конденсаторі, за каталогом підбираємо вакуум-насос типу ВВН-12, потужність якого на валу  $N = 20$  кВт.

Питома витрата енергії на тону упарюваної води, кВт·год./т,

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{н}} \cdot 1000}{W} = \frac{20 \cdot 1000}{1,71 \cdot 3600} = 3,24 \text{ кВт} \cdot \text{год./т}. \quad (2.65)$$

**Розрахунок і вибір конденсатовідвідників.** Для відведення конденсату і запобігання проскакування пари в лінію відводу конденсату, теплообмінні апарати, які обігриваються насиченою водяною парою, повинні забезпечуватися конденсатовідвідниками. Розрахунок і підбір стандартного поплавкового конденсатовідвідника полягає у визначенні діаметра умовного проходу за максимальним коефіцієнтом пропускної здатності  $k$  і у виборі по знайденій величині  $D_y$  конструктивних розмірів апарата (табл. 2.3):

Таблиця 2.3 – Відповідність між коефіцієнтом пропускної здатності та умовним діаметром

$D_y$ , мм	20	25	32	40	50	80
$k$ , т/год.	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10,0

Значення максимального коефіцієнта пропускної здатності визначається в залежності від витрати конденсату (у т/год.) і перепаду тисків  $\Delta P$  (кгс/см<sup>2</sup>) між тиском до конденсатовідвідника і після нього:

						XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			45

$$K = 0,575 \cdot D \cdot \sqrt{\Delta P}. \quad (2.66)$$

Тиск до конденсатовідвідника  $P_1$  слід приймати у межах 90–95 % від тиску гріючої пари, що надходить в апарат, за яким встановлено конденсатовідвідник; тиск після конденсатовідвідника приймається у залежності від його типу і від величини тиску в апараті, але не більше 40 % цього тиску.

$$P_{Г1} = 0,1 \text{ МПа} \cdot 9,8 = 980 \text{ кгс/см}^2.$$

Кількість конденсату  $D$  дорівнює кількості пари, що надходить в гріючу камеру апарата, тобто  $D = 2,28 \text{ кг/с} = 8,21 \text{ т/год}$ . Тоді:

$$K = 0,575 \cdot 8,21 \cdot \sqrt{2,088} = 6,1 \frac{\text{т}}{\text{год}}.$$

Таким чином, конденсатовідвідник повинен мати діаметр проходу  $D_u = 50 \text{ мм}$ .

**Вибір ємностей.** Для забезпечення безперебійної подачі вихідного розчину в підігрівач і, відповідно, нормальної роботи установки протягом двох годин вибираємо ємність, придатну для експлуатації при тиску понад 0,01 МПа, робочим об'ємом не більше  $20,9 \text{ м}^3$ . Тип такої ємності ГКК1-1-25-0,07.

Для упареного (концентрованого) розчину необхідні ємності, здатні витримувати вакуум, тому вибираємо дві ємності, що працюють при тиску не більше 0,01 МПа того ж об'єму, що і для вихідного розчину ГКК1-1-25-0,07.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

## 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Вибір конструкційних матеріалів [11, 12]

У якості конструкційних матеріалів для випарних апаратів застосовують вуглецеві кислототривкі сталі. Випарні апарати працюють у важких умовах, оскільки під дією високої температури і розчинів високої концентрації прискорюються процеси корозії. Разом із корозією апаратів в трубках у зоні найбільш інтенсивного кипіння відбувається механічне зношування (ерозія) металу.

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проектного елемента, вузла або апарата (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості продукту, що переробляється тощо), слід виконувати таким чином, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (вироба).

У даному проекті передбачається випарювання концентрованого водного розчину діоксиду титану з використанням однокорпусної вакуум-випарної трубчастої установки з винесеною гріючою камерою безперервної дії з природною циркуляцією. Під час випарювання, для підвищення концентрації вихідного розчину, підлягає випаровуванню вода з розчину.

При виборі конструкційних матеріалів до них пред'являються такі вимоги:

- а) достатня загальна хімічна і корозійна стійкість в агресивному середовищі;
- б) достатня механічна міцність при заданих тиску і температурі технологічного процесу;
- в) найкраща здатність матеріалу зварюватись із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань і їх корозійної стійкості;
- г) низька вартість матеріалу і освоєність його промисловістю.

За рекомендацією [11] для виготовлення деталей, що стикаються з робочим середовищем рекомендується корозійностійка сталь 12X18H10T. Для виготовлення опори і інших деталей, які не стикаються з робочим середовищем, застосовуємо сталь Ст.3сп. У якості прокладкового матеріалу використовуємо пароніт ПОН-Б.

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

**Характеристика сталі 12Х18Н10Т.** Це корозійностійка сталь аустенітного класу; проникність  $\Pi = 0,10$  мм/рік.

**Призначення.** Зварні посудини та апарати, що працюють в розведених розчинах азотної, фосфорної, оцтової кислот, розчинах лугів і солей; деталі, що працюють під тиском при  $t = 196\text{--}600$  °С, а при наявності агресивних середовищ до  $t = 350$  °С.

**Механічні властивості при  $t = 20$  °С:**

- межа плинності  $\sigma_i = 225\text{--}315$  МПа;
- тимчасова межа міцності  $\sigma_b = 550\text{--}650$  МПа;
- відносне подовження  $\delta = 46\text{--}74$  %;
- відносна зміна поперечного перерізу  $\psi = 66\text{--}80$  %;
- ударна в'язкість  $KCV = 215\text{--}372$  Дж/см<sup>2</sup>.

**Технологічні властивості.** Температура кування: початку – 1200 °С, кінця – 850 °С. Зварюваність – зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, ЕШС, КТС з наступною термообробкою.

**Фізичні властивості:**

- модуль пружності  $E = 1,98 \cdot 10^5$  МПа;
- щільність  $\rho = 7900$  кг/м<sup>3</sup>;
- теплопровідність  $\lambda = 15$  Вт/ м·°С;
- лінійне розширення  $\alpha = 16,6 \cdot 10^{-6}$  1/°С;
- теплоємність  $c = 462$  Дж/кг·К.

**Характеристика сталі Ст.3сп.** Застосовується для виготовлення деталей і вузлів, що не стикаються з середовищем. Сталь за способом виплавки спокійна. Вона характеризується гарним розширенням і гарним видаленням сірки і фосфору, що підвищує якісні показники металу. Сталь технологічна в обробці, добре обробляється різанням і тиском. Пластичні властивості стали високі. Сталь добре зварюється усіма видами зварювання. Сталь нестійка в багатьох агресивних середовищах.

**Призначення.** Несучі елементи зварних і незварних конструкцій і деталей, що працюють при позитивних температурах. Фасонний і листовий прокат (5-ї ка-

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

тегорії) для несучих елементів зварних конструкцій, що працюють при змінних навантаженнях: при товщині прокату до 25 мм в інтервалі температур від - 40 до + 425°C; при товщині прокату понад 25 мм – від - 20 до + 425°C за умови поставки з гарантованою зварюваністю.

**Механічні властивості при t = 20°C:**

- межа плинності  $\sigma_i = 220$  МПа;
- тимчасова межа міцності  $\sigma_b = 445$  МПа;
- відносне подовження  $\delta_5 = 33$  %;
- відносна зміна поперечного перерізу  $\psi = 59$  %;
- ударна в'язкість  $KCV = 154$  Дж/см<sup>2</sup>.

**Характеристика ПОН-Б.** Це листовий прокладковий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається з азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів. Застосовується для ущільнення з'єднань, які працюють в середовищах: води і пари з тиском 5 МН/м<sup>2</sup> і температурою 450°C; нафти і нафтових продуктів при температурах 200–400°C і тиску 7–4 МН/м<sup>2</sup> відповідно; рідкого і газоподібного кисню, етилового спирту і т. д. Для підвищення механічних властивостей пароніта, у деяких випадках, його армують металевою сіткою (званою фероніт).

**3.2 Розрахунки апарата на міцність, стійкість та герметичність [13]**

**Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки.** Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів  $\phi = 0,9$  (ручне дугове електрозварювання), напруження для матеріалу корпусу при  $t = 100$  °C [13]:

$$\sigma = 170 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустиме напруження складе:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 170 = 170 \text{ МПа.} \tag{3.1}$$

Розрахункова товщина стінки кожуха:

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - p}, \tag{3.2}$$



де  $p$  – тиск пари в міжтрубному просторі;  $p = 0,1$  МПа.

$$s_p = \frac{0,1 \cdot 1200}{2 \cdot 0,9 \cdot 170 - 0,1} = 1,05 \text{ мм.} \quad (3.3)$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях:

$$p_n = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_n}{[\sigma]}, \quad (3.4)$$

де  $[\sigma]_n$  – пробне допустиме напруження, МПа.

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_m}{1,1} = \frac{184}{1,1} = 167,3 \text{ МПа.} \quad (3.5)$$

Тоді

$$p_n = 1,25 \cdot 0,1 \cdot \frac{167,3}{170} = 0,492 \text{ МПа.}$$

Із урахуванням гідростатичного тиску отримаємо:

$$p_r = H \cdot \rho \cdot g, \quad (3.6)$$

де  $H$  – висота кип'ятильних труб, м.

$$p_e = 4 \cdot 1610 \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} = 0,047 \text{ МПа;} \quad (3.7)$$

$$p = p_n + p_e = 0,492 + 0,047 = 0,539 \text{ МПа.} \quad (3.8)$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки кожуха:

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - p} \quad (3.9)$$

$$s_p = \frac{0,539 \cdot 1200}{2 \cdot 0,9 \cdot 167,3 - 0,539} = 2,87 \text{ мм.}$$

Надбавка до розрахункової товщини за весь термін служби апарата (10 років):

$$c = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ мм.}$$

Тоді

$$s = s_p + c = 2,87 + 1 = 3,87 \text{ мм.} \quad (3.10)$$

Мінімальна товщина обичайки для апаратів 1200 мм становить 10 мм. На цій товщині і зупиняємо свій вибір.

Тоді для гріючої камери, провівши розрахунок аналогічно сепаратора, отримаємо  $s = 10$  мм.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Розрахункова товщина стінки кришки при проведенні гідравлічних випробувань:

$$s_p = \frac{p_n \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - 0,5 \cdot p_n}; \quad (3.11)$$

$$s_p = \frac{0,539 \cdot 600}{2 \cdot 0,9 \cdot 167,3 - 0,5 \cdot 0,539} = 1,44 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки кришки:

$$s_{kp} = s_p + c = 1,44 + 1,0 = 2,44 \text{ мм.} \quad (3.12)$$

З метою уніфікації сортаменту матеріалу приймаємо  $s_{kp} = 6,0$  мм.

Для кришки сепаратора:

$$s_p = \frac{0,539 \cdot 1200}{2 \cdot 0,9 \cdot 167,3 - 0,5 \cdot 0,539} = 2,87 \text{ мм}; \quad (3.13)$$

$$s_{kp} = s_p + c = 2,87 + 1,0 = 3,87 \text{ мм.} \quad (3.14)$$

З метою уніфікації сортаменту матеріалу приймаємо  $s_{kp} = 8,0$  мм.

**Розрахунок і вибір опори.** Маса обичайки кожуха дорівнює:

$$m_k = \left[ \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho, \quad (3.15)$$

де  $\rho = 7860 \text{ кг/м}^3$  – щільність сталі.

$$m_k = \left[ \frac{3,14 \cdot (0,6 + 2 \cdot 0,006)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \right] \cdot 4 \cdot 7860 = 359 \text{ кг.}$$

Маса кришки і днища:

$$m_{kp} = 1,24 \cdot D^2 \cdot s_{kp} \cdot \rho; \quad (3.16)$$

$$m_{kp} = 1,24 \cdot 0,6^2 \cdot 0,006 \cdot 7860 = 37 \text{ кг.}$$

Маса труб:

$$m_{tp} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot l \cdot n \cdot \rho; \quad (3.17)$$

$$m_{tp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,038^2 - 0,034^2) \cdot 4 \cdot 211 \cdot 7860 = 1500 \text{ кг.}$$

Маса фланця з решіткою:

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (3.18)$$

де  $D_{\phi}$  – зовнішній діаметр фланця, м;

$h_{\phi}$  – висота фланця, м.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,72^2}{4} \cdot 10 \cdot 7860 = 418 \text{ кг.}$$

Об'єм трубного простору

$$V_{\text{тр}} = 0,785 \cdot d^2 \cdot n \cdot l; \quad (3.19)$$

$$V_{\text{тр}} = 0,785 \cdot 0,034^2 \cdot 211 \cdot 4 = 0,766 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті паронаповнення  $\varepsilon = 0,5$  маса розчину дорівнює:

$$m_p = V_{\text{тр}} \cdot \rho \cdot \varepsilon; \quad (3.20)$$

$$m_p = 0,766 \cdot 1610 \cdot 0,5 = 616,6 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарата у робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + 2 \cdot m_{\text{кр}} + m_{\text{тр}} + 2 \cdot m_{\phi} + m_p); \quad (3.21)$$

$$G = 9,81 \cdot (359 + 2 \cdot 37 + 1500 + 2 \cdot 418 + 676,6) = 33213 \text{ Н} = 33,21 \text{ кН.}$$

Приймаємо кількість опор  $n = 4$  шт. Навантаження на одну опору складе:

$$Q = \frac{G}{n} = \frac{33,21}{4} = 8,31 \text{ кН.} \quad (3.22)$$

Вибираємо 4 опори з допустимим навантаженням  $Q = 10$  кН.

Умовне позначення опори 1-1000.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



– вибір оптимальних технологічних режимів, які забезпечують на спроектованому об'єкті випуск заданої кількості хімічних продуктів відповідно до стандартів і технологічних умов.

Для даного виробництва найбільш доцільним буде закритий варіант установки устаткування, тобто в будівлі. На рис. 4.1 показаний загальний вигляд такого компонування.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд компонування цеху виробництва пігментного діоксиду титану

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

XI.B.00.00.00 ПЗ

Лист

54

Будівлю слід компонувати, виходячи з функціональних, економічних і архітектурно-художніх вимог, застосовуючи однотипні секції та розташовуючи їх прольотами в одному напрямку. При цьому слід забезпечувати найбільші можливості застосування будівельних конструкцій і виробів заводського виготовлення.

Компонування будівлі із секцій із взаємно перпендикулярним напрямком прольотів, а також з різнотипних секцій, у тому числі з перепадами висот поверхів між суміжними секціями, повинні здійснюватися лише при функціональній необхідності і техніко-економічній доцільності.

Існують певні прийоми і фактори, які необхідно враховувати при компонуванні обладнання. До таких факторів, у першу чергу, відносяться умови працездатності схеми. Такими умовами можуть бути:

- вимоги перепаду висот між окремими одиницями обладнання, необхідність транспортування матеріальних потоків;
- необхідні ухили трубопроводів та самопливів для транспортування рідких і сипучих матеріалів.

Умови працездатності технологічної схеми формуються, перш за все, на підставі технологічного регламенту даного виробництва і норм технологічного проектування для даного виробництва, а також на підставі експертних даних інститутів і підприємств, що займаються розробкою технологій цих виробництв.

## **4.2 Монтаж та ремонт основного технологічного обладнання [14, 15]**

Випарний апарат з природною циркуляцією складається з двох основних частин: це грійуча камера, що представляє собою кожухотрубчастий теплообмінник, і сепаратор. Тому необхідно розглядати ремонт як два окремих апарата, і застосувати ці два види ремонтних робіт до одного апарату.

Теплообмінні апарати є дуже поширеним типом хімічного обладнання. У процесі використання теплообмінні апарати, покриваються накипом, піддаються зносу і забрудненню, відкладенню солей і покриттям трубного пучка і стінок апарату маслом та іншими матеріалами. Усе це призводить до зменшення коефіцієнта теплопровідності.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

**Зношення полягає у наступному:**

- зменшення товщини стінки корпусу, днища, трубних решіток;
- випучини і вм'ятини на корпусі і днищах;
- свищі, тріщини, прогари на корпусі, трубках і фланцях;
- збільшення діаметра отворів у трубній решітці;
- прогин трубних решіток і деформація трубок.

**Підготовка до ремонту включає наступні заходи:**

- знижується надлишковий тиск до атмосферного і апарат звільняється від продукту;
- відключається арматура і ставляться заглушки на всіх підвідних і відвідних трубопроводах;
- проводиться продування азотом або водяною парою з наступним промиванням водою і продувкою повітрям;
- виконується аналіз на наявність отруйних і вибухонебезпечних продуктів;
- складається план і отримується дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту;
- складається акт здачі апарата в ремонт.

**Далі виконують такі роботи:**

- зняття кришок апарату, люків, демонтаж обв'язки і арматури;
- виявлення дефектів вальцювання і зварювання, а також цілісності трубок гідравлічним та пневматичним випробуваннями на робочий тиск;
- часткова зміна або відключення дефектних трубок, кріплення трубок вальцюванням або зварюванням;
- монтаж різьбових з'єднань;
- гідравлічне випробування міжтрубного і трубного частин апарату пробним тиском;
- пневматичне випробування апарату.

**Основні конструктивні недоліки теплообмінних апаратів:**

- велика трудомісткість розбирання/збирання апарату при чищенні і заміні трубного пучка;
- мала надійність вальцювальних з'єднань трубок з трубною решіткою;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата





Вартість випарних апаратів, зазвичай, дуже висока, демонтаж і монтаж – кропіткий, трудомісткий і тривалий процес. Заміна випарних апаратів проводиться у переважній більшості випадків внаслідок зношення корпусів. Тому при експлуатації необхідно прийняти надійні заходи для запобігання корпусів від передчасного зношення. Корозійна стійкість корпусів повинна бути не вище семи балів при оцінці за десятибальною шкалою, а у разі корпусів великих діаметрів і висоти – вище п'яти балів, тобто швидкість корозії не повинна перевищувати 0,1 мм/рік.

Ерозійне зношення корпусів є наслідком впливу сильних струменів рідини і парових потоків, що містять абразивні включення. Ділянки корпусів, схильні до ерозії, захищають протекторами та спеціальними пристроями, що зменшують кінетичну енергію струменів рідини і пари (улити, маточники тощо). Зношення корпусів небезпечно не тільки через порушення їх міцності – так, утворені продукти корозії можуть закупорити або забруднити трубопроводи невеликого перерізу, теплообмінники і конденсатори.

**Підготовка корпусів до ремонту.** Корпуси ремонтують при планово-попереджувальних ремонтах технологічної установки. Порядок підготовки апарату до ремонту і проведення ремонтних робіт залежить від особливостей установки.

У більшості випадків корпус готують до ремонту в такий спосіб. Доводять тиск до атмосферного. Із апарату видаляють робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, яка витісняє залишки в корпусі пари і газу. Після пропарювання промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чергують кілька разів. Час операцій обмовляється у виробничій інструкції (технологічному регламенті) кожної технологічної установки або технологічного блоку.

Промивання корпусу водою сприяє також більш швидкому їх охолодженню. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50°C. Пропарений і промитий корпус від'єднують від усіх апаратів і комунікацій глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють у спеціальному журналі.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		58

**Технологія ремонту випарного апарату.** Ремонт апарату починають з його розтину, який необхідно проводити строго дотримуючись таких правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, у результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки, якщо такі є. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки.

Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, оскільки внаслідок різниці температур відбувається сильний приток повітря в корпус, що може призвести до утворення вибухонебезпечної суміші.

Із метою скорочення тривалості ремонтних робіт ще під час промивання корпусу водою відвертають частину болтів на тих люках, які будуть розкриватися, не порушуючи при цьому герметичності.

Після відкривання люків корпус деякий час провітрюється в результаті природної конвекції повітря. Можливість ремонтних робіт встановлюють, виходячи з результатів лабораторного аналізу проби повітря, взятого з корпусу. Доступ людей усередину корпусу можливий, якщо концентрація вуглеводнів в пробі не перевищує  $300 \text{ мг/м}^3$ , а вміст сірководню –  $10 \text{ мг/м}^3$ . Гранично допустимі концентрації інших речовин наведено у технологічній карті (технологічному регламенті) кожної установки, блоку або відділення.

При роботі всередині корпусу необхідно ретельно дотримуватися правил техніки безпеки. Робочий повинен надягати запобіжний пояс із мотузкою, кінець якої виводиться назовні і надійно закріплюється. За роботою людини, що знаходиться всередині апарату, постійно спостерігає спеціально виділений для цієї мети робочий. Тривалість безперервної роботи всередині корпусу повинна бути не більше 15 хвилин. Після цього необхідний такий же за тривалістю відпочинок поза ним (зазвичай робочий і спостерігач міняються місцями).

При перших же ознаках появи всередині ремонтваного апарату вибухонебезпечних, горючих або токсичних рідин, парів або газів – всяку роботу слід негайно припинити.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59



6) діафрагми дифманометрів повинні мати камери, фланці яких також розраховані на дані умови;

7) до вимірювальних і регулюючих приладів повинні пред'являтися вимоги по вибухо- і пожежонебезпеці.

Конкретні типи автоматичних пристроїв вибирають із урахуванням особливостей об'єкта управління і прийнятої системи управління (місцеве або централізоване). У першу чергу беруть до уваги такі фактори як пожежо- і вибухонебезпечність, агресивність і токсичність середовища, число параметрів, що беруть участь в управлінні та їх хімічні властивості, а також вимоги до якості контролю і регулювання.

При великій відстані між технологічними апаратами і щитами управління доцільніше застосовувати електричні засоби автоматизації. Вони характеризуються набагато меншим запізненням і перевершують пневматичні по точності вимірювання. Крім того, застосування електронних засобів спрощує впровадження обчислювальних машин.

Вибір конкретних типів автоматичних пристроїв рекомендується проводити, виходячи з таких міркувань:

– для контролю і регулювання однакових параметрів технологічного процесу слід застосовувати однакові автоматичні пристрої, що полегшує їх придбання, налаштування і ремонт;

– слід віддавати перевагу автоматичним пристроям серійного виробництва;

– при великій кількості однакових параметрів контролю рекомендується застосовувати прилади і машини централізованого контролю;

– при автоматизації складних технологічних процесів слід використовувати обчислювальні і керуючі машини;

– клас точності приладів повинен відповідати технічним вимогам;

– для місцевого контролю рекомендується застосовувати прості і надійні прилади (термометри розширення в захисних чохлах, манометри загального призначення, лічильники і ротаметри), тому що вони часто функціонують в сприятливих умовах (значні коливання температури і вологості, підвищена вібрація, механічні дії тощо);

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– для автоматизації технологічних апаратів з агресивними середовищами слід передбачати установку спеціальних приладів.

У схемах автоматизації рекомендується використовувати принцип уніфікації, тобто застосовувати однотипні технічні засоби автоматизації. Це забезпечує взаємозамінність, зручність експлуатації, налаштування та комплектацію приладів. Необхідно використовувати дешеві і надійні прилади, які забезпечують необхідний клас точності.

Відповідно до технологічної схеми (див. рис. 2.1) обрано такі параметри для контролю і регулювання:

– для вимірювання рівня рідини в ємностях діоксиду титану, циркуляційному збірнику вибираємо рівнемір ємнісний з електричним автоматичним потенціометром;

– для контролю температури тітанілсульфату, який подається в підігрівач, використовуємо термоперетворювач разом з електричним автоматичним потенціометром;

– замірювання тиску до і після вакуум-випарювання здійснюємо за допомогою перетворювача тиску із електричним автоматичним потенціометром;

– для вимірювання концентрації діоксиду титану в ємності для тітанілсульфату використовуємо безконтактний концентратомер і вторинний прилад – електричний автоматичний потенціометр;

– для підтримки технологічного процесу контролюємо в циркуляційному збірнику кислотність і щільність розчину тітанілсульфату за допомогою чутливого елемента і вимірювача щільності буйкового відповідно, із вторинним приладом електричним автоматичним потенціометром;

– витрата парів після вакуум-випарювання заміряємо за допомогою камерної діафрагми і електричного автоматичного потенціометра.

Усі вище перераховані пристрої автоматизації успішно виконують поставлене завдання з необхідним класом точності і допустимою похибкою [17].



**Розсіююча здатність** – здатність пігменту до відбиття світла видимої частини спектра певних довжин хвиль. Цей показник у діоксиду титану безпосередньо залежить від розміру частинок  $TiO_2$ . При розмірі частинок 0,2 мкм сума розсіяного світла для всіх довжин хвиль максимальна. При збільшенні розміру частинок від 0,25 до 0,3 мкм – розсіювання блакитного світла швидко знижується. Але розсіювання зеленого і червоного практично не змінюється. Проте, при діаметрі частинок 0,15 мкм спостерігається максимальне розсіювання синього, у той час, як розсіювання червоного і зеленого значно нижче.

**Маслоємність** – це здатність частинок пігменту утримувати на своїй поверхні певну кількість масла. Виражається вона в грамах на 100 грам пігменту і коливається, зазвичай, від 10 до 20.

**Покриваність** називають здатність пігменту при рівномірному розподілі в обсязі робити невидимим колір вихідного матеріалу. Покриваність виражається в грамах пігменту, необхідного для того, щоб зробити невидимим колір поверхні площею 1 м<sup>2</sup>. Білі пігменти забезпечують покриваність шляхом розсіювання світлової хвилі будь-якої довжини видимого спектру. Чим меншим буде цей показник, тим нижче витратна норма діоксиду титану в композиції.

**Колір** – властивість тіл викликати певне зорове відчуття у відповідності зі спектральним складом і інтенсивністю відбиваного випромінювання. Сухий діоксид титану характеризується високою яскравістю, білизною і його відбиваюча здатність близька до відбиваючої здатності ідеального дифузора.

**Світлостійкість** – властивість матеріалу зберігати свій колір під впливом світлових променів. У процесі експлуатації виробу, особливо зовнішнього застосування, змінюють свій первісний колір під впливом ультрафіолетових променів природного світла і джерел штучного освітлення, випромінюючих ультрафіолетові промені.

**Атмосферостійкість** – властивість полімерних композицій чинити опір руйнівній дії сонячних променів, дощу, морозу, снігу, вітру та інших атмосферних чинників (наприклад, газів і пилу, що забруднюють нижні шари атмосфери).

**Обробка поверхні** необхідна для збільшення стійкості до зовнішніх впливів. Неорганічна ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ) збільшує стійкість частинок діоксиду титану до

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

кислотного впливу, яке може приводити до руйнування частинок пігменту. Органічна обробка покращує розподіл частинок пігменту в обсязі композиції.

**Упаковка.** Двоокис титану упаковують у сталеві фляги; сталеві, картонно-навивні, фанерні, фанерні з поліетиленовим вкладишем барабани; дерев'яні, дерев'яні з поліетиленовим вкладишем, поліетиленові, паперові, з прогумованої тканини бочки. Допускається упаковувати пігментний двоокис титану в м'які спеціалізовані контейнери разового використання.

**Транспортування, зберігання.** Двоокис титану пігментний транспортують усіма видами транспорту в критих транспортних засобах. Допускається транспортування продукції, упакованої в м'які спеціалізовані контейнери, у відкритих транспортних засобах. Зберігають у закритих складських приміщеннях при температурі навколишнього середовища від мінус 40 до плюс 400°C. Допускається зберігання продукції, упакованої в м'які спеціалізовані контейнери, на відкритих майданчиках. Тару укладають в штабелі висотою не більше 3 м на підкладки або дерев'яні піддони.

#### **Правила електробезпеки.**

Основні нормативні документи:

ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту.

ГОСТ12.1.018-86. Пожежна безпека. Електростатична іскробезпека. Загальні вимоги.

ГОСТ12.1.030-81. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення.

РД.34.21.122-87. Інструкція по влаштуванню блискавкозахисту будівель і споруд.

ГОСТ12.1.038.82. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруги дотику і струмів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



## Вимоги безпеки (див. табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Основні властивості та види небезпеки

<b>Клас небезпеки</b>	4
<b>Основні властивості</b>	Білий порошок, жовтіє при нагріванні, термічно і хімічно стійкий, не реагує з водою, розведеними кислотами і лугами, гідратом аміаку. Повільно розчиняється в концентрованій сірчаній кислоті.
<b>Вибухо- і пожежо- небезпека</b>	Пожежо- та вибухобезпечна. Не піддається термодеструкції.
<b>Небезпека для людини</b>	Клінічна картина гострого отруєння відсутня. Відноситься до речовин переважно фіброгенної дії. Шляхи надходження: при вдиханні аерозолі, випадковому ковтанні, попаданні на шкіру та в очі. Не викликає, як правило, виражених симптомів подразнення шкірних покривів і слизових оболонок очей. Володіє дратівливою дією на верхні дихальні шляхи.
<b>Засоби індивідуального захисту</b>	Уникати прямого контакту з продуктом. Дотримуватися правил особистої гігієни. Спецодяг (суконний костюм), спецвзуття (ризинові чоботи), засоби захисту рук, респіратор ШБ-1 "Лепесток", захисні окуляри.

### Основні заходи захисту від впливу електричного струму.

1. Усунення небезпеки ураження при пробі на корпусі досягається використанням:

- а) захисного заземлення;
- б) занулення;

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

в) захисного відключення.

2. Забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, для випадкового дотику:

а) захист від переходу високої напруги в мережу низької напруги;

б) захисне розділення мереж.

3. Застосування електрозахисних засобів персоналом при експлуатації установок.

4. Організація безпечної експлуатації електроустановок.

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом (водою) металевих неструмоведучих частин обладнання, які можуть опинитися під напругою.

Відповідно до СНіП 2.04.05-92 у приміщенні передбачена загальнообмінна вентиляція для забезпечення встановлених метеорологічних умов і чистоти повітря.

У приміщенні передбачено в денний час доби – природне бічне двостороннє освітлення, а в темний час доби застосовується штучне освітлення газорозрядними джерелами світла типу ЛХБ.

У приміщенні також передбачено аварійне освітлення для продовження робіт при відключенні робочого освітлення. Для аварійного освітлення використовують лампи розжарювання із зарядкою від акумуляторів.

Джерелами шуму і вібрації у виробничому приміщенні є насоси. На робочому місці оператора, згідно ГОСТ 12.1.003-3 ССБТ, ДСН 3.36-042-99 і ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ, рівні шуму і вібрації відповідають допустимим нормам.

У даному виробництві є апарати, що працюють під тиском. Забороняється експлуатація обладнання, що працює під тиском, із простроченим терміном експлуатації, без клейма, без вказівки наступного строку опосвідчення. Для безпеки експлуатації систем під підвищеним тиском застосовуються також запірні арматура, прилади контролю і запобіжні пристрої.

Апарати, які знаходяться під тиском, виготовлені з металу, який добре зварюється. На апараті повинні бути зазначені наступні дані:

– допустимий тиск в апараті;

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– дата, місяць і рік останнього гідравлічного випробування апарату;

– дата наступного гідравлічного випробування.

У разі перевищення тиску заданої межі на обладнанні, що працює під тиском, передбачений аварійний клапан (запобіжний).

В процесі випарювання діоксиду титану можливе забруднення повітряного і водного басейнів. Для запобігання потрапляння випарюваної речовини в атмосферу разом із паром, в випарних апаратах передбачені сепаратори, в яких відбувається відділення рідини від пари. Для запобігання потрапляння діоксиду титану в воду необхідно наявність замкнутого циклу водопостачання (забруднена вода проходить реагентне очищення всередині даного підприємства, і знову надходить на вхід, тобто безперервно відбувається циркуляція води).

**Освітлення.** Освітленість на робочих місцях повинна відповідати розряду зорової роботи. Збільшення освітленості робочих поверхонь покращує умови бачення об'єктів, підвищує продуктивність праці. Під виробничим освітленням розуміють систему пристроїв і заходів, що забезпечують сприятливу роботу зору людини і виключає шкідливий чи небезпечний вплив на нього в процесі праці. Світло являє собою потік променевої енергії з довжинами хвиль 740 ... 400 нм.

Основними показниками працездатності ока є: контрастність, гострота зору, ймовірність розрізнення, час зорового сприйняття, поле зору, засліпленість.

Кількісно **контрастність** визначають, як відношення різниці яскравості предметами фону до яскравості предмета (фону):

$$K_{\text{пр}} = (V_{\text{ф}} - V_{\text{п}}) / V_{\text{ф}} \text{ или } K_{\text{обр}} = (V_{\text{п}} - V_{\text{ф}}) / V_{\text{п}}, \quad (6.1)$$

Оптимальним значенням контрастності вважають 0,6...0,9.

Розміри предмета висловлюють в кутових величинах, які пов'язані з лінійним співвідношенням

$$\text{tg } \alpha = \alpha/2 = h/(2 \cdot l), \quad (6.2)$$

де  $\alpha$  – кутовий розмір предмета розрізнення;  $h$  – його лінійний розмір;  $l$  – відстань від очей до предмета.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

Сліпучу дію світла на очі людини називають **бльоскістю**. Чим більше бльоскість, тим більше втрачає людина зорові функції, тобто перестає розрізняти предмети.

Одним із основних факторів сприятливого функціонування зору є достатня **освітленість** робочих поверхонь і ділянок.

На рис. 6.1 наведено приклад зміни ефективності освітлювальної установки від освітленості робочої поверхні.

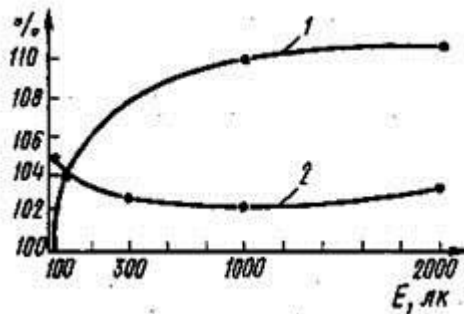


Рисунок 6.1 – Графік ефективності освітлювальної установки в залежності від освітленості: 1 – продуктивність праці; 2 – стомлення

При збільшенні освітленості значно зростає продуктивність праці і зменшується стомлення. У даному випадку збільшення освітленості від 30 до 300 лк дає істотне зростання продуктивності праці. Надалі зростання освітленості призводить до незначного зростання продуктивності праці. При 1000 лк стомлення має мінімальне значення.

## 6.2 Розрахунок захисного заземлення [20]

1. У відповідності до ПУЕ, ПТБ, ПТЕ визначають опір, що допускає розтікається струму в заземленому обладнанні  $R_z$ : для мережі до 1000 В з ізолюваною і глухо заземленою нейтраллю  $R_z = 4$  Ом.

2. Визначається питомий опір ґрунту, який рекомендований для розрахунків,  $\rho_{\text{табл}}=40$  Ом·м.

3. Визначається питомий опір ґрунту для стрижнів і для смугового заземлювача із урахуванням несприятливих умов, що враховуються коефіцієнтом.

Підвищувальні коефіцієнти для стрижнів і для смуги, які враховують зміни опору ґрунту в різні пори року.

$$\rho_{\text{расч.ст.}} = \rho_{\text{табл.}} \cdot k_{\text{п.ст.}}; \rho_{\text{расч.ст.}} = 1,45 \cdot 40 = 58 \text{ Ом} \cdot \text{м}. \quad (6.3)$$

4. Визначається опір розтіканню струму для одиночного стрижневого поглибленого заземлення, розташованого нижче поверхні землі на 0,8.

$$R_g = \rho_{\text{н.з.}} / 2\pi \cdot l \cdot \left[ \ln \cdot (2l / d) + 1/2 \cdot \ln \cdot ((4t + l) / (4t - l)) \right], \quad (6.4)$$

де  $t$  – відстань від поверхні землі до середини стрижня;

$h_b$  – величина заглиблення стрижнів;

$l_{\text{ст}}$  – довжина труб.

$$R_T = 58 / 2 \cdot 3,14 \cdot 2,75 \cdot \left[ \ln \cdot (2 \cdot 2,75 / 0,8) + 1/2 \cdot \ln \cdot ((4 \cdot 2,18 + 2,5) / (4 \cdot 2,18 - 2,75)) \right] = 8,46 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

5. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів.

$$n_{\text{см.}} \cdot \eta_{\text{э.см.}} = \frac{R_T}{R_3}; \quad (6.5)$$

$$n_{\text{см.}} = \frac{8,46}{(4 \cdot 0,66)} = 4 \text{ шт.} \quad (6.6)$$

6. Визначається довжина з'єднуючої смуги. Для розташування по контуру:

$$L = a \cdot n; \quad (6.7)$$

$$L = 6 \cdot 4 = 24 \text{ м}$$

7. Визначаємо опір горизонтального заземлювача, прокладеного на глибині  $h$  від поверхні землі, за формулою:

$$R_z = \rho_{\text{нз}} / 2\pi \cdot L \cdot \ln \left[ 2L^2 / (b_1 \cdot h) \right], \quad (6.8)$$

де  $b_1$  – ширина смужової сталі, із якої виготовлено горизонтальний заземлювач.

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_z = 58 / 2 \cdot 3.14 \cdot 24 \cdot \ln \left[ 2 \cdot 24^2 / (0,66 \cdot 0,8) \right] = 38,9 \text{ Ом}.$$

8. Обчислюємо загальний опір заземлюючого пристрою за формулою:

$$R_z = R_T \cdot R_z / (n \cdot R_z \cdot h_e + R_e \cdot \eta_z), \quad (6.9)$$

де  $\eta_z$  – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача.

$$R_z = 8,46 \cdot 38,9 / (4 \cdot 38,9 \cdot 0,8 + 8,43 \cdot 0,55) = 2,84 \text{ Ом}.$$

Отримане значення опору штучного заземлення не перевищує допустимого значення опору захисного заземлення

$$R_z \leq R_{z.\text{норм.}} (2,84 \leq 4)$$

**Висновок:** умови захисного заземлення виконані.

### 6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях на досліджуваному об'єкті [20]

У виробництві діоксиду титану, так само як і в інших сучасних виробництвах, велика кількість енергетичних потужностей концентрується на порівняно невеликих територіях. Усе це сприяє зростанню виникнення аварійних ситуацій, які доволі часто набувають характеру катастроф. Ось чому основні зусилля спрямовуються на попередження виникнення надзвичайних ситуацій. Якщо раптом станеться непередбачене, і виникне аварійна ситуація, необхідно в першу чергу повідомити і організувати захист робітників і службовців, а також населення, що живе неподалік, якому загрожує небезпека. Якщо є потерпілі, їм потрібно відразу надати першу медичну допомогу, доставити в лікувальні установи і продовжити рятувальні роботи.

А для того, щоб такі ситуації не були непередбаченими, на потенційно небезпечних територіях створюється план локалізації і ліквідації небезпечних ситуацій (ПЛНС), і персонал повинен бути навчений роботі із ним. Саме грамотні дії персоналу в аварійній ситуації набувають першорядну важливість.

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для оперативного персоналу ліквідація виниклих аварій є непростим завданням. Його вирішення пов'язане із мобілізацією в найкоротший період досвіду, навичок і знань. У цих умовах концентрація на головному, витримка і самовладання персоналу є запорукою швидкої та успішної ліквідації аварії.

Кожному працюючому на підприємстві необхідно знати основні правила поведінки при аваріях. При виявленні загоряння потрібно без зволікання реагувати на пожежу, при цьому використовувати усі доступні способи гасіння вогню, а також підручні предмети (пісок, воду, вогнегасники тощо). Якщо загасити вогонь в найкоротший час неможливо, необхідно викликати пожежну охорону підприємства або міста (за телефоном 101).

При евакуації палаючі приміщення і задимлені місця потрібно проходити якомога швидше. Під час проходження обов'язково затримайте дихання, закрийте ніс і рот вологою щільною тканиною. У сильно задимленому приміщенні пересуватися бажано поповзом або пригнувшись – унизу біля підлоги чисте повітря зберігається довше.

Шукаючи постраждалих, потрібно їх гукнути. Якщо на людині загорівся одяг, слід допомогти скинути його або накинути на палаючого будь-який тканинний покрив і щільно притиснути. Якщо доступ повітря обмежений, горіння швидко припиняється. Не можна дозволяти людині із палаючим одягом бігти.

Підходити до вибухонебезпечних предметів категорично забороняється, тим більше чіпати їх. При загрозі вибуху необхідно лягти на живіт, закрити голову руками, вибираючи для цього місця подалі від вікон, зашкленених дверей, проходів, сходів. Якщо стався вибух, слід вжити заходів до недопущення пожежі та паніки і надати першу медичну допомогу постраждалим.

### **Необхідні дії в аварійних ситуаціях**

**Загального характеру.** Ізолювати небезпечну зону в радіусі 50 м і не допускати сторонніх. У зону аварії входити в захисному костюмі і протигазі. Усунути джерела вогню та іскор, не курити.

**При витоку, розливі та розсипу.** Місце розсипу засипати піском, забруднений пісок. Зібрати продукт в поліетиленові мішки і передати на поховання в місця, погоджені з місцевими СЕС. Забруднену ділянку промити водою. Зробити вимір ГДК.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**При пожежі.** Засоби пожежогасіння – вода. Не рекомендується гасіння компактними струменями води. Не наближатися до палаючих упаковок.

**Заходи першої допомоги.** При вдиханні – свіже повітря, при погіршенні стану викликати лікаря. При впливі на шкіру і попаданні в очі – промити проточною водою. При ковтанні – рясне пиття води, активоване вугілля.

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73



## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі наведено:

1. Обґрунтування технологічної схеми виробництва діоксиду титану, запропонована модернізація випарного апарату з природною циркуляцією розчину за рахунок багаторазового використання енергоносіїв. Наведено теоретичні основи процесу випарювання, виконані технологічні розрахунки процесу і визначені конструктивні розміри проектного апарату, також вибрано допоміжне обладнання.

2. Проведено вибір основних конструкційних матеріалів, виконані розрахунки на міцність, які підтверджують працездатність і надійність роботи випарного апарату.

3. У будівельно-монтажній частині обґрунтовано компонування обладнання установки, а також представлено монтаж та ремонт основного технологічного обладнання.

4. Розроблено схему автоматизації технологічного процесу із використанням сучасних контрольно-вимірювальних приладів (КВП) і засобів автоматизації.

5. У розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» подано аналіз потенційних небезпек і шкідливостей, що виникають при експлуатації устаткування, яке працює на досліджувальній ділянці, запропоновані заходи по їх усуненню. Виконано розрахунок захисного заземлення.

					XI.B.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Калач Т. А. Выпарные станции / Т. А. Калач, Д. В. Радун. – Москва : Машгиз, 1993. – 400 с.
2. Чернобыльский И. И. Выпарные установки / И. И. Чернобыльский. – Киев : Изд. Киевского ун-та, 1990. – 262 с.
3. Таубман Е. И. Расчет и моделирование выпарных установок / Е. И. Таубман. – Москва : Химия, 1990. – 216 с.
4. Кичигин М. А. Теплообменные аппараты и выпарные установки / М. А. Кичигин, Г. Н. Костенко. – Москва : Госэнергоиздат, 1985. – 392 с.
5. Таубман Е. И. Выпаривание / Е. И. Таубман. – Москва : Химия, 1982. – 327 с.
6. Процесс выпарювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.freepapers.ru/33/proces-viparjvannya/124578.803306.list1.html>
7. Ломова О. С. Контактные тепломассообменные аппараты химической технологии: Учеб. Пособие / О. С. Ломова. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2008. – 148 с.
8. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньої програми «Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів» : для студентів денної, заочної та дистанційної форм навчання / В. І. Склабінський, Я. Е. Михайловський, Р. О. Острога, М. С. Скиданенко. – Суми : СумДУ, 2019. – 53 с.
9. Воробьева Г. Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств / Г. Я. Воробьева. – 2-е изд. – Москва : Химия, 1975. – 816 с.
10. Круглова Н. О. Утилізація шламів виробництва титанооксидних пігментів як засіб зниження техногенного навантаження на довкілля : дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / Н. О. Круглова. – Шостка, 2014. – 148 с.

					ХІ.В.00.00.00 ПЗ	Лист
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
12. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
13. 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, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с.
14. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.
15. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
16. Голубятников В. А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / В. А. Голубятников, В. В. Шувалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1985. – 352 с.
17. КСК автоматизация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.kck.ua/dir.html>
18. Двуокись титана пигментная. Технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/532244/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/532244/)
19. ПАТ «Сумихімпром». Головний сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sumykhimprom.com.ua/dioksid-titana-i-pigmenty/>
20. Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Е.Я. Юдина, С.В. Белова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 432 с.

					<i>XI.B.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		76