

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ**

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР**

**зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування**

**Тема роботи:** «Розрахувати випарний апарат для упарювання розчину цукру»

Виконав студент

**Круш А.В.**

Залікова книжка:

№ \_\_\_\_\_

Захищений з оцінкою:

\_\_\_\_\_

Керівник роботи

**Банишевський В.В.**

ШІ Сум ДУ 2023

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
Кафедра „ Хімічної технології високомолекулярних сполук ”

Дисципліна: Машина та апарати хімічних виробництв

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. Кафедрою

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ**

Студенту: Круш А.

група ХМзт - 91ш курс IV

1. Тема роботи «Розрахувати випарний апарат для упарювання розчину цукру»
2. Вихідні дані: Продуктивність 80 т/год. , початкова концентрація 14%, кінцева концентрація 65%.
- 3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)
  - 3.1 Технологічна схема установки А1
  - 3.2 Складальне креслення 2хА1
  - 3.3 Складальні одиниці А1
- 4 Література та матеріали, які рекомендуються: Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. – 754с.  
Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Под ред. Ю.И. Дытнерский. М.: Химия, 1991. – 272с.
- 5 Контрольні терміни виконання: травень

Етапи і розділи роботи	Тижні										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Вступна частина	+	+									
2. Технологічна (аналітична) частина			+	+							
3. Технологічні і конструктивні розрахунки					+	+	+				
4. Розробка креслень								+	+		
5. Оформлення записки										+	
6. Захисна робота											+

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 2023 р.

7. Термін захисту роботи \_\_\_\_\_ 2023 р.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Банищевський В.В.

## Реферат

Пояснювальна записка: 57 арк., 2 рис., 4 таблиця., 11 літературних джерел. Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарату, креслення складальних одиниць, всього 4 листи формату А1.

Тема роботи: "Розрахувати випарний апарат для упарювання розчину цукру".

Приведена технологічна схема виробництва, будова і принцип роботи апарату. Приведені теоретичні основи процесу, виконані технологічні розрахунки і розрахунки на міцність, які підтверджують працездатність і надійність роботи апарату.

Ключові слова: ВИПАРНИЙ АПАРАТ, РОЗРАХУНОК, МІЦНІСТЬ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА.

## Зміст

Вступ.....	5
1 Технологічна частина.....	6
1.1 Опис технологічної схеми .....	6
1.2 Теоретичні основи процесу .....	8
1.3 Опис конструкції та принцип дії апарату .....	9
1.4 Вибір конструкційного матеріалу апарата.....	11
2 Технологічні розрахунки процесу та апарату .....	13
2.1 Матеріальний та тепловий баланси.....	13
2.2 Технологічні розрахунки .....	21
2.3 Конструктивні розрахунки.....	26
2.4 Гідравлічний опір апарата .....	28
2.5 Вибір допоміжного обладнання .....	30
3 Розрахунок на міцність та герметичність .....	35
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки .....	35
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання .....	37
3.3 Розрахунок та вибір опори.....	44
4 Монтаж і ремонт апарата.....	46
4.1 Монтаж апарата .....	46
4.2 Ремонт апарата .....	47
5 Охорона праці та техніка безпеки в надзвичайних ситуаціях .....	51
5.1 Аналіз потенційних небезпек на виробництві .....	51
5.3.1 Характеристика речовин на виробництві.....	52
5.2 Вимоги з охорони праці та пожежної безпеки .....	52
5.3 Вимоги до виробництва на підприємстві .....	54
Висновки.....	56
Література.....	57

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Круш</i>				<i>Виробництво цукру</i>	<i>Літ</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	<i>Банишевский</i>						4	57
<i>Н. Контр.</i>					<i>ШИ Сум ДУ</i>			
<i>Затв.</i>					<i>гр. ХМзт-91Ш</i>			
					<i>Пояснювальна записка</i>			

## Вступ

У хімічній та суміжній з нею галузях промисловості рідкі суміші, концентрування яких здійснюється випарюванням, відрізняються великою різноманітністю як фізичних параметрів (в'язкість, щільність, температура кипіння, величина критичного теплового потоку та інші), так і інших характеристик (ті що кристалізуються, або піняться, нетерmostійкі розчини та ін.). Властивості сумішей визначають основні вимоги до умов проведення процесу (вакуум-випарювання, прямо- та протиточні, одно- та багатостадійні багатокорпусні випарні установки), а також до конструкцій випарних апаратів.

Така різноманітність вимог викликає певні складності при правильному виборі схеми випарної установки, типу апарату, числа щаблів у багатокорпусній випарній установці. У випадку такий вибір є завданням оптимального пошуку і виконується техніко-економічним порівнянням різних варіантів з використанням ЕОМ.

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми

Багатокорпусна випарна установка складається з декількох однокорпусних випарних апаратів, з'єднаних послідовно як по продукту, що згущується, так і по парі, що гріє. У ній перший корпус обігрівается парою, що надходить з турбін або парових котлів, а для обігріву кожного наступного корпусу використовується вторинна пара попереднього корпусу. При цьому теплообмін у кожному корпусі забезпечується за рахунок різниці температур пари, що гріє, і киплячого продукту. Ця різниця температур створюється завдяки зниженню тиску в кожному наступному корпусі в порівнянні з попереднім, що також сприяє самопливному переходу згущеного продукту з одного корпусу в інший. При переході з попереднього корпусу в наступний, тобто в простір з меншим тиском і нижчою температурою, розчин, маючи більш високу температуру, виявляється перегрітим і з нього в результаті самовипаровування видаляється у вигляді пари деяка кількість води. Таким чином, процес самовипаровування зменшує витрату пари на випарювання.

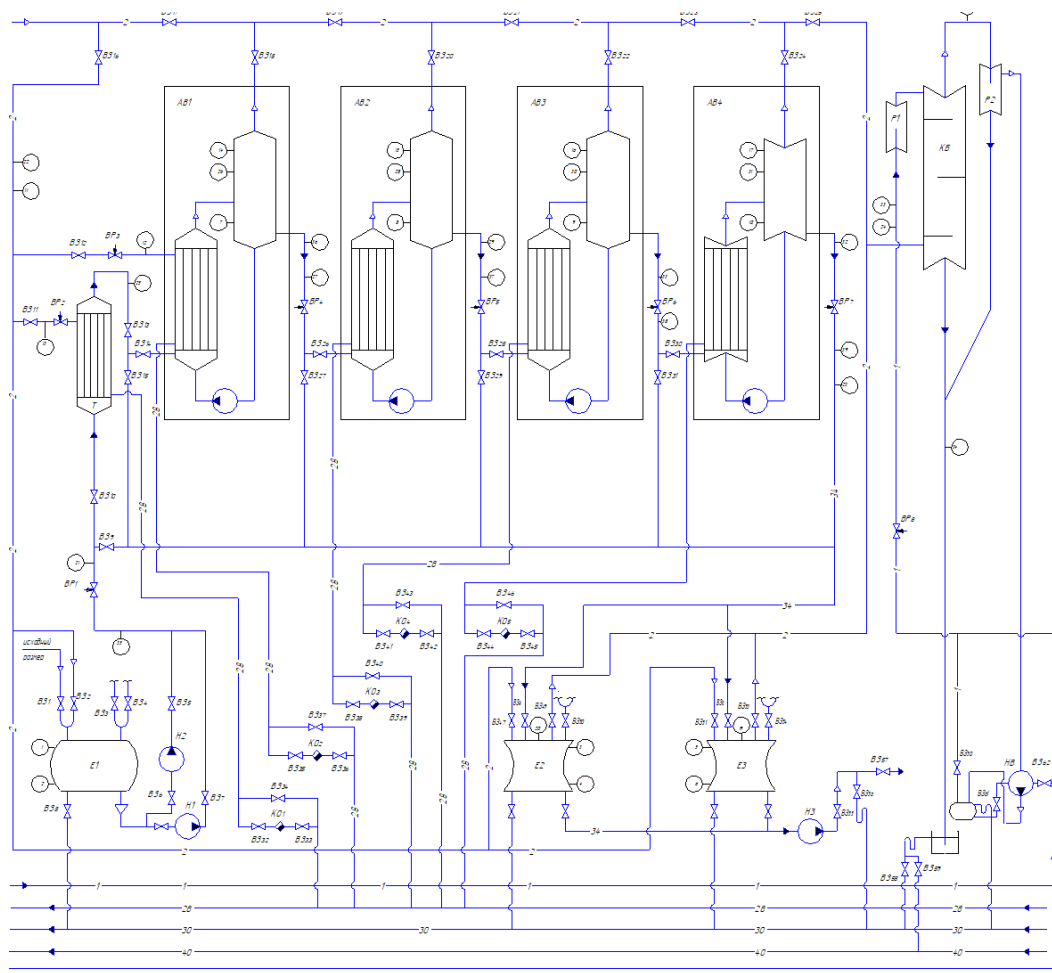


Рис. 1 – Чотирьох корпусна випарна установка для упарювання розчину цукру

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Вторинна пара, що йде з останнього корпусу, має низьку температуру і для обігріву інших теплообмінних пристроїв непридатна, тому її направляють у барометричний конденсатор. Тут в результаті безпосереднього контакту холодної води з паром він конденсується і створюється вакуум, який забезпечує необхідний режим роботи корпусів, що примикають до конденсатора, що працюють під вакуумом. У багатокорпусній установці, в якій головні корпуси працюють під тиском, а хвостові - під розрідженням, завдяки багаторазовому використанню тепла значно знижується питома витрата пари, що гріє.

Гріючий пар для першого ступеня випарної установки повинен мати таку температуру, щоб забезпечувався необхідний перепад температур між теплоносієм і розчином в першому корпусі (не менше 10°C) і щоб різниця температур, що розташовується, у всій випарній установці була достатньою для забезпечення корисного перепаду температур у кожному ступені з урахуванням депресій. Разом з тим не можна без технологічної необхідності підвищувати температуру пари, що гріє, оскільки підвищення її досягається або збільшенням витрати палива, або недовиробленням електроенергії в турбогенераторі. Крім того, пара з підвищенням температури, а отже, і тиску вимагає застосування міцніших трубопроводів та обладнання, що викликає подорожчання всієї установки.

Розчин перед надходженням на випарювання в першу щабель випарної установки підігривають до температури, наскільки можна близькою до температури кипіння. Для цієї мети в прямоточних схемах першу чергу використовують вторинну пару і конденсат останнього ступеня, а потім послідовно підігривають розчин у каскаді теплообмінників екстрапарами та конденсатом із щаблів вищого тиску. Остаточний догрівання розчину здійснюють часто свіжою паром в спеціальному підігривачі. Підігрів розчину до температури кипіння перед випарними апаратами зменшує площу поверхні нагрівання випарних апаратів, вартість 1 м<sup>2</sup> поверхні і яких завжди вище вартості 1 м<sup>2</sup> поверхні звичайних теплообмінників.

Конденсат з першого ступеня випарної станції, як правило, настільки чистий, що його слід повертати на ТЕЦ або в котельню, в той час як конденсат з інших ступенів містить солі, що несуть з розчину, і в якості котлової поживної води використаний бути не може.

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Теоретичні основи процесу [2]

Тиск пари розчинника над розчином завжди нижчий, ніж тиск над чистим розчинником. Внаслідок цього температура кипіння розчину вище за температуру кипіння чистого розчинника при тому ж тиску. Наприклад, вода кипить під атмосферним тиском при 100°C, оскільки тиск її пари за цієї температури дорівнює 1 ат; для 30% розчину тиск водяної пари над розчином буде при 100 °С нижче 1 ат, і розчин закипить при вищій температурі (117°C), коли тиск пари над ним досягне 1 ат.

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

$$\Delta' = t - t_r. \quad (1.1)$$

Температурна депресія залежить від властивостей розчиненої речовини та розчинника; вона підвищується зі збільшенням концентрації розчину та тиску. Визначається температурна депресія дослідним (більшість дослідних даних відноситься до температурної депресії при атмосферному тиску).

Якщо відома температурна депресія при атмосферному тиску  $\Delta^{\text{атм}}$ , можна знайти депресію і за інших тисків за наближеною формулою Тищенко

$$\Delta' = 16,2 \cdot \frac{T^2}{r} \cdot \Delta^{\text{атм}}, \quad (1.2)$$

де  $T$  і  $r$  – абсолютна температура кипіння (в °К) та теплота випаровування (в Дж/кг) для води при цьому тиску.

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

Гідростатична депресія  $\Delta''$  викликається тим, що нижні шари рідини в апараті закипають за більш високої температури, ніж верхні (внаслідок гідростатичного тиску верхніх шарів). Якщо, наприклад, нагрівати при атмосферному тиску воду до температури кипіння в трубі заввишки 10 м, верхній шар води закипить при температурі 100°C, а нижній шар, що перебуває під тиском 2 ат – при температурі ~120°C. В даному випадку гідростатична депресія змінюється по висоті труби 0°C (зверху) до 20°C (знизу) і в середньому складає 10°C. Розрахунок гідростатичної депресії у

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



випарних апаратах неможливий, так як рідина в них (в основному у вигляді парорідинної суміші) знаходиться в русі. Зі підвищенням рівня рідини в апараті гідростатична депресія зростає. У середньому вона становить 1-3°C.

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

При кипінні чистої води температурний напір дорівнює різниці температури пари, що гріє, і температури киплячої води, яка в цьому випадку дорівнює температурі насичення вторинної пари. При кипінні розчину температура насичення вторинної пари, що відповідає тиску в апараті, не змінюється, а температура кипіння розчину підвищується на величину депресії. Отже, ту саму величину депресії зменшується і температурний напір. Таким чином, депресія спричиняє втрату температурного напору, внаслідок чого її називають температурною втратою. Повна депресія  $\Delta$  дорівнює сумі температурної, гідростатичної та гідравлічної депресій

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' . \quad (1.3)$$

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

$$t = t_r + \Delta . \quad (1.4)$$

### 1.3 Опис конструкції та принцип дії апарату [5]

Випарний апарат з природною циркуляцією складається з гріючої камери 1, сепаратора 2, які сполучаються за допомогою нагріваючої циркуляційної труби 3. У верхній частині апарату знаходиться краплевловлювач 4.

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

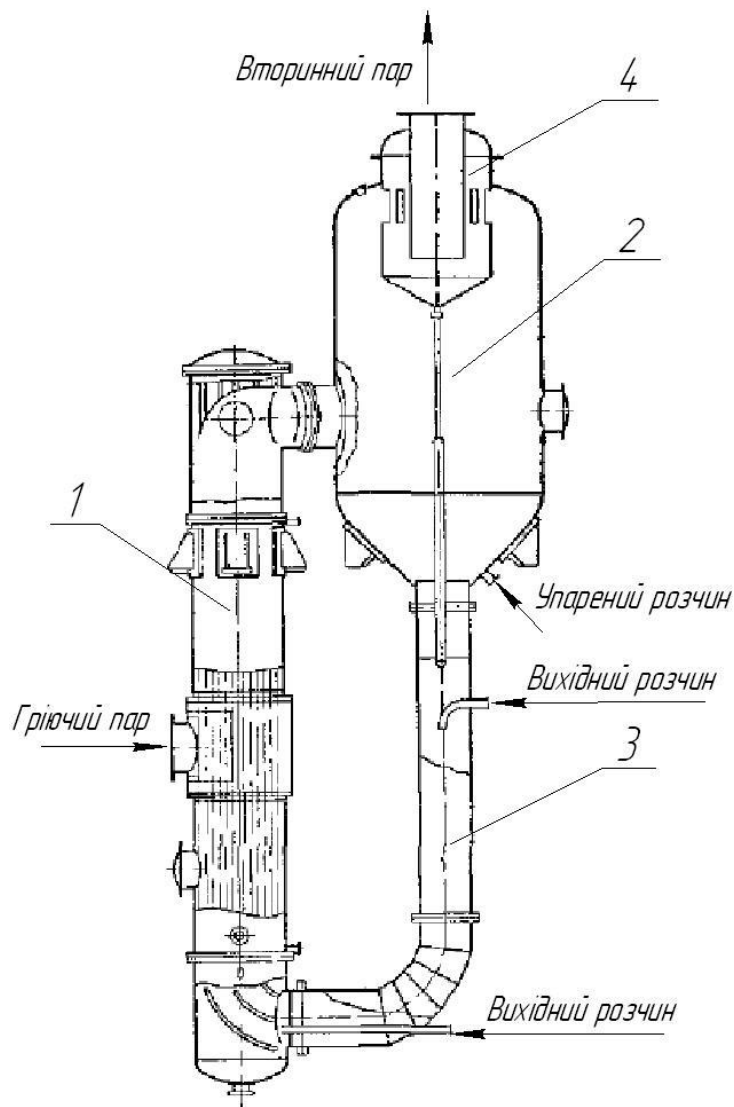


Рисунок 2 - Випарний апарат з виносною гріючою камерою:

1 – гріюча камера; 2 – сепаратор; 3 – нагріваюча циркуляційна труба;  
4 – краплєвловлювач.

### Принцип дії

Апарат з виносною гріючою камерою має кип'ятильні труби, довжина яких часто досягає 7 м. Він працює при більш інтенсивній природній циркуляції, зумовленою тим, що циркуляційна труба не обігрівається, а підйомна і опускна ділянки циркуляційного контуру має значну висоту. Виносна гріюча камера 1 легко відділяється від корпусу апарату, що полегшує її ремонт і чистку. Вхідний розчин подається під нижню трубу решітку гріючої камери і, піднімаючись по кип'ятильних трубах, випаровується. Іноді подачу вихідного розчину, проводять в циркуляційну трубу. Вторинна пара відділяється від рідини в сепараторі 2. Рідина

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

опускається по необгріваючій циркуляційній трубі 3, змішується з вихідним розчином, і цикл циркуляції повторюється знову. Вторинна пара, пройшовши краплєловлювач 4, виділяється зверху сепаратора. Упарений розчин відбирається через боковий штуцер в кінці днищі сепаратора.

Природна циркуляція розчину посилюється, якщо розчин на опускній ділянці циркуляційного контуру краще охолоджуватися. Цим збільшується швидкість природної циркуляції у випарних апаратах із виносними циркуляційними трубами. При розміщенні циркуляційних труб поза корпусом апарата діаметр нагрівальної камери може бути зменшений у порівнянні з камерою апарату.

Конструкції таких апаратів дещо складніші, але в них досягається інтенсивніша теплопередача і зменшується витрата металу на 1 м<sup>2</sup> поверхні нагрівання в порівнянні з апаратами з підвісною нагрівальною камерою або центральною циркуляційною трубою.

#### 1.4 Вибір конструкційного матеріалу апарату

Вибір конструкційного матеріалу, що визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарату (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості продукту, що переробляється і т. д.), слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення продукту (вироби).

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням харчового продукту з підвищеною вимогою до його якості, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято корозійностійку сталь аустенітного класу 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати у температурному інтервалі - 256°С до + 525 °С для корпусних елементів, до 600 °С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному та гарячому стані, добре обробляється усіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 1.1

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Таблиця 1.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 12Х18Н10Т

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	E·10 <sup>5</sup> МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,12	2,0	0,8	17-18	2-11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	216	530	40

До недоліків цієї сталі слід віднести те, що через велику в'язкість вона гірше піддається механічній обробці. Однак, враховуючи, що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється тільки за місцем стику елементів конструкції, що зварюються, то цей фактор не має істотного впливу в цілому на вартість виготовлення апарату.

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з середовищем, що переробляється, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності та досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 20

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E·10 <sup>5</sup> МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,23-0,3	0,5-0,8	0,05-0,19	0,3	0,5	0,3	0,08	0,05	0,04	2,0	280	400	23

Як прокладочний матеріал, відповідно до цих же рекомендацій, приймаємо пароніт, що отримується з суміші азбестових волокон, розчинника, каучуку і наповнювачів.

Листовий пароніт загального призначення застосовують для ущільнення плоских роз'ємів нерухомих з'єднань із тиском середовища не більше 4,0 МПа. Фізико – механічні показники пароніту:

поглинання води, не більше, %	14;
межа міцності при розриві, не менше, МПа	6,0;
гранична температура застосування, 0С	
для прісної води	250;
для водяної пари	450;
для повітря	от - 50 до + 50.

## 2 Технологічні розрахунки процесу та апарату

### 2.1 Матеріальний та тепловий баланси

Для визначення теплових навантажень  $Q$ , коефіцієнтів тепловіддачі  $K$  та корисних різниць температур  $\Delta t_{\text{пол}}$  необхідно знати розподіл води, що випаровується, концентрацій розчину та їх температур кипіння по корпусах установки. Ці величини знаходять шляхом послідовних наближень.

Розглянемо перше наближення.

Загальна кількість випареної води у випарній установці

$$W = G_n \cdot \left(1 - \frac{x_n}{x_k}\right), \quad (2.1)$$

де  $G_n$  – продуктивність установки за вихідним матеріалом;

$$G_n = \frac{80000}{3600} = 22 \text{ кг/с.}$$

$x_n$  – початкова масова концентрація розчину,  $x_n = 14\%$ ;  $x_k$  – кінцева масова концентрація розчину,  $x_k = 65\%$ .

$$W = 22 \cdot \left(1 - \frac{14,0}{65}\right) = 15,7 \text{ кг/с.}$$

Розподіл концентрацій розчину по корпусах установки залежить від співвідношення навантажень по воді, що випаровується в кожному корпусі. На підставі практичних даних продуктивність по воді, що випаровується, розподіляється між корпусами відповідно до співвідношення [9, с.116]

$$W_1 : W_2 : W_3 : W_4 = 1,0 : 1,12 : 1,18 : 1,32.$$

Тоді кількість випареної води:  
у першому корпусі

$$W_1 = W \cdot \frac{1,0}{1,0 + 1,12 + 1,18 + 1,32} = 15,7 \cdot \frac{1,0}{4,62} = 3,4 \text{ кг/с;}$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

у другому корпусі

$$W_2 = W \cdot \frac{1,12}{1,0 + 1,12 + 1,18 + 1,32} = 15,7 \cdot \frac{1,12}{4,62} = 3,81 \text{ кг/с};$$

у третьому корпусі

$$W_3 = W \cdot \frac{1,18}{1,0 + 1,12 + 1,18 + 1,32} = 15,7 \cdot \frac{1,18}{4,62} = 4,0 \text{ кг/с};$$

у четвертому корпусі

$$W_4 = W \cdot \frac{1,32}{1,0 + 1,12 + 1,18 + 1,32} = 15,7 \cdot \frac{1,32}{4,62} = 4,49 \text{ кг/с}.$$

Концентрація розчинів по корпусах:

у першому корпусі

$$x_1 = \frac{G_H \cdot x_H}{G_H - W_1} \quad (2.2)$$

$$x_1 = \frac{22 \cdot 0,14}{22 - 3,4} = 0,169 = 16,9 \%;$$

у другому корпусі

$$x_2 = \frac{G_H \cdot x_H}{G_H - W_1 - W_2} \quad (2.3)$$

$$x_2 = \frac{22 \cdot 0,14}{22 - 3,4 - 3,81} = 0,219 = 21,9 \%;$$

у третьому корпусі

$$x_3 = \frac{G_H \cdot x_H}{G_H - W_1 - W_2 - W_3} \quad (2.4)$$

$$x_3 = \frac{22 \cdot 0,14}{22 - 3,4 - 3,81 - 4,0} = 0,319 = 31,9 \%;$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

у четвертому корпусі

$$x_4 = \frac{G_H \cdot x_H}{G_H - W_1 - W_2 - W_3 - W_4} \quad (2.5)$$

$$x_4 = \frac{22 \cdot 0,14}{22 - 3,4 - 3,81 - 4,0 - 4,49} = 0,65 = 65 \%$$

Концентрація розчину в останньому корпусі ( $x_4$ ) відповідає заданій концентрації випареного розчину, тобто.  $x_k = x_4$ .

Загальний перепад тиску в установці

$$\Delta p_{об} = p_{r_1} - p_{бк} = 4,0 - 0,15 = 3,85 \text{ ата} \approx 0,385 \text{ МПа.}$$

У першому наближенні загальний перепад тиску розподіляємо між корпусами порівну. Тоді тиск пар, що гріють, в корпусах:

$$p_{r_1} = 0,4 \text{ МПа;}$$

$$p_{r_2} = p_{r_1} - \frac{\Delta p_{об}}{4} = 0,4 - \frac{0,385}{4} = 0,304 \text{ МПа;}$$

$$p_{r_3} = p_{r_2} - \frac{\Delta p_{об}}{4} = 0,304 - \frac{0,385}{4} = 0,208 \text{ МПа;}$$

$$p_{r_4} = p_{r_3} - \frac{\Delta p_{об}}{4} = 0,208 - \frac{0,385}{4} = 0,112 \text{ МПа.}$$

$$p_{бк} = p_{r_4} - \frac{\Delta p_{об}}{4} = 0,112 - \frac{0,385}{4} = 0,015 \text{ МПа.}$$

За тисками парів знаходимо їх температури та ентальпії

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 2.1.

Тиск, МПа	Температура, °С	Ентальпія, кДж/кг
$p_{r_1} = 0,4$	$t_{r_1} = 142,9$	$J_1 = 2744$
$p_{r_2} = 0,304$	$t_{r_2} = 133,0$	$J_2 = 2721$
$p_{r_3} = 0,208$	$t_{r_3} = 121,2$	$J_3 = 2712$
$p_{r_4} = 0,112$	$t_{r_4} = 101,0$	$J_4 = 2677$
$p_{бк} = 0,015$	$t_{бк} = 53,6$	$J_{бк} = 2596$

Гідродинамічна депресія обумовлена втратою тиску пари на подолання гідравлічних опорів трубопроводів під час переходу з корпусу в корпус. Зазвичай у розрахунках приймають  $\Delta''' = 1,0 \div 1,5$  град на корпус. Прийmemo для кожного корпусу  $\Delta''' = 1$  град. Тоді температура вторинної пари на корпусах

$$t_{ВП_1} = t_{r_2} + \Delta''' = 133,0 + 1 = 134,0 \text{ °С};$$

$$t_{ВП_2} = t_{r_3} + \Delta''' = 121,2 + 1 = 122,2 \text{ °С};$$

$$t_{ВП_3} = t_{r_4} + \Delta''' = 101 + 1 = 102 \text{ °С};$$

$$t_{ВП_4} = t_{бк} + \Delta''' = 53,6 + 1 = 54,6 \text{ °С}.$$

Сума гідродинамічних депресій

$$\sum \Delta''' = \Delta'''_1 + \Delta'''_2 + \Delta'''_3 + \Delta'''_4 = 1 + 1 + 1 + 1 = 4 \text{ °С}.$$

За температурами вторинної пари визначимо їх тиск [2]

Таблиця 2.2.

Температура, °С	Тиск, МПа	Теплота пароутворення, кДж/кг
$t_{ВП_1} = 134,0$	0,31	2168
$t_{ВП_2} = 122,2$	0,218	2200
$t_{ВП_3} = 102$	0,111	2258
$t_{ВП_4} = 65,2$	0,016	2345



Гідростатична депресія обумовлена різницею тисків у середньому шарі киплячого розчину та на його поверхні. Тиск у середньому шарі киплячого розчину  $p_{cp}$  кожного корпусу визначається за рівнянням [4]

$$p_{cp} = p_{ВП} + \frac{\rho \cdot g \cdot H}{2} (1 - \varepsilon), \quad (2.6)$$

де  $H$  – висота кип'ятильних труб в апараті, м;  $\rho$  – щільність киплячого розчину, кг/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon$  – паронакопичення (об'ємна частка пари в киплячому розчині), м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Попередньо виберемо стандартну довжину окропу  $L = 6,0$  м. При пухирцевому режимі кипіння паронаповнення становить  $\varepsilon = 0,4 \div 0,6$ .

Тиск у середньому шарі кип'ятильних труб корпусів дорівнює:

$$p_{1cp} = 0,31 \cdot 10^6 + \frac{1094 \cdot 9,81 \cdot 6,0}{2} \cdot (1 - 0,4) = 0,326 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

$$p_{2cp} = 0,218 \cdot 10^6 + \frac{1136 \cdot 9,81 \cdot 6,0}{2} \cdot (1 - 0,4) = 0,235 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

$$p_{3cp} = 0,111 \cdot 10^6 + \frac{1192 \cdot 9,81 \cdot 6,0}{2} \cdot (1 - 0,4) = 0,129 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

$$p_{4cp} = 0,016 \cdot 10^6 + \frac{1234 \cdot 9,81 \cdot 6,0}{2} \cdot (1 - 0,4) = 0,034 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Отриманим тиском відповідають наступні температури кипіння та теплоти випаровування води

Таблиця 2.3.

Тиск, МПа	Температура кипіння, °С	Теплота пароутворення, кДж/кг
$p_{1cp} = 0,326$	135,5	2163
$p_{2cp} = 0,235$	125,0	2194
$p_{3cp} = 0,129$	106,5	2243
$p_{4cp} = 0,034$	71,4	2330

Визначаємо гідростатичну депресію по корпусах:

$$\Delta_1'' = 135,5 - 134,0 = 1,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_2'' = 125,0 - 122,2 = 2,8 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_3'' = 106,5 - 102,0 = 4,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_4'' = 71,4 - 65,2 = 6,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Сума гідростатичних депресій

$$\Sigma\Delta'' = 1,5 + 2,8 + 4,5 + 6,2 = 15 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температурна депресія  $\Delta'$  визначається за рівнянням [4]

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \left( \frac{T^2}{r_{\text{ВП}}} \right) \cdot \Delta'_{\text{атм}} \quad (2.7)$$

де  $T$  – абсолютна температура в середньому шарі окропу;  $\Delta'_{\text{атм}}$  – температурна депресія при атмосферному тиску

Знаходимо значення  $\Delta'$  по корпусах:

$$\Delta_1' = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(135,5 + 273)^2}{2163} \cdot 0,7 = 0,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_2' = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(125,5 + 273)^2}{2194} \cdot 3,7 = 2,8 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_3' = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(106,5 + 273)^2}{2243} \cdot 5,1 = 5,3 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_4' = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(71,4 + 273)^2}{2330} \cdot 5,5 = 4,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Сума температурних депресій

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$\Sigma \Delta' = \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 + \Delta'_4 = 0,5 + 2,8 + 5,3 + 4,5 = 13,1^\circ\text{C}.$$

Температура кипіння розчинів по корпусах:

$$t_{K_1} = t_{r_2} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 133,0 + 0,5 + 1,5 + 1,0 = 136,0^\circ\text{C};$$

$$t_{K_2} = t_{r_3} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 121,2 + 2,8 + 2,8 + 1,0 = 127,8^\circ\text{C};$$

$$t_{K_3} = t_{r_4} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 101,0 + 5,3 + 4,5 + 1,0 = 111,8^\circ\text{C};$$

$$t_{K_4} = t_{\text{бк}} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 53,6 + 4,5 + 6,2 + 1,0 = 65,3^\circ\text{C}.$$

Корисна різниця температур по корпусах:

$$\Delta t_{\Pi_1} = t_{r_1} - t_{K_1} = 142,9 - 136,0 = 6,9^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\Pi_2} = t_{r_2} - t_{K_2} = 133,0 - 127,8 = 5,2^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\Pi_3} = t_{r_3} - t_{K_3} = 121,2 - 111,8 = 9,4^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\Pi_4} = t_{r_4} - t_{K_4} = 101,0 - 65,3 = 35,7^\circ\text{C}.$$

Загальна корисна різниця температур

$$\Sigma \Delta t_{\Pi} = 6,9 + 5,2 + 9,4 + 35,7 = 60,2^\circ\text{C}.$$

Витрата пари, що гріє, в перший корпус, продуктивність кожного корпусу по випареній воді і теплові навантаження визначимо шляхом спільного вирішення рівнянь теплових балансів по корпусах і рівняння балансу по воді для всієї установки:

$$Q_1 = D \cdot (J_{r_1} - i_1) = 1,03 \cdot [G_H \cdot c_H \cdot (t_{K_1} - t_H) + W_1 \cdot (J_{\text{ВП}_1} - c_B \cdot t_{K_1}) + Q_{1\text{конц}}]; \quad (2.8)$$

$$Q_2 = W_1 \cdot (J_{r_2} - i_2) = 1,03 \cdot [(G_H - W_1) \cdot c_1 \cdot (t_{K_2} - t_{K_1}) + W_2 \cdot (J_{\text{ВП}_2} - c_B \cdot t_{K_2}) + Q_{2\text{конц}}]; \quad (2.9)$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$Q_3 = W_2 \cdot (J_{r_3} - i_3) = 1,03 \cdot [(G_H - W_1 - W_2) \cdot c_2 \cdot (t_{K_3} - t_{K_2}) + W_3 \cdot (J_{ВП_3} - c_B \cdot t_{K_3}) + Q_{3\text{конц}}]; (2.10)$$

$$Q_4 = W_3 \cdot (J_{r_4} - i_4) = 1,03 \cdot [(G_H - W_1 - W_2 - W_3) \cdot c_3 \cdot (t_{K_4} - t_{K_3}) + W_4 \cdot (J_{ВП_4} - c_B \cdot t_{K_4}) + Q_{4\text{конц}}]; (2.11)$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4, (2.12)$$

де 1,03 - коефіцієнт, що враховує 3% втрат тепла у навколишнє середовище.

При розв'язанні рівнянь можна прийняти

$$J_{ВП_1} \approx J_{r_2}; \quad J_{ВП_2} \approx J_{r_3}; \quad J_{ВП_3} \approx J_{r_4}; \quad J_{ВП_4} \approx J_{бк};$$

$c_H, c_1, c_2, c_3$  – теплоємності розчинів відповідно вихідного, у першому, у другому і третьому корпусах, кДж/кг;

$Q_{1\text{конц}}, Q_{2\text{конц}}, Q_{3\text{конц}}, Q_{4\text{конц}}$  – теплота концентрування по корпусах, кВт;  $t_H$  – температура кипіння вихідного розчину, °С.

$$t_H = t_{ВП_1} + \Delta'_H = 134,0 + 0,7 = 134,7^\circ\text{C},$$

де  $\Delta'_H$  – температурна депресія початкового розчину. Оскільки  $Q_{\text{конц}}$  зазвичай становить менше 3% від  $Q$  корпуси в рівняннях теплових балансів, то величиною  $Q_{\text{конц}}$  можна знехтувати. Тоді отримаємо:

$$Q_1 = D \cdot (2744 - 602) = 1,03 \cdot [22 \cdot 3,85 \cdot (136 - 134,7) + W_1 \cdot (2721 - 4,19 \cdot 136)];$$

$$Q_2 = W_1 \cdot (2721 - 559) = 1,03 \cdot [(22 - W_1) \cdot 3,72 \cdot (127,8 - 136) + W_2 \cdot (2712 - 4,19 \cdot 127,8)];$$

$$Q_3 = W_2 \cdot (2712 - 508) = 1,03 \cdot [(22 - W_1 - W_2) \cdot 3,59 \cdot (111,8 - 127,8) + W_3 \cdot (2596 - 4,19 \cdot 111,8)];$$

$$Q_4 = W_3 \cdot (2596 - 225) = 1,03 \cdot [(22 - W_1 - W_2 - W_3) \cdot 3,47 \cdot (65,3 - 111,8) + W_4 \cdot (2596 - 4,19 \cdot 65,3)];$$

$$15,7 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4.$$

Рішення системи рівнянь дає такі результати:

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_1 = 3,4 \text{ кг/с}; W_2 = 3,8 \text{ кг/с}; W_3 = 4,02 \text{ кг/с};$$

$$W_4 = 4,48 \text{ кг/с}; D = 3,57 \text{ кг/с}; Q_1 = 7637 \text{ кВт};$$

$$Q_2 = 7351 \text{ кВт}; Q_3 = 8375 \text{ кВт}; Q_4 = 9531 \text{ кВт}.$$

Найбільше відхилення обчислених навантажень по воді, що випаровується, в кожному корпусі від попередньо прийнятих становлять близько 3%, тому перераховувати концентрації і температури кипіння не потрібно.

Таблиця 2.4. Параметри розчинів та пари по корпусах.

Параметр	Корпус			
	1	2	3	4
Продуктивність по воді, що випаровується W, кг/с	3,4	3,8	4,02	4,48
Концентрація розчинів x, %	16,9	21,9	31,9	65,0
Тиск гріючої пари $p_r$ , МПа	0,4	0,306	0,212	0,119
Температура гріючої пари $t_r$ , °С	142,9	133,0	121,2	101,0
Температурні втрати $\Sigma\Delta$ , град	3,0	6,6	10,8	12,7
Температура кипіння розчину $t_k$ , °С	136,0	127,8	111,8	65,3
Корисна різниця температур $\Delta t_{п}$ , град	6,9	8,2	9,4	35,7

## 2.2 Технологічні розрахунки

Коефіцієнт теплопередачі для першого корпусу K1 визначимо за рівнянням адитивності термічних опорів

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (2.13)$$

Прийmemo, що сумарний термічний опір дорівнює термічного опору стінки  $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$  і накипи  $\frac{\delta_{н}}{\lambda_{н}}$ . Термічний опір з боку пари не враховуємо. Отримаємо

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,002}{25,1} + \frac{0,0005}{2,42} = 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Коефіцієнт теплопередачі від пари, що конденсується, до стінки  $\alpha_1$  дорівнює

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{r_1 \cdot \rho_{ж}^2 \cdot \lambda_{ж}^3}{\mu_{ж} \cdot H \cdot \Delta t_1}}, \quad (2.14)$$

де  $r_1$  – теплота конденсації пари, що гріє, Дж/кг;  $\rho_{ж}$ ,  $\lambda_{ж}$ ,  $\mu_{ж}$  – с відповідно щільність (кг/м<sup>3</sup>), теплопровідність (Вт/м·К) і в'язкість (Па·с) конденсату при середній температурі плівки

$$t_{пл} = t_{r_1} - \frac{\Delta t_1}{2}, \quad (2.15)$$

де  $\Delta t_1$  – різниця температур конденсації пари та стінки, град. Розрахунок  $\alpha_1$  ведуть методом послідовних наближень. У першому наближенні прийmemo  $\Delta t_1 = 1,5$  град. Тоді

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2141 \cdot 10^3 \cdot 926^2 \cdot 0,684^3}{0,177 \cdot 10^{-3} \cdot 6,0 \cdot 1,5}} = 8940 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Для процесу передачі тепла, що встановився, справедливе рівняння

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \frac{1}{\sum \frac{\delta}{\lambda}} \cdot \Delta t_{ст} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2, \quad (2.16)$$

де  $q$  – питоме теплове навантаження, Вт/м<sup>2</sup>;  $\Delta t_{ст}$  – перепад температур на стінці, град;  $\Delta t_2$  – різниця між температурою стінки з боку розчину та температурою кипіння розчину, град.

З розподілу температур у процесі теплопередачі від пари через стінку до киплячого розчину

$$\Delta t_{ст} = \Delta \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} \quad (2.17)$$

$$\Delta t_{ст} = 8940 \cdot 1,5 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 3,8 \text{ град,}$$

тоді

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{п}} - \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t_1 = 6,9 - 3,8 - 1,5 = 1,6 \text{ град.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину для бульбашкового кипіння у вертикальних кип'ятільних трубках дорівнює

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{\lambda^{1,3} \cdot \rho^{0,5} \cdot \rho_{\text{п}}^{0,06}}{\sigma^{0,5} \cdot r^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c^{0,3} \cdot \mu^{0,3}} \quad (2.18)$$

Тут фізичні властивості розчину в умовах кипіння наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Фізичні властивості киплячих розчинів та їх парів.

Параметр	Корпус			
	1	2	3	4
Теплопровідність розчину $\lambda$ , Вт/м·К	0,644	0,656	0,673	0,684
Щільність розчину $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1094	1136	1192	1234
Теплоємність розчину $c$ , кДж/кг·К	3,85	3,72	3,59	3,47
В'язкість розчину $\mu$ , Па·с	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$0,36 \cdot 10^{-3}$	$0,41 \cdot 10^{-3}$	$0,44 \cdot 10^{-3}$
Поверхневий натяг $\sigma$ , Н/м	0,0696	0,0693	0,0597	0,0543
Теплота пароутворення $r$ , кДж/кг	2168	2200	2258	2345
Щільність пари $\rho_{\text{п}}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,49	1,07	0,64	0,16

Тоді

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,644^{1,3} \cdot 1094^{0,5} \cdot 1,49^{0,06}}{0,0696^{0,5} \cdot (2168 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3850^{0,3} \cdot (0,32 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 27,37 \cdot q^{0,6}$$

$$\alpha_2 = 27,37 \cdot q^{0,6} = 27,37 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 27,37 \cdot (8940 \cdot 1,5)^{0,6} = 8199 \text{ Вт/м}^2.$$

Перевіримо правильність першого наближення щодо рівності питомих теплових навантажень

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 8940 \cdot 1,5 = 13410 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 8199 \cdot 1,6 = 13118 \text{ Вт/м}^2.$$

Отже

$$q' \approx q''.$$

Знаходимо  $K_1$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{8940} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{8199}} = 1919 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі K2 для другого корпусу

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2168 \cdot 10^3 \cdot 940^2 \cdot 0,684^3}{0,242 \cdot 10^{-3} \cdot 6,0 \cdot 1,8}} = 8779 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 8779 \cdot 1,8 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 4,5 \text{ град};$$

$$\Delta t_2 = 8,2 - 1,8 - 4,5 = 1,9 \text{ град};$$

$$\alpha_2 = 780 \cdot (8779 \cdot 1,5)^{0,6} \cdot \frac{0,656^{1,3} \cdot 1136^{0,5} \cdot 1,07^{0,06}}{0,0693^{0,5} \cdot (2200 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3600^{0,3} \cdot (0,36 \cdot 10^{-3})^{0,3}} =$$

$$= 13169 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$q' = 8779 \cdot 1,8 = 15802 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 8179 \cdot 1,9 = 15541 \text{ Вт/м}^2.$$

Маємо  $q' \approx q''$ .

Знайдемо K2.

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{8779} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{8179}} = 1912 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі K3 для третього корпусу

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2200 \cdot 10^3 \cdot 955^2 \cdot 0,682^3}{0,278 \cdot 10^{-3} \cdot 6,0 \cdot 2,1}} = 7490 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 7490 \cdot 2,1 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 4,5 \text{ град};$$

$$\Delta t_2 = 9,4 - 4,5 - 2,1 = 2,8 \text{ град};$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



$$\alpha_2 = 780 \cdot (7490 \cdot 2,1)^{0,6} \cdot \frac{0,521^{1,3} \cdot 1192^{0,5} \cdot 0,64^{0,06}}{0,0597^{0,5} \cdot (2258 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3590^{0,3} \cdot (0,41 \cdot 10^{-3})^{0,3}} =$$

$$= 5691 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$q' = 7490 \cdot 2,1 = 15725 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 5691 \cdot 2,8 = 15936 \text{ Вт/м}^2.$$

Маємо  $q' \approx q''$ .

Знайдемо  $K_3$ .

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{7490} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{5691}} = 1675 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі  $K_4$  для четвертого корпусу

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2345 \cdot 10^3 \cdot 969^2 \cdot 0,675^3}{0,347 \cdot 10^{-3} \cdot 6,0 \cdot 5,0}} = 5794 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 5794 \cdot 5,0 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 8,3 \text{ град};$$

$$\Delta t_2 = 19,7 - 8,3 - 5,0 = 6,4 \text{ град};$$

$$\alpha_2 = 780 \cdot (5794 \cdot 5,0)^{0,6} \cdot \frac{0,684^{1,3} \cdot 1234^{0,5} \cdot 0,16^{0,06}}{0,0543^{0,5} \cdot (2345 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3470^{0,3} \cdot (0,44 \cdot 10^{-3})^{0,3}} =$$

$$= 4548 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$q' = 5794 \cdot 5,0 = 28970 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 4548 \cdot 6,4 = 29108 \text{ Вт/м}^2.$$

Маємо  $q' \approx q''$ .

Знайдемо  $K_4$ .

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$K_4 = \frac{1}{\frac{1}{5794} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{4548}} = 1471 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

### 2.3 Конструктивні розрахунки

Корисні різниці температур у корпусах установки знаходимо з умови рівності їх поверхонь теплопередачі

$$\Delta t_{\pi_i} = \sum \Delta t_{\pi} \cdot \frac{\frac{Q_i}{K_i}}{\sum_{i=1}^3 \frac{Q}{K}}, \quad (2.19)$$

де  $\Delta t_{\pi_i}$ ,  $Q_i$ ,  $K_i$  – відповідно, корисна різниця температур, теплове навантаження, коефіцієнт теплопередачі для  $i$ -го корпусу.

$$\Delta t_{\pi_1} = 60,2 \cdot \frac{\frac{7637}{1919}}{\frac{7637}{1919} + \frac{7351}{1912} + \frac{8375}{1675} + \frac{9531}{1471}} = 60,2 \cdot \frac{3,98}{3,98 + 3,84 + 5,0 + 6,48} = 12,4 \text{ град;}$$

$$\Delta t_{\pi_2} = 60,2 \cdot \frac{3,84}{19,3} = 12,0 \text{ град;}$$

$$\Delta t_{\pi_3} = 60,2 \cdot \frac{5,0}{19,3} = 15,6 \text{ град;}$$

$$\Delta t_{\pi_4} = 60,2 \cdot \frac{6,48}{19,3} = 20,2 \text{ град.}$$

Перевіримо загальну корисну різницю температур установки

$$\sum \Delta t_{\pi} = 12,4 + 12,0 + 15,6 + 20,2 = 60,2 \text{ град.}$$

Тепер розрахуємо поверхню теплопередачі випарних апаратів

$$F_1 = \frac{7637 \cdot 10^3}{1919 \cdot 12,4} = 320,9 \text{ м}^2;$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$F_2 = \frac{7351 \cdot 10^3}{1912 \cdot 12,0} = 320,4 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = \frac{8375 \cdot 10^3}{1675 \cdot 15,6} = 320,5 \text{ м}^2;$$

$$F_4 = \frac{9531 \cdot 10^3}{1471 \cdot 20,2} = 320,8 \text{ м}^2.$$

Остаточню вибираємо за ГОСТ 11987-81 випарний апарат типу 2, виконання 1 з площею теплообміну  $F = 400 \text{ м}^2$  що складається з кип'ятільних труб довжиною 6 м, діаметра  $d_k = 38 \text{ мм}$  та товщиною стінки  $\delta_{ст} = 2 \text{ мм}$ .

Внутрішній діаметр камери, що гріє, при розміщенні труб по вершинах рівносторонніх трикутників. [4]

$$D_k = \sqrt{\frac{1,27 \cdot \sin \alpha \cdot t^2 \cdot n}{\varphi}}, \quad (2.20)$$

де  $t$  крок між трубами, м;  $n$  – число труб камери, що гріє;  $\varphi$  – коефіцієнт використання трубних ґрат ( $\varphi = 0,7 \div 0,9$ ).

Стандартний крок розбивки труб на решітці [4]:  $t = 48 \text{ мм}$ .

Число труб гріючої камери

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot L} \quad (2.21)$$

$$n = \frac{400}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 6} = 559,$$

Приймаємо стандартне значення  $n = 581$ .

Тоді

$$D_k = \sqrt{\frac{1,27 \cdot \sin 60^\circ \cdot 0,048^2 \cdot 581}{0,7}} = 1,45 \text{ м},$$

приймаємо стандартне значення діаметра камери, що гріє  $D_k = 1400 \text{ мм}$ .  
Діаметр циркуляційної труби [4]

$$D_{ц} = \sqrt{(0,9 \div 1,5) \cdot d_{вн}^2 \cdot n} \quad (2.22)$$

$$D_{ц} = \sqrt{1,2 \cdot 0,034^2 \cdot 581} = 0,898 \text{ м},$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймаємо стандартне значення діаметра циркуляційної труби  $D_{ц} = 900$  мм.  
Допустима напруга парового простору [7, с.129]

$$W' = f_1 \cdot f_2 \cdot W_{атм} \quad (2.23)$$

$$W' = 2,7 \cdot 0,51 \cdot 1000 = 1377 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{ч.}$$

Об'єм сепаратора

$$V_c = \frac{W}{W'} \quad (2.24)$$

$$V_c = 15,7 \cdot \frac{3600}{1377} = 41,05 \text{ м}^3.$$

За графіком [7, с.130] допустиме значення швидкості пари в сепараторі залежно від тиску

$$\omega = 2,8 \text{ м/с.}$$

Діаметр обичайки сепаратора

$$D_c = \sqrt{\frac{W \cdot \rho_{п}}{\omega \cdot 0,785}} \quad (2.25)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{15,7 \cdot 1,36}{2,8 \cdot 0,785}} = 3,12 \text{ м,}$$

Приймаємо стандартне значення

$$D_c = 3800 \text{ мм.}$$

#### 2.4 Гідравлічний опір апарата

Об'ємна витрата розчину

$$V = \frac{G_{п}}{\rho}, \quad (2.25)$$

де  $\rho$  – щільність розчину,  $\text{кг/м}^3$ .

$$V = \frac{22}{1094} = 18,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Рекомендована швидкість розчину [1,с.476]

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega = 1,5 \dots 3,5 \text{ м/с,}$$

приймаємо  $\omega = 2,5 \text{ м/с.}$

Величина критерію Re

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (2.26)$$

$$\text{Re} = \frac{2,5 \cdot 0,034 \cdot 1094}{0,32 \cdot 10^{-3}} = 290594,$$

отже, режим руху – турбулентний.

Для турбулентного руху в круглих трубах коефіцієнт тертя

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}}$$

$$\lambda = \frac{0,316}{290593^{0,25}} = 0,0136 .$$

Втрата тиску на тертя у прямих трубах

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{H}{D} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.27)$$

$$\Delta p_{\text{тр}} = 0,0136 \cdot \frac{6}{0,034} \cdot \frac{2,5^2 \cdot 1094}{2} = 8205 \text{ Па.}$$

Коефіцієнти місцевих опорів:

– вхід та вихід з труби,  $\xi_1 = 1,0$ ,

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

Втрати тиску на місцевих опорах

$$\Delta p_{\text{м}} = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.28)$$

$$\Delta p_{\text{м}} = (2 \cdot 1,0 + 1,0) \cdot \frac{2,5^2 \cdot 1094}{2} = 10256 \text{ Па.}$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Загальна втрата тиску у трубному просторі

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} = 8205 + 10256 = 18461 \text{ Па.}$$

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

Для створення вакууму в випаровуванні зазвичай використовуються змішування конденсаторів з барометричною трубою. Вода використовується як охолоджуючий засіб.

Споживання води визначається з теплового балансу конденсатора

$$G_{\text{в}} = \frac{W_4 \cdot (i_{\text{бк}} - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{к}})}{c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}, \quad (2.29)$$

де  $i_{\text{бк}}$  – Енталпію в барометричному конденсаторі, кДж/кг;  $c_{\text{в}} = 4190$  кДж/кг·К – теплоємність води;  $t_{\text{н}} = 10 \dots 20$  °С – Початкова температура охолоджуючої води;  $t_{\text{к}}$  – Кінцева температура водної суміші та конденсат, °С.

Різниця температури між паром та рідиною на виході конденсатора становить 3..5 градусів, тому кінцева температура води бере 3 ... 5 градусів. нижче температури конденсації пари

$$t_{\text{к}} = t_{\text{бк}} - 4,4 = 71,4 - 4,2 = 67 \text{ °С.}$$

Тоді

$$G_{\text{в}} = \frac{4,48 \cdot (2608 - 4,19 \cdot 67)}{4,19 \cdot (67 - 15)} = 11,37 \text{ кг/с.}$$

Діаметр барометричного конденсатора визначається з рівняння споживання

$$d_{\text{бк}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W_4}{\rho_{\text{п}} \cdot \pi \cdot w_{\text{п}}}}, \quad (2.30)$$

де  $\rho_{\text{п}}$  – щільність пари в конденсаторі, кг/м<sup>3</sup>;  $w_{\text{п}}$  – Швидкість пари, взята в межах 15÷25 м/с.

$$d_{\text{бк}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,48}{0,16 \cdot 3,14 \cdot 20}} = 0,6 \text{ м.}$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

По ОСТ 26716-73 обираю конденсатор з діаметром  $D_{BK} = 600$  мм та діаметром барометричної труби  $D_{BT} = 150$  мм.

Швидкість води в барометричній трубі

$$\omega = \frac{4 \cdot (G_B + W_4)}{\rho_B \cdot \pi \cdot d_{BT}^2}, \quad (2.31)$$

де  $\rho_B = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – Щільність води.

$$\omega = \frac{4 \cdot (11,37 + 4,48)}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,15^2} = 0,7 \text{ м/с.}$$

Висота барометричної труби

$$H_{BT} = \frac{B}{\rho_B \cdot g} + \left( 1 + \sum \zeta + \lambda \cdot \frac{H_{BT}}{d_{BT}} \right) \cdot \frac{w_{BT}^2}{2 \cdot g} + 0,5, \quad (2.32)$$

де  $B$  – Вакуум у барометричному конденсаторі, Па;  $\sum \zeta$  – Кількість локальних коефіцієнтів опору;  $\lambda$  - Коефіцієнт тертя в барометричній трубі;  $H_{BT}$ ,  $d_{BT}$  – висота і діаметр барометричної труби, м; 0,5 - Резерв висоти для можливих змін барометричного тиску, м.

$$B = P_{атм} - P_{ок} = (1 - 0,25) \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 7,36 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

$$\sum \zeta = \zeta_{вх} + \zeta_{вых} = 0,5 + 1,0 = 1,5,$$

де  $\zeta_{вх}$ ,  $\zeta_{вых}$  - Коефіцієнти локальних опорів на вході в трубу та на виході з неї [2].

Значення критерію Re

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{BT} \cdot \rho_B}{\mu_B}, \quad (2.33)$$

де  $\mu_B$  – Водна в'язкість, що визначається середньою температурою, Па·с.

$$t_{cp} = \frac{t_H + t_K}{2} = \frac{67 + 16}{2} = 41,5 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$Re = \frac{0,7 \cdot 0,15 \cdot 1000}{0,614 \cdot 10^{-3}} = 171010.$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Для гладких труб при  $Re = 171010$  [2, рисунок 1.5]

$$\lambda = 0,022.$$

$$H_{\text{бт}} = \frac{11,37 \cdot 10^4}{9,8 \cdot 1000} + \left( 1 + 1,5 + 0,022 \cdot \frac{H_{\text{бт}}}{0,15} \right) \cdot \frac{0,7^2}{2 \cdot 9,8} + 0,5,$$

звідси

$$H_{\text{бт}} = 7,3 \text{ м.}$$

Далі ми визначаємо продуктивність вакууму насоса, який визначається кількістю повітря, вилученого з барометричного конденсатора

$$G_k = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (W + G_B) + 0,01 \cdot W_2, \quad (2.34)$$

де  $2,5 \cdot 10^{-5}$  – кількість газу, що виділяється з 1 кг води; 0,01 - кількість газу, що всмоктується в конденсатор через витоки на 1 кг пари.

$$G_k = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (4,48 + 11,37) + 0,01 \cdot 0,91 = 5,53 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с.}$$

Об'ємні показники насоса

$$V_{\text{возд}} = \frac{R \cdot (273 + t_{\text{возд}}) \cdot G_k}{M_{\text{возд}} \cdot P_{\text{возд}}}, \quad (2.35)$$

де  $R$  – Універсальна газова постійна, Дж/(кмоль·К);  $M_{\text{возд}}$  – Молекулярна маса повітря, кг/кмоль;  $t_{\text{возд}}$  – температура повітря, °С;  $P_{\text{возд}}$  – Частковий тиск сухого повітря в барометричному конденсаторі.

Температура повітря [7]

$$t_{\text{возд}} = t_n + 4 + 0,1 \cdot (t_k - t_n) = 16 + 4 + 0,1 \cdot (67 - 16) = 24,4^\circ\text{С.}$$

Тиск повітря

$$P_{\text{возд}} = P_{\text{бк}} - P_{\text{п}}, \quad (2.36)$$

де  $P_{\text{п}}$  – сухий насичений тиск пари при  $t_{\text{возд}} = 24,4^\circ\text{С}$ ,  $P_{\text{п}} = 0,034 \cdot 9,8 \cdot 10^4$  Па.

$$P_{\text{возд}} = (0,25 - 0,034) \cdot 9,8 \cdot 10^4 = 21168 \text{ Па.}$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$V_{\text{возд}} = \frac{8310 \cdot (273 + 24,4) \cdot 5,53 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 21168} = 0,0104 \text{ м}^3/\text{с} = 0,62 \text{ м}^3/\text{хв}$$

Знання об'ємної продуктивності повітря  $V_{\text{возд}}$  і залишковий тиск у конденсаторі  $P_{\text{бк}}$ , по ГОСТ 1867-57 Вибираємо тип вакуумного насоса VVN-1.5 на валу  $N_{\text{н}} = 2,1$  кВт.

Удільне споживання енергії на тону випареної води

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{н}} \cdot 1000}{W} \quad (2.37)$$

$$N_{\text{уд}} = \frac{2,1 \cdot 1000}{1,0 \cdot 3600} = 0,58 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.}$$

Далі ми виберемо нагрівач відповідно до основного рівняння передачі тепла

$$F_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{K_{\text{п}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} \quad (2.38)$$

$$Q_{\text{п}} = G_{\text{н}} \cdot c_{\text{н}} \cdot (t_{2\text{к}} - t_{2\text{н}}), \quad (2.39)$$

де  $Q_{\text{п}}$  – Теплове навантаження нагрівача, Вт;  $K_{\text{п}}$  – Коефіцієнт передачі тепла,  $K = 120 \dots 340 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\Delta t_{\text{ср}}$  – Середня різниця температур між паром та розчином, К;  $G_{\text{н}}$ ,  $c_{\text{н}}$  – Кількість початкового рішення, кг/с, і його теплоємність, Дж/(кг·К);  $t_{2\text{н}}$ ,  $t_{2\text{к}}$  – Початкова та кінцева температура розчину, °С.

$$Q_{\text{п}} = 4,0 \cdot 3,85 \cdot (135 - 25) = 1694 \text{ кВт};$$

$$t_{1\text{н}} = 142,9^\circ\text{C} \rightarrow t_{1\text{к}} = 142,9^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} t_{2\text{н}} = 135^\circ\text{C} &\rightarrow t_{2\text{к}} = 25^\circ\text{C} \\ \Delta t_{\text{м}} = 7,9 &\quad \Delta t_{\text{б}} = 117,9 \end{aligned}$$

Середня різниця температури

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (2.40)$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta t_{cp} = \frac{117,9 - 7,9}{\ln \frac{117,9}{7,9}} = 40,7 \text{ К.}$$

Тоді поверхня теплообміну

$$F_{II} = \frac{1694 \cdot 10^3}{250 \cdot 40,7} = 166,5 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні теплообмінника тепловіддача приймається на 10-20% більше, ніж обчислене значення, тому

$$F = (1,1 \div 1,2) \cdot F_{II} = 1,2 \cdot 166,5 = 199,8 \text{ м}^2. \quad (2.41)$$

На основі поверхні, знайденої відповідно до ГОСТ 15122-79, виберіть чотиристоронній теплообмінник зі шкіряною трубою з такими параметрами: площа поверхні передачі тепла  $F = 202 \text{ м}^2$ ; число труб  $n = 1072$ ; довжина труб  $L = 3,0 \text{ м}$ ; діаметр труб  $d = 20 \times 2 \text{ мм}$ ; діаметр кожуха  $D = 1000 \text{ мм}$ .

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

### 3 Розрахунок на міцність та герметичність

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,9$  (ручне дугове електрозварювання), напруга для матеріалу корпусу при  $t = 142,9^\circ\text{C}$  [6]

$$\sigma = 134 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 134 = 134 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p}, \quad (3.1)$$

де  $p$  – тиск пари,  $p = 0,4$  МПа.

$$s_p = \frac{0,4 \cdot 1400}{2 \cdot 0,9 \cdot 134 - 0,4} = 2,3 \text{ мм.}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при допустимій напрузі  $[\sigma]_п$

$$p_п = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_п}{[\sigma]}, \quad (3.2)$$

де  $[\sigma]_п$  – пробна допустима напруга

$$[\sigma]_п = \frac{\sigma_r}{1,1} = \frac{210}{1,1} = 191 \text{ МПа.}$$

Тоді

$$p_п = 1,25 \cdot 0,4 \cdot \frac{191}{134} = 0,71 \text{ МПа.}$$

З урахуванням гідростатичного тиску

$$p_r = H \cdot \rho \cdot g, \quad (3.3)$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

де  $H$  – висота кип’ятильних труб, м;

$$p_r = 6 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 58860 \text{ кПа} = 0,06 \text{ МПа.}$$

$$p = p_n + p_r = 0,71 + 0,06 = 0,77 \text{ МПа.}$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - p} \quad (3.4)$$

$$s_p = \frac{0,77 \cdot 1400}{2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,77} = 3,1 \text{ мм.}$$

Прийmemo додаток до розрахункової товщини за весь термін служби апарату (10 років)

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

Тоді

$$s = s_p + c = 3,1 + 1 = 4,1 \text{ мм.}$$

По ГОСТ 15121-79 мінімальна товщина обичайки для апаратів  $D = 1400$  мм складає  $s = 6,0$  мм, на цій товщині та зупиняємо свій вибір.

Розрахункова товщина стінки кришки під час проведення гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_n \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - 0,5 \cdot p_n} \quad (3.4)$$

$$s_p = \frac{0,77 \cdot 1400}{2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,5 \cdot 0,77} = 3,0 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина кришки

$$s_{кр} = s_p + c = 3,0 + 1,0 = 4,0 \text{ мм,}$$

приймаємо  $s_{кр} = 6,0$  мм.

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

### 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Початкові дані:

внутрішній діаметр  $D = 1400$  мм;

розрахунковий тиск  $p = 0,38$  МПа;

розрахункова температура  $t = 117$  °С;

матеріал фланця – сталь 12Х18Н10Т;

матеріал болтів – сталь 35 ХМ.

Фланці неізолювані, приварені у стик. Зовнішні згинальний момент та осьова сила відсутні. Коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,8$ . У фланцевому з'єднанні передбачена перехідна трубка, тобто.

$$s_1 = s_0 = s = 8 \text{ мм.}$$

Діаметр болтового кола

$$D_{\text{б}} = D + 2 \cdot (s + d_{\text{б}} + u) \quad (3.6)$$

де  $u = 6$  мм;  $d_{\text{б}} = 20$  мм.

$$D_{\text{б}} = 1400 + 2 \cdot (8 + 20 + 8) = 1476 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $D_{\text{б}} = 1540$  мм.

Зовнішній діаметр фланця

$$D_{\text{н}} = D_{\text{б}} + a \quad (3.7)$$

де  $a = 60$  мм – для шестигранних гайок М20 (6, табл. 1.4).

$$D_{\text{н}} = 1540 + 60 = 1600 \text{ мм}$$

Зовнішній діаметр прокладки

$$D_{\text{н.п}} = D_{\text{б}} - e \quad (3.8)$$

де  $e = 30$  мм – для плоских прокладок при  $d_{\text{б}} = 20$  мм (6, табл. 1.41).

$$D_{\text{н.п}} = 1540 - 30 = 1510 \text{ мм}$$

Середній діаметр прокладки

$$D_{\text{с.п}} = D_{\text{н.п}} - b \quad (3.9)$$

де  $b = 20$  мм – ширина плоскої неметалевої прокладки для діаметра апарату  $D = 1600$  мм (6, табл. 1.42).

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$D_{c.n} = 1510 - 20 = 1490 \text{ мм}$$

Кількість болтів

$$n_b \geq \frac{\pi \cdot D_b}{t_{ш}} \quad (3.10)$$

де  $t_{ш} = 4,6 \cdot d_b = 4,6 \cdot 20 = 92 \text{ мм}$  – крок розташування болтів при  $p = 0,38 \text{ МПа}$  (6, табл. 1.43).

$$n_b = \frac{3,14 \cdot 1540}{92} = 43$$

Приймаємо  $n_b = 44$ , кратне чотирьом.

Товщина фланця

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot s} \quad (3.11)$$

де  $\lambda_{\phi} = 0,38$  для  $p = 0,38 \text{ МПа}$  та приварених встик фланців (6, рис. 1.40).

$$h_{\phi} = 0,38 \cdot \sqrt{1400 \cdot 10} = 38 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $h_{\phi} = 40 \text{ мм}$ .

Відстань між опорними поверхнями гайок для фланцевого з'єднання з прокладкою

$$l_{б.о} = 2 \cdot (h_{\phi} + h_{п}) \quad (3.12)$$

де  $h_{п} = 2 \text{ мм}$  – товщина прокладки.

$$l_{б.о} = 2 \cdot (40 + 2) = 84 \text{ мм}$$

Рівнодія внутрішнього тиску

$$F_{д} = \frac{p \cdot \pi \cdot D_{c.n}^2}{4} \quad (3.13)$$

$$F_{д} = \frac{0,38 \cdot 3,14 \cdot 1,49^2}{4} = 0,69 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки

$$R_{п} = \pi \cdot D_{c.n} \cdot b_0 \cdot k_{пр} \cdot p \quad (3.14)$$

де  $k_{пр} = 2,5$  – для пароніту (6, табл. 1.44);  $b_0$  – ефективна ширина прокладки,

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b_0 = 0,12 \cdot \sqrt{0,02} = 17 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$R_{\Pi} = 3,14 \cdot 1,645 \cdot 17 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,38 = 0,072 \text{ МН}$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$F_t = \frac{y_{\phi} \cdot n_{\phi} \cdot f_{\phi} \cdot E_{\phi} \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_{\phi} \cdot t_{\phi})}{y_{\Pi} + y_{\phi} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D_{c.\Pi})^2}, \quad (3.15)$$

де  $\alpha_{\phi} = 16,6 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$  и  $\alpha_{\phi} = 13,3 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$  – відповідно коефіцієнти лінійного розширення матеріалу фланців та болтів;  $t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 79 = 75^{\circ}\text{C}$  – розрахункова температура неізольованих фланців (6, табл. 1.37);  $t_{\phi} = 0,95 \cdot t = 0,95 \cdot 79 = 74^{\circ}\text{C}$  – розрахункова температура болтів (6, табл. 1.37);  $E_{\phi} = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  – для болтів зі сталі 35ХМ;  $f_{\phi} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – для болтів М20;  $y_{\phi}$ ,  $y_{\Pi}$ ,  $y_{\phi}$  – податливості, відповідно болтів, прокладки, фланців.

Для болтів

$$y_{\phi} = \frac{l_{\phi}}{E_{\phi} \cdot f_{\phi} \cdot n_{\phi}} \quad (3.16)$$

де  $l_{\phi} = l_{\phi,0} + 0,28 \cdot d_{\phi} = 84 + 0,28 \cdot 20 = 90 \text{ мм}$  – розрахункова довжина болта.

$$y_{\phi} = \frac{90 \cdot 10^{-3}}{1,9 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 44} = 41,1 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН}$$

Для прокладки

$$y_{\Pi} = \frac{h_{\Pi}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{c.\Pi} \cdot b} \quad (3.17)$$

де  $E_{\Pi} = 2000 \text{ МПа}$  для прокладки з пароніту.

$$y_{\Pi} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2000 \cdot 3,14 \cdot 1,49 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 9,8 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН}$$

Для фланця

$$y_{\phi} = [1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})] \cdot \frac{\Psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E} \quad (3.18)$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де

$$\lambda_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot s}} \quad (3.19)$$

$$\lambda_{\delta} = \frac{40}{\sqrt{1400 \cdot 8}} = 0,395;$$

$$\psi_2 = \frac{D_H + D}{D_H - D} \quad (3.20)$$

$$\psi_2 = \frac{1600 + 1400}{1600 - 1400} = 27,7;$$

$$v = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot \left(1 + \frac{\psi_1 \cdot h_{\phi}^2}{s^2}\right)} \quad (3.21)$$

$$v = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,395 \cdot \left(1 + \frac{0,04 \cdot 40^2}{8^2}\right)} = 0,58,$$

при

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{D_H}{D} \quad (3.22)$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{1600}{1400} = 0,04;$$

$E = 2 \cdot 10^5$  МПа – для матеріалу фланця

Звідки

$$y_{\phi} = [1 - 0,58 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,395)] \cdot \frac{27,7}{0,04^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,237 \text{ м/МН}$$

Тоді

$$F_t = \frac{41,1 \cdot 10^{-6} \cdot 44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot (16,6 \cdot 75 - 13,3 \cdot 74) \cdot 10^{-6}}{9,8 \cdot 10^{-6} + 41,1 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 0,237 \cdot (1,54 - 1,49)^2} = 0,121 \text{ МН.}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$k_{ж} = \frac{y_{\delta} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\delta} - D - s) \cdot (D_{\delta} - D_{c.п.})}{y_{п} + y_{\delta} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\delta} - D_{c.п.})^2} \quad (3.23)$$

$$k_{ж} = \frac{41,1 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 0,237 \cdot (1,54 - 1,4 - 0,01) \cdot (1,54 - 1,49)}{9,8 \cdot 10^{-6} + 41,1 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 0,237 \cdot (1,54 - 1,49)^2} = 1,31.$$

Болтове навантаження в умовах монтажу

$$F_{\delta 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{ж} \cdot F_{д} + R_{п} \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{c.п.} \cdot b_0 \cdot p_{пр} \end{array} \right\} \quad (3.24)$$

де  $p_{пр} = 20$  МПа для паронітової прокладки (6, табл. 1.44).

$$F_{\delta 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,31 \cdot 0,69 + 0,072 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,49 \cdot 17 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,976 \\ 0,87 \end{array} \right\} = 0,976 \text{ МН}$$

Болтове навантаження у робочих умовах

$$F_{\delta 2} = F_{\delta 1} + (1 - k_{ж}) \cdot F_{д} + F_{t} \quad (3.25)$$

$$F_{\delta 2} = 0,976 + (1 - 1,31) \cdot 0,69 + 0,121 = 0,88 \text{ МН.}$$

Наведений згинальний момент

$$M_0 = 0,5 \cdot (D_{\delta} - D_{c.п.}) \cdot F_{\delta 1} \quad (3.26)$$

$$M_0 = 0,5 \cdot (1,54 - 1,49) \cdot 0,976 = 0,024 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Умови міцності болтів

$$\frac{F_{\delta 1}}{n_{\delta} \cdot f_{\delta}} < [\sigma]_{\delta}^{20}; \quad (3.27)$$

де  $[\sigma]_{\delta}^{20} = 230$  МПа – для матеріалу болтів при  $t = 20$  °С.

$$\frac{0,976}{44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 94 \text{ МПа} < 230 \text{ МПа};$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$\frac{F_{62}}{n_6 \cdot f_6} < [\sigma]_6; \quad (3.28)$$

де  $[\sigma]_6 = 229$  МПа – для матеріалу болтів при  $t = 79$  °С.

$$\frac{0,88}{44 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 85 \text{ МПа} < 229 \text{ МПа};$$

Умови міцності для прокладки

$$\frac{F_{6\max}}{\pi \cdot D_{c.п} \cdot b} \quad (3.29)$$

де  $[p_{пр}] = 130$  МПа – для прокладки з пароніту (6, табл. 1.44).

$$\frac{0,88}{3,14 \cdot 1,49 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$$

Максимальна напруга у перерізі фланця

$$\sigma_1 = \frac{T_\phi \cdot M_0 \cdot v}{D \cdot (s - c)^2} \quad (3.30)$$

де

$$T_\phi = \frac{D_H^2 \cdot \left[ 1 + 8,55 \cdot \lg\left(\frac{D_H}{D}\right) \right] - D^2}{(1,05 \cdot D^2 + 1,945 \cdot D_H^2) \cdot \left(\frac{D_H}{D} - 1\right)} \quad (3.31)$$

$$T_\phi = \frac{1,6^2 \cdot \left[ 1 + 8,55 \cdot \lg\left(\frac{1,6}{1,4}\right) \right] - 1,6^2}{(1,05 \cdot 1,4^2 + 1,945 \cdot 1,6^2) \cdot \left(\frac{1,6}{1,4} - 1\right)} = 1,88$$

$$\sigma_1 = \frac{1,88 \cdot 0,024 \cdot 0,58}{1,4 \cdot (0,01 - 0,0003)^2} = 174 \text{ МПа}$$

Максимальна напруга в перерізі обмеженому розміром s

$$\sigma_0 = f_\phi \cdot \sigma_1 \quad (3.32)$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

де  $f_{cp} = 1$  при  $\frac{s_0}{s} = 1$  (6, рис. 1.42).

$$\sigma_0 = 1 \cdot 174 = 174 \text{ МПа}$$

Окружна напруга в кільці фланця

$$\sigma_{\kappa} = M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})] \cdot \frac{\Psi_2}{D \cdot h_{\phi}^2} \quad (3.33)$$

$$\sigma_{\hat{\epsilon}} = 0,024 \cdot [1 - 0,58 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,395)] \cdot \frac{27,7}{1,4 \cdot 0,04^2} = 36 \text{ МПа.}$$

Напруга в стінці обичайки від внутрішнього тиску:  
тангенціальне

$$\sigma_t = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (s - c)} \quad (3.34)$$

$$\sigma_t = \frac{0,38 \cdot 1400}{2 \cdot (8 - 0,3)} = 28 \text{ МПа;}$$

Меридіональне

$$\sigma_m = \frac{p \cdot D}{4 \cdot (s - c)} \quad (3.35)$$

$$\sigma_m = \frac{0,38 \cdot 1400}{4 \cdot (8 - 0,3)} = 14 \text{ МПа.}$$

Умови міцності для перерізу обмеженого розміром  $s$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \phi \cdot [\sigma]_0, \quad (3.36)$$

$[\sigma]_0 = 0,002 \cdot E = 0,002 \cdot 2 \cdot 10^5 = 400 \text{ МПа}$  – для фланця зі сталі 12Х18Н10Т.

$$\sqrt{(174 + 14)^2 + 28^2} - (174 + 14) \cdot 28 = 178 \text{ МПа} < 0,8 \cdot 400 = 320 \text{ МПа}$$

Умова герметичності, що визначається кутом повороту фланця.

$$\Theta = \frac{\sigma_{\kappa} \cdot D}{E \cdot h_{\phi}} \quad (3.37)$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

де  $[\Theta] = 0,009$  рад – допустимий кут повороту приварного встик фланця при  $D = 1600$  мм  $< 2000$  мм.

$$\Theta = \frac{36}{2 \cdot 10^5} \cdot \frac{1,4}{0,05} = 0,0051 < [\Theta] = 0,009 \text{ рад.}$$

### 3.3 Розрахунок та вибір опори

Маса обичайки кожуха

$$m_k = \left[ \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho, \quad (3.38)$$

де  $\rho = 7860$  кг/м<sup>3</sup> - щільність сталі

$$m_k = \left[ \frac{3,14 \cdot (1,4 + 2 \cdot 0,006)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot 7860 = 1249 \text{ кг.}$$

Маса кришки та днища

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (3.39)$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 1,4^2 \cdot 0,006 \cdot 7860 = 115 \text{ кг.}$$

Маса труб

$$m_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot l \cdot n \cdot \rho \quad (3.40)$$

$$m_{тр} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,038^2 - 0,034^2) \cdot 6 \cdot 581 \cdot 7860 = 6196 \text{ кг.}$$

Маса фланця з ґратами

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (3.41)$$

де  $D_{\phi}$  – зовнішній діаметр фланця,  $h_{\phi}$  – висота фланця.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 1,55^2}{4} \cdot 0,08 \cdot 7860 = 1186 \text{ кг.}$$

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Об'єм трубного простору

$$V_{\text{тр}} = 0,785 \cdot d^2 \cdot n \cdot l \quad (3.42)$$

$$V_{\text{тр}} = 0,785 \cdot 0,034^2 \cdot 581 \cdot 6 = 3,16 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті паронаповнення  $\varepsilon = 0,4$  маса розчину

$$m_p = V_p \cdot \rho \cdot \varepsilon \quad (3.43)$$

$$m_p = 3,16 \cdot 1094 \cdot 0,4 = 1383 \text{ кг.}$$

Сила тяжкості апарату в робочому стані з урахуванням неврахованих 20% складових частин апарату та технологічної арматури

$$G = 1,2g \cdot (m_k + 2 \cdot m_{\text{кр}} + m_{\text{тр}} + 2 \cdot m_{\text{ф}} + m_p) \quad (3.44)$$

$$G = 1,2 \cdot 9,81 \cdot (1249 + 2 \cdot 115 + 6196 + 2 \cdot 1186 + 1383) = 134553 \text{ Н} = 134,6 \text{ кН}$$

Приймаємо кількість опор  $n = 3$  шт.

Навантаження на одну опору

$$Q = \frac{G}{n} \quad (3.45)$$

$$Q = \frac{134,6}{3} = 44,8 \text{ кН.}$$

Вибираємо опору з навантаженням, що допускається  $Q = 63$  кН. Позначення опори 1-6300 ОСТ 26-665-79.

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

## 4 Монтаж і ремонт апарата

### 4.1 Монтаж апарата [10]

Випарні апарати зазвичай монтують групами. Особливістю приймання підстав для монтажу групи апаратів є перевірка їх осьових та висотних позначок, відхилення яких від проектних не повинні виходити за межі допусків, наведених у СНиП. Такі вимоги диктуються тим, що група апаратів, що монтується, послідовно пов'язана між собою короткими трубопроводами або патрубками, які повинні збігатися без зміщення і перекосу.

Висотні позначки опорних основ кожного апарата рекомендується перевіряти гідростатичним рівнем чи нівеліром. Висотні позначки на підставах з металоконструкцій вирівнюють шляхом укладання тонких металевих підкладок, які після встановлення та вивіряння апарата прихоплюють до основи електрозварюванням.

На підставах із збірного залізобетону до встановлення апарату бажано вивести опорну поверхню на проектну відмітку шляхом додавання бетонної суміші з подальшим вирівнюванням та залізненням. Якщо в процесі вивіряння апаратів потрібно їх вирівнювання, це виконують укладання металевих підкладок під опорні лапи апарату. Остаточне регулювання апаратів при їх вивірянні здійснюється за допомогою регулювальних гвинтів в опорних лапах.

Всі випарні апарати перед їх установкою надходять на складальний майданчик для збирання укрупнення, гідравлічного випробування і нанесення ізоляції.

На підготовчому майданчику випарний апарат випробовують на міцність і щільність при тиску, вказаному в робочому кресленні.

Випарні апарати з природною циркуляцією та сосною гріючою камерою надходять на місце установки в повністю зібраному вигляді з сепаратором та нижньою камерою, а з'єднувальні труби з колінами поставляються окремо.

Гідравлічні випробування апарату проводять перед встановленням на фундамент. При виявленні будь-яких дефектів здійснюються заходи щодо їх усунення.

На гріючих камерах і сепараторах випарних апаратів заводом-виробником повинні бути передбачені спеціальні захватні пристрої для встановлення їх у проектне положення.

Залежно від місця встановлення апаратів їх габаритних розмірів та ваги підйом здійснюють із застосуванням вантажопідйомних механізмів та пристроїв, передбачених проектом виконання робіт.

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При вивірці установки випарних апаратів на фундаменти відхилення від проектних осей та позначок, а також горизонтальності та вертикальності не повинні перевищувати

- головних осей апарату у плані: -20 мм;
- фактичної висотної позначки встановленого апарату: -10 мм;
- Вертикальній осі апарату від вертикальності: 3 мм на 1 м, але не більше 35 мм.

Вивірка правильності встановлення апаратів у проектне положення на фундаменті повинна проводитись

- вертикальних апаратів за допомогою тахометричного теодоліту по двох утворюючих, зрушених у плані щодо один одного на 90°;
- осей опорних стійок каркасів – схилом;
- площин кронштейнів опорних стійок (несуть труби чи секції) від розташування в одній горизонтальній площині – по натягнутої струні.

При вивірці установки каркаса (опорної металоконструкції) апарата на фундаменті або інших підставах відхилення від проектних розмірів, а також горизонтальності та вертикальності не повинні перевищувати

- осей опорних стійок між собою: -3 мм;
- Осі опорної стійки від вертикальності: 1мм на 1 м, але не більше 3 мм;
- площин кронштейнів опорних стійок, що несуть труби або секції, від розташування в одній горизонтальній площині – не більше 2 мм.

#### 4.2 Ремонт апарата [10]

У процесі тривалої роботи теплообмінні апарати піддаються забруднення та зносу. Поверхня їх покривається накипом, відкладеннями солей, олією тощо. Зі збільшенням відкладень збільшується термічний опір стінки та погіршується теплообмін.

Зношування теплообмінного апарату виражається в наступному:

- зменшення товщини стінки корпусу, трубних решіток, кришок;
- випучини та вм'ятини на корпусі та кришках;
- нориці, тріщини на корпусі, трубах та фланцях;
- збільшення діаметра отворів для труб у трубних ґратах;
- прогин трубних решіток та деформація трубок;
- порушення гідро-і термоізоляції.

Підготовка до ремонту включає наступні заходи:

- знижується надлишковий тиск в апараті до атмосферного та апарат звільняється від продукту;
- відключається арматура, ставляться заглушки на всіх трубопроводах, що підводять і відводять;
- проводиться продування азотом або водяною парою з подальшим промиванням водою і продуванням повітрям;

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- складається план і виходить дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту;
  - складається акт здачі в ремонт.
- далі виконуються такі роботи:
- зняття кришок апарату, люків, демонтаж обв'язки та арматури;
  - виявлення дефектів вальцювання та зварювання, а також цілісності трубок гідравлічним та пневматичним випробуваннями на робочий тиск;
  - часткова зміна або відключення дефектних трубок, кріплення труб вальцюванням або зварюванням;
  - ремонт футерування та антикорозійних покриттів деталей з частковою заміною;
  - ремонт або заміна зносу арматури, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів;
  - зміна ущільнень розбірних з'єднань;
  - чищення внутрішньої поверхні корпусу апарату та теплообмінних трубок, зачистка отворів у трубних решітках, зачистка кінців трубок;
  - заміна частини корпусу, кришок та зношених деталей;
  - монтаж трубного пучка та вальцювання труб у решітці;
  - монтаж різьбових з'єднань;
  - гідравлічне випробування міжтрубної та трубної частин апарату пробним тиском;
  - пневматичне випробування апарату.

Найбільш трудомісткими операціями під час ремонту теплообмінної апаратури є: демонтаж різьбових з'єднань; очищення теплообмінної апаратури; ремонт трубних пучків та їх встановлення; випробування теплообмінників.

Очищення трубок від відкладень включає обробку як внутрішніх, так і внутрішніх поверхонь. Використовуються такі методи очищення: хімічні, абразивні (для нерозчинних відкладень), спеціальні.

Хімічна очистка виконується без розкриття та розбирання теплообмінника. Для очищення від накипу застосовують 5-15% розчин соляної кислоти з добавками інгібіторів. Для очищення органічних відкладень використовуються вуглеводневі розчинники. Очищення від твердих відкладень виявляється ефективним при заповненні теплообмінника на добу 5% розчином соляної кислоти з добавкою рідкого скла. Твердий осад розпушується у цьому розчині і потім легко змивається водою.

Абразивні методи очищення – механічні, гідропневматичні, гідромеханічний (струменем води високого тиску) та піскоструминний.

Механічна чистка здійснюється за допомогою шомполів, свердлів, щіток, шарошок, різців, бурів з подачею води чи повітря видалення продуктів очищення. Найпростішим пристосуванням є сталевий пруток з йоржом із сталевого дроту, привареним до прутка.

Гідромеханічне очищення полягає в наступному. Насосом високого тиску по напірних шлангах вода подається в порожнисту штангу, на кінці якої

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



встановлено сопло з кількома отворами. Струмінь води виходить із сопла під великим тиском, ріже і відриває відкладення від стінок поверхонь, що очищаються. Перевагою такого методу є можливість очищення внутрішньої та зовнішньої поверхонь трубок, а також корпусу безпосередньо на місці установки апарату. При цьому ступінь очищення, що досягається, значно вищий, ніж при інших методах.

Час очищення однієї труби становить 10-15 с. Установки виготовляються зазвичай пересувними. Широкий діапазон зміни тиску (від 15-70 МПа) дає можливість видаляти відкладення практично будь-якої складності.

Піскоструминне очищення дозволяє досягти найбільш повного очищення труб, в результаті чого коефіцієнт теплопередачі відновлюється до значень, що відповідають відсутності термічних опорів, зумовлених забрудненнями. Сутність піскоструминного очищення полягає в обробці поверхні, що очищається суспензією піску в повітрі або воді, що подається з великою швидкістю. Засмокування піску здійснюється ежекційними установками.

До спеціальних методів відноситься ультразвукове очищення. Ультразвукові перетворювачі через посередництво головок з вібраторами, що встановлюються в рідині (воді) всередині очищуваного об'єму, дозволяє повністю видалити тверді відкладення, що руйнуються під дією ультразвукових коливань і вимиваються звукопередавальним середовищем.

При ремонті трубного пучка допускається встановлення пробок на 15% трубок у кожному потоці пучка. При виході з ладу понад 15% трубок усі вони замінюються повністю. Вибір матеріалу трубок здійснюється з урахуванням характеристики середовища, його параметрів та відповідно до чинних норм.

Корпус апарату, що має різні випучини та вм'ятини, виправляється ударами кувалди по мідній підкладці. Усунення невеликих вм'ятин при товщині стінки корпусу або кришки, виготовлених з вуглецевої сталі, не більше 3-4 мм здійснюється нагріванням. Якщо неможливо усунути зазначені вище дефекти ударами та нагріванням, то пошкоджені частини або видаляються, або на них ставляться накладки.

Дефектні штуцери та трубні решітки при досягненні максимальних величин зношування та прогину підлягають заміні.

Свищі та тріщини усуваються шляхом заварювання або постановкою накладок із попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають довжину та положення кінців тріщин, виявлених у корпусі. Ці кінці до заварювання насвердлюються свердлами діаметром 3-4 мм. Ненаскрізні тріщини глибиною трохи більше 0,4 товщини стіни обробляється під заварку односторонньої вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям кромки під кутом 50-60 °. При тріщині понад 100 мм зварювання ведуть зворотноступінчастим методом. Наскрізні та ненаскрізні тріщини глибиною понад 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубкою зубилом або газорізанням. При появі гніздоподібної тріщини пошкоджені місця вирізуються та закриваються

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

латками, які не повинні мати гострих кутів. Латки вварюються врівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати одну третину площі аркуша апарату.

При частковій заміні корпусу апарату необхідно виконувати такі вимоги:

- матеріал для виготовлення нових частин корпусу повинен бути за механічними та хімічними властивостями однаковий з матеріалом ремонтovanого корпусу;

- товщиною листа замінної частини повинна бути не меншою за проектну;

- електроди повинні відповідати матеріалу, що зварюється;

- замикаючі обичайки повинні бути шириною не менше 400 мм;

- Поздовжні шви в горизонтальних апаратах не повинні бути в нижній частині апарату;

- кромки поверхні обичайки та основного металу на ширині 10 мм повинні бути зачищені перед зварюванням до чистого металу;

- поздовжні шви в окремих обичайках циліндричної частини апарату, а також меридіональні або хордові шви днищ, що примикають до обичайок, повинні бути зміщені відносно один одного не менше ніж на 100 мм;

- відстань між поздовжніми швами в окремих обичайках має бути не менше 200 мм;

- при зварюванні стиків необхідно передбачити плавний перехід від одного елемента до іншого.

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

## 5 Охорона праці та техніка безпеки в надзвичайних ситуаціях

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек на виробництві [12]

У цеху можливі такі небезпеки:

1. Поразка струмом.
2. Травматизм частинами обладнання, що рухаються.
3. Запиленість.

До кожного хімічного виробництва складається нормативно-технічна документація, у якій вказується:

1) Характеристика властивостей продукту, що переробляється, вихідної сировини і допоміжних матеріалів.

2) Опис технологічного процесу зі схемою виробництва.

3) Норми технологічного режиму із зазначенням гранично допустимих відхилень.

4) Можливі неполадки технологічного процесу, їх причини та способи усунення.

5) Основні правила пуску, безпечного ведення процесу та зупинки обладнання.

6) Аналітичний та автоматичний контроль виробництва.

7) Правила аварійного зупинки виробництва.

8) Відходи виробництва, стічні води та викиди в атмосферу: їх склад, способи утилізації чи очищення та порядок скидання.

9) Перелік інструкцій, знання яких є обов'язковим для осіб, які ведуть технологічний процес і обслуговують це виробництво.

Точне дотримання нормативно-технічної документації, регламент забезпечує задану продуктивність, якість продукції, безпеку та санітарні умови праці.

Порушення послідовності операцій, відхилення (більше допустимих) від заданих кількостей сировини, що завантажується, температур, тиску можуть призвести до аварій.

Для підтримки необхідного технологічного режиму в безперервних сучасних виробництвах контроль і регулювання процесу автоматизують. На вимірювальних та регулюючих приладах є пересувні контакти, встановлені на межі гранично допустимих відхилень. При досягненні небезпечних параметрів прилади автоматично вимикають відповідне обладнання та включають звукові або світлові сигнали.

На шкалах найпростіших приладів (манометри, термометри) наносять червону межу, що вказує на гранично допустиме відхилення параметра.

Процес сушіння відноситься до процесу зі значним виділенням тепла та пилу. Температура нагрітих поверхонь обладнання та огорож на робочих місцях не повинна перевищувати 45 °С; для обладнання, всередині якого температура

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

дорівнює або нижче 120°C, температура поверхні не повинна перевищувати 35°C.

### 5.3.1 Характеристика речовин на виробництві

Цукор це розсипчастий харчовий продукт, який є сахарозою у вигляді кристаликів. Його отримують при переробці очерету та цукрових буряків. Кристали досягають розмірів 02 - 25 мм.

Складається цукровий пісок з 99.8% вуглеводів, містить у невеликих кількостях кальцій, натрій, залізо і калій. Вуглеводи відіграють велику роль організму людини. Вони надають сили та енергію, необхідні для нормальної життєдіяльності. Цукровий пісок швидко засвоюється організмом, при цьому його складова частина розпадається на фруктозу та глюкозу.

Також застосовують у хімічній промисловості, з цукру отримують тисячі похідних, що використовуються в різних областях, включаючи виробництво пластмас, фармацевтичних препаратів, шипучих напоїв і заморожених харчових продуктів.

Види цукру

- Цукор очеретяний – є джерелом п'яти вітамінів В. Він нерафінований, виходить шляхом уварювання тростинного сиропу за спеціальним рецептом. Цукор пальмовий одержують із соку цукрової пальми. Має буро-золотистий колір.

- Цукор кленовий виробляють на північному сході США із цукрового, чорного, червоного та сріблястого кленів. Має буре забарвлення та дуже солодкий смак.

- Цукор сорговий одержують із рослини цукрового сорго. Використовується в приготуванні помадок, карамелі та різноманітної випічки.

### 5.2 Вимоги з охорони праці та пожежної безпеки [12]

У процесі виробництва цукру можливе утворення вибухонебезпечної суміші цукрового пилу. Ця проблема вирішується шляхом виготовлення камери сушарки як судина високого тиску із запобіжними розривними мембранами та аварійними противибуховими затворами. Концентрації пилу та робота сушарки повинні контролюватись автоматично. Усі місця утворення пилу у приміщенні сушіння цукру мають бути обладнані системою аспірації або закриті. Розсіювальні пристрої повинні бути геометрично закриті і підключені до пиловловлювачів. Концентрація цукрового пилу повітря робочої зони має перевищувати 6 мг/м<sup>3</sup>.

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Пожежна небезпека сушарок характеризується наявністю пального середовища у вигляді матеріалів, що висушуються, що знаходяться в камерах в підігрітому стані. Характерними джерелами запалювання, загальними є: іскри удару та тертя, теплота самозаймання матеріалів, розряди статичної та атмосферної електрики, розкладання, окислення, обвуглювання та займання пилу та відходів горючих матеріалів, що осіли на поверхні нагрівання калориферів або стикаються з нагрівальними елементами камер, режиму роботи сушарок. Шляхами поширення пожежі у сушарках можуть бути горючі матеріали; системи вентиляції; транспортні пристрої; технологічні отвори.

Причинами утворення горючих паро- та пилоповітряних концентрацій у сушарках конвективного типу є: збільшення інтенсивності випаровування; зупинка вентилятора чи зменшення його продуктивності; робота сушарок з великим коефіцієнтом рециркуляції; підвищення температури сушіння.

Специфічними джерелами запалення в конвекційних сушарках є: іскри удару та тертя; самозаймання матеріалів, що висушуються, та їх відходів при контакті з калориферами; розряди статичної електрики тривалий вплив температури на матеріал, що висушується (через зупинку транспортних пристроїв). Бункери для цукру закриваються кришкою.

Специфічні вимоги пожежної безпеки під час експлуатації сушарок: при завантаженні та експлуатації сушарки не допускається перевищувати встановлену гранично допустиму норму завантаження та гранично допустиму температуру сушіння; у процесі сушіння речовин та матеріалів необхідно здійснювати контроль концентрації пари в обсязі сушильних камер газоаналізаторами; повинні забезпечуватися нормовані тиску та швидкості руху газів; необхідно підтримувати встановлену оптимальну товщину шару; для запобігання можливості попадання горючих парів та пилу до приміщення, необхідно контролювати герметичність системи; для очищення відпрацьованого повітря від пилу необхідно встановлювати фільтри, циклони та інші пристрої, не допускати відкладення пилу в повітропроводах, стінках камер, калориферах; необхідно передбачати автоматичне блокування для відключення нагрівальних пристроїв, при зменшенні швидкості руху або зупинки транспортних пристроїв; для виключення розрядів статичної електрики металеві елементи сушарок мають бути заземлені; сушильні установки повинні бути обладнані відокремленими системами вентиляції; для захисту сушильних камер від надлишкового тиску необхідно встановлювати запобіжні клапани; повинно передбачатися блокування припинення подачі сировини у разі зупинки вентилятора або вакуум-насоса.

Конструкція виробничого обладнання повинна бути виконана таким чином, щоб унеможливити випадкове зіткнення робітників з гарячими частинами і тим самим захистити їх від опіків, повинен бути забезпечений захист від ураження електричним струмом, включаючи випадки помилкових

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

дій. Схеми управління потоковими лініями передбачають послідовність включення та вимкнення елементів ліній при аварійних ситуаціях. Крім того, передбачаються блокування, що унеможливають повторне включення приводу будь-якої машини для конвеєра, що входить до складу лінії, до ліквідації аварійної ситуації та видачі дозволу з місця включення.

Циклони необхідно встановлювати перед вентилятором (на його частині, що всмоктує). Також у циклонах необхідно підтримувати оптимальну швидкість газу з метою попередження пилоуносу.

### 5.3 Вимоги до виробництва на підприємстві [12]

#### Вентиляція

У будинках сушильними установками вентиляція повинна здійснюватися за системою, що запобігає можливим передачам пожежі з одного приміщення в інше по повітроводам.

Повітря, що видаляється місцевими відсмоктувачами, із вмістом сушильних речовин, перед викидом в атмосферу піддається очищенню до допустимого рівня забруднення проммайданчика, а також до ГДК у повітрі населених пунктів.

Витяжні вентилятори мають іскрозахищене виконання та укомплектовані безпечними двигунами.

#### Опалення

У виробництві застосовується водяне опалення з температурою поверхні нагрівальних приладів  $<100^{\circ}\text{C}$ , і навіть повітряне опалення, поєднане з припливної вентиляцією.

#### Електробезпека

З метою запобігання можливим випадкам ураження електричним струмом передбачені такі заходи: повна ізоляція струмопровідних ліній; застосування для місцевого освітлення низьковольтної напруги (12...36В); корпуси всіх електродвигунів, обладнання, комунікацій – заземлені; місця парогазовиделений обладнані пристроями, що відсмоктують, які приєднані до витяжних ліній.

Захист від статичної електрики включає заземлення технологічного обладнання та комунікацій.

#### Пожежна безпека

##### Вибух - пожежонебезпека виробництва

Виробничі приміщення відносяться до категорії Б, ступінь небезпеки будівлі – II.

Евакуаційні шляхи забезпечують безпечну евакуацію всіх людей, що перебувають у приміщенні, через наявні 5 евакуаційних виходів, що

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

розташовані розосереджено. Ширина колій у світлі не менше 1м, дверей не менше 0,8м. Висота проходів шляхах евакуації щонайменше 2м. Двері на шляхах евакуації відчиняються у напрямку виходу з будівлі. Відповідно – клас приміщень Б-П.

#### Засоби гасіння та виявлення пожеж

Відповідно до пожежних норм проекту передбачено наявність таких засобів пожежогасіння: вогнегасники ОХВП-10, ОВП-11, ОП-1, ОП-2, пожежні крани, пожежні ковдри, ящик з піском (0,5м<sup>3</sup>), ванна з водою, відра. Для пожежної команди в цеху є телефони та ручні кнопкові сповіщувачі ІРП (сповіщувач пожежний ручний).

Передбачено протипожежне водопостачання, мережа кільцева водоводу з діаметром труб зовнішнього водоводу не менше 100мм. У приміщенні на висоті 1.35 м від підлоги встановлено пожежні крани. Витрата води на гасіння пожежі не менше 20л/с.

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

## Висновки

В даній роботі були описані теоретичні основи процесу, описана конструкцій апарата та вибір матеріалу з якого вона виготовлена. Приведений опис технологічної схеми установки з описом самого апарату та принцип його роботи.

Зроблені технологічні розрахунки за якими було вибрано стандартний апарат.

Виконані розрахунки на міцність такі як розрахунок стінки корпусу апарату та розрахунок стінки кришки, розрахунок фланцевого з'єднання. Розрахунок та підбір стандартної опори.

Описаний монтаж та ремонт апарата, та приведений опис охорони праці на виробництві.

					<i>6.133.23.01.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						56
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



## Література

1. Онищук О. О., Кормош Ж. О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій. Луцьк : Вежа-Друк, 2020. 155 с.
2. Врагов А.П. / Гідромеханічні процеси та обладнання хімічних і нафтохімічних виробництв: Навчальний посібник. – Суми: Видавництво Сумського державного університету, 2001. – 216 с.
3. Дмитренко, І. В. Конспект лекцій з дисципліни "Процеси та апарати хімічних виробництв". Ч. 1. Гідромеханічні процеси для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія / уклад. І. В. Дмитренко, Л. В. Тимошевська ; Держ. ун-т "Одеська політехніка". – Одеса, 2021. – 87 с.
4. Атаманюк В.М. Конспект лекцій з курсу «Розрахунок і конструювання машин та апаратів хімічних та силікатних виробництв. Розрахунок ємнісних апаратів» / В.М. Атаманюк. – Львів : видво НУ «Львівська політехніка», 2001. – 99 с.
5. Дубинін А.І. Обладнання для розділення компонентів : навч. посіб. / А.І. Дубинін, Я.М. Ханик, В.М. Атаманюк. – Львів : вид-во НУ «Львівська політехніка», 2005. – 140 с.
6. Коваленко І. В. Процеси та апарати хімічної технології: Метод. посіб. з курсу лекцій, практич. та самост. робіт. — К.: НТУУ «КПІ», 2003. — 160 с.
7. Коваленко І. В., Малиновський В. В., Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник /. — К.: Інрес : Воля, 2005. — 264 с.: іл. — Бібліогр.: с. 253—255.
8. Сукач М.К., Будівельні машини і обладнання. Київ: Ліра-К, 2016, 408 с
9. Шевченко О., Марценюк О., Ткачук Н.. Коливання, пульсації і нестационарні режими у сорбційних процесах. Київ: Кондор, 2017, 472 с
10. Малишев В., Залюбовський М., Машини та обладнання підприємства. Київ: Університет "Україна", 2020, 120 с
11. Малишев В., Залюбовський М., Панасюк І., Машини зі складним рухом робочих ємкостей. Київ: Університет "Україна", 2018, 228 с
12. Рожков А.П. Пожежна безпека: Навчальний посібник. – Київ: Пожінформтехніка, 1999. –256 с.

					6.133.23.01.00.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		