

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

**зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"**  
**Освітня програма "Комп'ютерний інжиниринг обладнання хімічних**  
**виробництв "**

Тема роботи: Випарне відділення виробництва нітрату натрію. Розробити  
випарний апарат з примусовою циркуляцією та співвісною грючою  
камерою.

Виконав:  
студент групи ХМ-91/Зкі-1  
Заїкін О.І.

\_\_\_\_\_

підпис

**Залікова книжка**  
**№ 21510017**

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

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

Керівник:

Михайловський Я.Е.

\_\_\_\_\_

підпис, дата

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Кафедра хімічної інженерії**

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"  
Освітня програма " \_\_\_\_\_ "

Курс 4 Група ХМ-91/3кі-1 Семестр 8

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

студенту Заїкіну Олегу Івановичу

1 Тема роботи: Випарне відділення виробництва нітрату натрію. Розробити випарний апарат з примусовою циркуляцією та співвісною гріючою камерою.

2 Вихідні дані: Продуктивність за початковим розчином 10000 кг/год; початкова температура розчину 30 °С; початкова концентрація 10 % мас.; кінцева концентрація 40 % мас.; тиск гріючої пари 4 ат; тиск в останньому корпусі 0,1 ат. Розробити 2-й корпус трикорпусної випарної установки

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

- |                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| 1. Технологічна схема установки       | - 1 арк. |
| 2. Складальне креслення апарата       | - 1 арк. |
| 3. Креслення деталей і вузлів апарата | - 2 арк. |

4 Рекомендована література: Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с-

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
ступна частина	x				
технологічна частина		xx			
проектно-конструкторська частина			xx		
розробка креслень				xx	
формлення записки					x
захист роботи					x

6 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_

підпис

## Зміст

Вступ.....	5
1.Технологічна частина .....	6
1.1 Опис технологічної схеми виробництва .....	6
1.2 Теоретичні основи процесу теплообміну .....	9
1.3 Опис об'єкта розробки, вибір матеріалів .....	10
2. Технологічні розрахунки процесу і апарату .....	15
2.1 Матеріальний та тепловий баланс.....	15
2.2 Технологічні розрахунки .....	22
2.3 Конструктивні розрахунки .....	26
2.4 Гідрравлічний опір апарата.....	29
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	30
3. Розрахунки апарату на міцність.....	35
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки апарата.....	35
3.2 Вибір і розрахунок опори.....	39
3.3 Розрахунок змицнення отворів.....	40
3.4 Розрахунок фланцевого з'єднання.....	42
4. Монтаж та ремонт апарата.....	49
4.1 Монтаж розробленого апарата .....	49
4.2 Ремонт апарата .....	51
5 Охорона праці.....	59
Список використаної літератури .....	64
Додаток: Специфікації до креслень	

					<b>XI.B.00.00.00. ПЗ</b>			
<b>Змін</b>	<b>лист</b>	<b>№ докум.</b>	<b>підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розробник.	Зайкін				<b>Випарний апарат</b>	<b>Літ.</b>	<b>лист</b>	<b>листів</b>
Перевір.	Михайловськи						4	26
Рецензії.						<b>XM-91</b>		
Н. Контр.								
Затвердив.								

## Вступ

У хімічній промисловості та побічних реакціях часто зустрічаються рідкі суміші, які поглинають підвищену витрату палива. Однак суміші мають велике значення параметрів фізичних параметрів, таких як в'язкість, щільність, температура тіла та щільність тіла, а також мають характерні особливості, наприклад, вимагають кристалізуватися, пінитися або утворювати нетерmostійкі розчини. Для значної роботи процесу вакуумного випаровування та вибору відповідних конструкцій та парних апаратів важливо враховувати ці властивості суміші та відповідні вимоги, такі як використання протиточних або прямоточних схем, одно- чи багатоступінчастих випарних установок з великою кількістю корпусів.

Така різноманітність вимог викликає певні складності при правильному виборі схеми випарної установки, типу апарату, числа щаблів у багатокорпусній випарній установці.

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		5

## 1. Технологічна частина

### 1.1 Опис технологічної схеми виробництва

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 обігривається 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 згущуваного продукту з одного корпусу в інший. При переході з попереднього корпусу в наступний, тобто в простір з меншим тиском та нижчою температурою, розчин, маючи більш високу температуру, виявляється перегрітим і з нього в результаті самовипаровування видалається у вигляді пари деяка кількість води. Таким чином, процес самовипаровування зменшує витрати пари на випарювання.

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 парою 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.

Принципова схема трикорпусної випарної установки показана рисунку 1.1

Вихідний розчин, що підлягає випарюванню, зі збірника-сховища 1 насосом 2 подається в теплообмінник - підігрівник 3, де розчин нагрівається гріючою парою, що надходить у міжтрубний простір теплообмінника.

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		6

Нагрітий до температури кипіння розчин надходить у розчинний простір першого корпусу БКВУ.

У кип'ятильних трубках гріючої камери розчин нагрівається за рахунок тепла конденсації гріючої пари, подаваної в міжтрубний простір гріючої камери, конденсат гріючої пари відводиться і повертається на ТЕЦ. Нагрітий розчин випаровується у корпусі 4 під тиском P1, вторинна (сокова) пара, яка утворилася в першому корпусі, після відділення від крапель розчину під тиском P1 надходить у гріючу камеру другого корпусу 5 та використовується в ній як гріюча. Конденсат сокової пари відводиться з гріючої камери у збірник конденсату і використовується на технологічні потреби виробництва.

Випарений до певної концентрації розчин з нижньої частини корпусу 4 під дією різниці тисків у корпусах самоплином надходить у розчинний простір корпусу 5, у якому тиск у сепараційній зоні дорівнює P2 та він менше тиску сокової пари першого корпусу. В результаті зниження тиску в корпусі 5 температура кипіння розчину в ньому також знижується, і це дозволяє в другому корпусі використати сокову пару першого корпусу як гріючої для другого корпусу.

Подібним чином процес проходить в третьому корпусі 6, у якому сокова пара корпусу 5 є гріючою парою для третього корпусу 6, процес випарювання розчину в ньому відбувається під вакуумом (при тиску P2). Сокова пара із третього корпусу виходить із низькими енергетичними параметрами і тому не використовується, а спрямовується в барометричний конденсатор 9, де відбувається її конденсація за рахунок контакту з холодною водою, подаваною на полиці конденсатора. Після конденсації суміш води і конденсату відводиться з барометричного ящика 10 у систему водоохолоджувального циклу.

Випарений до заданої концентрації розчин відводиться в збірник випареного розчину 7 і насосом 8 перекачується на подальшу переробку. Несконденсовані гази відкачуються вакуум-насосом 11 та викидаються в атмосферу.

											XI. B.00.00.000 ПЗ	Арку
												7
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата								

Для успішної роботи такої установки потрібно забезпечити корисну різницю температур у кожному корпусі на рівні 7 - 9°C, що можливе при невисокій температурній депресії розчинів, а також при незначному збільшенні в'язкості розчину при випарюванні.

Перевагами прямотечійної схеми є самочинне перетікання розчину із першого корпусу в наступні корпуси за рахунок перепадів тисків у корпусах та мінімальні втрати тепла з розчином, який виходить із останнього корпусу. Недоліками даної установки є несприятливі умови теплопередачі в корпусах у зв'язку з тим, що з підвищенням концентрації розчину в наступних корпусах збільшується в'язкість розчину та зменшується коефіцієнт теплопередачі. Крім того, з підвищенням концентрації розчину в корпусах зменшується корисна різниця температур і в останньому корпусі, де концентрація розчину максимальна, температура гріючої пари мінімальна.

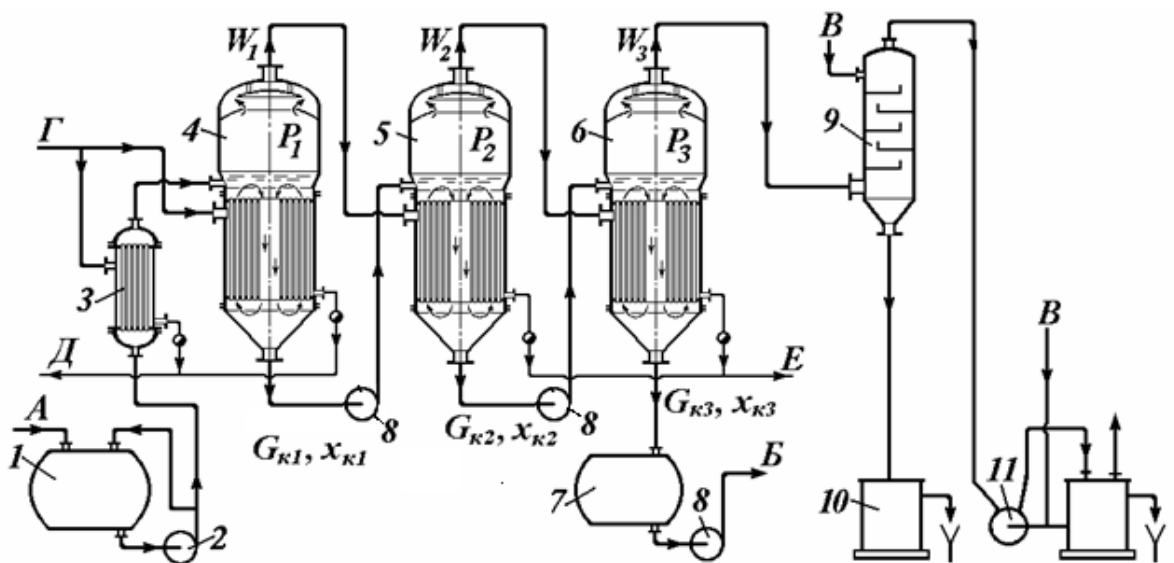


Рисунок 1.1 - Принципова схема трикорпусної випарної установки:

А - вихідний (початковий) розчин; Б - випарений розчин; В - вода; Г - гріюча пара; Д - конденсат гріючої пари; Е - конденсат сокової пари; 1, 7 - збірник розчину; 2, 8 - насос; 3 - підігрівник розчину; 4, 5, 6 - випарний апарат; 9 - конденсатор барометричний; 10 - барометричний ящик; 11 - вакуум-насос

Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

## 1.2 Теоретичні основи процесу

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.

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 досвідченим (більшість досвідчених даних належить 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 (ДК) і теплота випаровування (Дж/кг) для води при даному тиску.

Підвищення температури кипіння розчину визначається не лише 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, то верхній шар води закипить при температурі 100 С, а нижній шар, що знаходиться під тиском 2 ат, – при температурі 120°С. В даному випадку гідростатична депресія змінюється по висоті труби від °С (вгорі) до 2°С

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		9



(внизу) і в середньому становить 10С. Розрахунок гідростатичної депресії у 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°С.

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°С.

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 об'єкта розробки, вибір матеріалів

У сучасних великотоннажних установках, призначених для виробництва мінеральних солей і добрив, переважне застосування одержали випарні апарати із примусовою циркуляцією розчину. В основному такі апарати використовують при випарюванні в'язких розчинів та розчинів, що

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		10

кристалізуються. Розчин, що випарюється, рухається в трубах гріючої камери з високою швидкістю (2-3 м/с), що забезпечує високі коефіцієнти тепловіддачі між стінкою і розчином (на рівні 2500 - 5000 Вт/(м<sup>2</sup>·К)), практично виключає інкрустацію і солевідкладення на внутрішній поверхні труб, дозволяє вести процес випарювання при меншій різниці температур між паром, що конденсується, і розчином (в інтервалі 5-7 °С).

Для організації примусової циркуляції розчину використовують убудовані в апараті мішалки або винесені за межі апарата циркуляційні осьові насоси великої продуктивності (в інтервалі 600-9000 м<sup>3</sup>/Г) з малим напором (3,5-6 м вод. ст.).

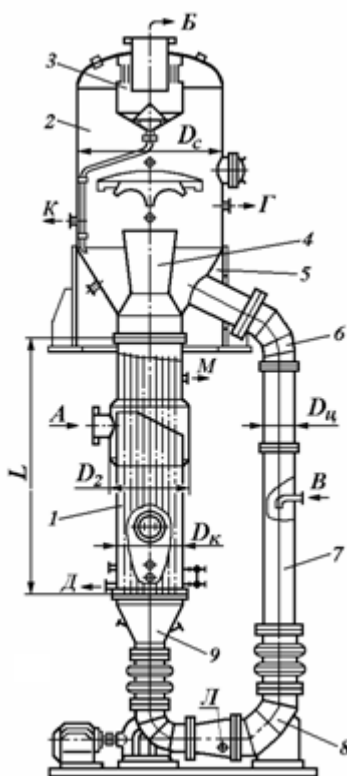


Рисунок 1.2 - Основні конструктивні розміри випарного апарата:

- 1 - гріюча камера; 2 - сепараційна камера; 3 - бризкоуловлювач; 4 - труба закипання; 5 - опора; 6 - коліно; 7 - труба циркуляційна; 8 - насос циркуляційний; 9 - камера нижня.

А - подача гріючої пари; Б - вихід вторинної пари; В - подача розчину; Г - відведення розчину; Д - вихід конденсату; К - відбирання проб; Л - зливання розчину при спорожненні апарата; М - здування газів, що не конденсуються

Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

В апаратах із примусовою циркуляцією розчину кратність циркуляції становить 150-250, внаслідок цього розчин у кип'ятільних трубках перегрівається всього на 3-5°C, закипання розчину в трубках не відбувається, тож у результаті паровміст розчину невеликий. Кипіння розчину відбувається у винесеній зоні, утвореній за рахунок установки труби закипання над гріючою камерою. Об'ємна напруга парового простору сепараційної камери в апаратах, що працюють при тиску 0,02 - 0,12 МПа, звичайно становить 3000 - 4000 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·г), а при випарюванні концентрованих розчинів її зменшують до 1600 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·г).

Основними недоліками таких випарних апаратів є додаткова витрата енергії на роботу циркуляційного насоса, а також додаткові витрати праці на обслуговування ущільнювальних сальників насосів, що працюють у тяжких умовах.

В апаратах із співвісною гріючою камерою і винесеною зоною кипіння встановлюють гріючі камери з поверхнею теплообміну 25-3150 м<sup>2</sup> при довжині кип'ятільних труб в інтервалі 4-9 м.

Об'ємна напруга парового простору сепараційної камери в апаратах, що працюють при тиску 0,02 - 0,12 МПа, звичайно становить 3000 - 4000 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·г), а при випарюванні концентрованих розчинів її зменшують до 1600 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·г). Основними недоліками таких випарних апаратів є додаткова витрата енергії на роботу циркуляційного насоса, а також додаткові витрати праці на обслуговування ущільнювальних сальників насосів, що працюють у тяжких умовах.

Апарат – безперервної дії; свіжий розчин через штуцер надходить у трубний простір гріючої камери, де він підігрівається до температури кипіння за рахунок тепла пари, що подається через штуцер міжтрубний простір. Киплячий розчин із трубок потрапляє в конічну частину сепаратора, де від розчину відокремлюється вторинна пара. По циркуляційній трубці розчин

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
						12
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

опускається і, змішуючись із свіжим, знову проходить трубний простір. Внаслідок різниці щільностей випареного та свіжого розчинів відбувається його безперервна циркуляція. При досягненні необхідної концентрації упарений розчин безперервно виводиться. Вторинна пара проходить через бризковідділювач, де краплі розчину відокремлюються, і виводяться.

Як конструкційні матеріали для випарних апаратів застосовують вуглецеві кислотостійкі сталі і мідь. Випарні апарати працюють у важких умовах, тому що при дії високої температури та розчинів високої концентрації прискорюються процеси корозії. У деяких випадках випарні апарати виготовляють із кислотостійких матеріалів за умов чистоти продукту.

Поряд з корозією апаратів у трубках у зоні найбільш інтенсивного кипіння відбувається механічне зношування (ерозія) металу.

Вибір конструкційного матеріалу, що визначається умовою експлуатації проєктованого 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 елемента (виробу).

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням продукту, що має кисле середовище, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято корозійностійку сталь аустенітного класу 12X18H10ТГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в 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

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		13

Таблиця 1.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 12Х18Н10Т

З, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	E·10 5 МПа	$\sigma$ МПа	$\sigma$ МПа	$\delta$ %
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 зовнішнього оснащення, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з середовищем, що переробляється, приймаємо конструкційну сталь 20ГОСТ 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

З, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E·10 5 МПа	$\sigma$ МПа	$\sigma$ МПа	$\delta$ %
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

					XI. В.00.00.000 ПЗ							Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата								14

## 2. Технологічні розрахунки процесу і апарату

### 2.1 Матеріальний баланс

Для визначення теплових навантажень  $Q$ , коефіцієнтів тепловіддачі  $K$  та корисних різниць температур  $\Delta t_{пол}$  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

$$W = G_H \cdot \left(1 - \frac{x_H}{x_K}\right) \quad (2.1)$$

$$W = 2.78 \cdot \left(1 - \frac{10}{40}\right) = 2,1 \text{ кг/с,}$$

де  $G_H = \frac{10000}{3600} = 2,78$  кг/с – продуктивність установки.

Попереднє розподілення випареної води по корпусах виконують на основі наступних рекомендацій

$$W_1 : W_2 : W_3 = 1,0 : 1,1 : 1,2.$$

Тоді кількість випареної води:

у першому корпусі

$$W_1 = W \cdot \frac{1,0}{1,0+1,1+1,2} = 2,1 \cdot \frac{1,0}{3,3} = 0,63 \text{ кг/с;}$$

у другому корпусі

$$W_2 = W \cdot \frac{1,1}{1,0+1,1+1,2} = 2,1 \cdot \frac{1,1}{3,3} = 0,7 \text{ кг/с;}$$

у третьому корпусі

$$W_3 = W \cdot \frac{1,2}{1,0+1,1+1,2} = 2,1 \cdot \frac{1,2}{3,3} = 0,76 \text{ кг/с.}$$

					ХІ. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		15

Концентрація розчинів по корпусах:

у першому корпусі

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

$$x_1 = \frac{2,78 \cdot 0,1}{2,78 - 0,64} = 0,129 = 13\%;$$

у другому корпусі

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

$$x_2 = \frac{2,78 \cdot 0,1}{2,78 - 0,64 - 0,7} = 0,192 = 19,2\%,$$

у третьому корпусі

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

$$x_3 = \frac{2,78 \cdot 0,1}{2,78 - 0,64 - 0,7 - 0,76} = 0,4 = 40\%,$$

що відповідає завданню.

Загальний перепад тиску в установці

$$\Delta p = p_{II} - p = 4,0 - 0,1 = 3,9 \text{ ата} \approx 0,39 \text{ МПа.}$$

Розподілимо загальний перепад тисків між корпусами порівну

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = \frac{\Delta p}{3} = \frac{0,39}{3} = 0,13 \text{ МПа.}$$

Абсолютні тиски по корпусах дорівнюватимуть

$$p_1 = p_{II} - \Delta p_1 = 0,4 - 0,13 = 0,27 \text{ МПа};$$

$$p_2 = p_1 - \Delta p_2 = 0,27 - 0,13 = 0,14 \text{ МПа};$$

$$p_3 = p_2 - \Delta p_3 = 0,14 - 0,13 = 0,01 \text{ МПа.}$$

По тиску пари знаходимо їх температури та ентальпії.

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		16

Таблиця 1.

Тиск, МПа	Температура, °С	Ентальпія, кДж/кг
0,4	143,6	2738
0,27	130	2720
0,14	109,3	2689
0,01	45,8	2584

На підставі практичних рекомендацій приймаємо гідравлічну депресію для кожного корпусу  $\Delta''' = 1$  град, тоді температура вторинної пари, тиску і теплоти пароутворення їх у корпусах будуть рівні.

Таблиця 2.

Температура, °С	Тиск, МПа	Теплота пароутворення, кДж/кг
$t_{ВП_1} = 130 + 1 = 131$	0,278	2170
$t_{ВП_2} = 109,7 + 1 = 110,7$	0,148	2226
$t_{ВП_3} = 45,8 + 1 = 46,8$	0,011	2390

Сума гідравлічних депресій

$$\Sigma \Delta''' = 1 + 1 + 1 = 3^\circ\text{С}.$$

Для вибору висоти труби необхідно орієнтовно визначити площу поверхні теплопередачі випарного апарату For, вибрати параметри апарату за ГОСТ 11987-81.

Площа поверхні теплопередачі орієнтовно визначається за формулою

$$F = \frac{Q}{g} \quad (2.5)$$

Приймаємо для апаратів із примусовою циркуляцією  $g = 30000 \text{ Вт/м}^2$ .

Тоді по корпусах (орієнтовно):

$$F_1 = \frac{W_1 \cdot r_1}{g} = \frac{0,64 \cdot 2170 \cdot 10^3}{30000} = 45,6 \text{ м}^2;$$

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
						17
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		



$$F_2 = \frac{W_2 \cdot r_2}{g} = \frac{0,7 \cdot 2226 \cdot 10^3}{30000} = 51,9 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = \frac{W_3 \cdot r_3}{g} = \frac{0,76 \cdot 2390 \cdot 10^3}{30000} = 58 \text{ м}^2.$$

Приймаємо за ГОСТ 11987-81 випарний апарат із площею поверхнею теплопередачі  $F = 63 \text{ м}^2$ , довжиною труб 4 м, діаметром труб  $38 \times 2 \text{ мм}$ .

Таким чином, тиск у середньому шарі кип'ятільних труб корпусів дорівнює

$$p_{\text{ср}} = p_{\text{ВП}_i} + \frac{\rho_i \cdot g \cdot H}{2} (1 - \varepsilon), \quad (2.6)$$

де  $\varepsilon = 0,4 \div 0,6$  – паронаповнення при пухирцевому режимі кипіння;  $\rho_i$  – щільність водних розчинів при відповідних температурах та концентраціях.

$$p_{1\text{ср}} = 0,278 \cdot 10^6 + \frac{1094 \cdot 9,81 \cdot 4}{2} \cdot (1 - 0,5) = 0,29 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

$$p_{2\text{ср}} = 0,148 \cdot 10^6 + \frac{1158 \cdot 9,81 \cdot 4}{2} \cdot (1 - 0,5) = 0,16 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

$$p_{3\text{ср}} = 0,011 \cdot 10^6 + \frac{1234 \cdot 9,81 \cdot 4}{2} \cdot (1 - 0,5) = 0,023 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Отриманим тиском відповідають наступні температури кипіння:

Таблиця 3.

Тиск, МПа	Температура кипіння, °С	Теплота пароутворення, кДж/кг
$p_{1\text{ср}} = 0,29 \cdot 10^6$	132,4	2167
$p_{2\text{ср}} = 0,16 \cdot 10^6$	113,3	2220
$p_{3\text{ср}} = 0,023 \cdot 10^6$	61,1	2354

Визначаємо гідростатичну депресію по корпусах:

$$\Delta_1'' = 132,4 - 131 = 1,4 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_2'' = 113,3 - 110,7 = 2,6 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_3'' = 61,1 - 46,8 = 14,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Сума гідростатичних депресій

$$\Sigma \Delta'' = 1,4 + 2,6 + 14,3 = 18,3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температурна депресія  $\Delta'$  визначається за рівнянням

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

де  $T$  – температурна депресія у середньому шарі кип'ятільних труб;  $\Delta'_{\text{атм}}$  – температурна депресія при атмосферному тиску.

Знаходимо значення  $\Delta'$  по корпусах:

$$\Delta_1' = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(132,9 + 273)^2}{2167} \cdot 1,4 = 1,7 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_2' = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(113,3 + 273)^2}{2171} \cdot 2,6 = 2,8 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta_3' = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(61,1 + 273)^2}{2354} \cdot 14,3 = 11 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Сума температурних депресій

$$\Sigma \Delta' = \Delta_1' + \Delta_2' + \Delta_3' = 1,7 + 2,8 + 11 = 15,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура кипіння розчинів по корпусах:

$$t_{K_1} = t_{r_1} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 130 + 1,7 + 1,4 + 1,0 = 134,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{K_2} = t_{r_2} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 109,3 + 2,8 + 2,6 + 1,0 = 115,7 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{K_3} = t_{r_3} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 45,8 + 11 + 14,3 + 1,0 = 72,1 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Загальна корисна різниця температур по корпусах:

$$\Delta t_{\Pi_1} = t_{r_1} - t_{K_1} = 146,3 - 134,1 = 12,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\Pi_2} = t_{r_2} - t_{K_2} = 130 - 115,7 = 14,3 \text{ }^\circ\text{C};$$

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$\Delta t_{П3} = t_{r3} - t_{K3} = 109.3 - 72.1 = 37.2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Загальна корисна різниця температур

$$\Sigma \Delta t_{П} = 12.2 + 14.3 + 37.2 = 63.7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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:

$$Q_1 = D \cdot (J_{r1} - i_1) = 1,03 \cdot [G_H \cdot C_H \cdot (t_{K1} - t_H) + W_1 \cdot (J_{ВП1} - C_B \cdot t_{K1}) + Q_{1\text{конц}}]; \quad (2.8)$$

$$Q_2 = W_1 \cdot (J_{r2} - i_2) = 1,03 \cdot [(G_H - W_1) \cdot C_1 \cdot (t_{K2} - t_{K1}) + W_2 \cdot (J_{ВП2} - C_B \cdot t_{K2}) + Q_{2\text{конц}}]$$

;

$$Q_3 = W_2 \cdot (J_{r3} - i_3) = 1,03 \cdot [(G_H - W_1 - W_2) \cdot C_2 \cdot (t_{K3} - t_{K2}) + W_3 \cdot (J_{ВП3} - C_B \cdot t_{K3}) + Q_{3\text{конц}}]$$

;

$$W = W_1 + W_2 + W_3.$$

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

При розв'язанні рівнянь можна прийняти

$$J_{ВП1} \approx J_{r2}; J_{ВП2} \approx J_{r2}; J_{ВП3} \approx J_{r3};$$

$C_H, C_1, C_2$  – теплоємності розчинів відповідно вихідного, у першому та у другому корпусах, кДж/кг;

$Q_{1\text{конц}}, Q_{2\text{конц}}, Q_{3\text{конц}}$  - теплота концентрування по корпусах, кВт;

$t_H$  – температура кипіння вихідного розчину,  $^\circ\text{C}$ .

$$t_H = t_{ВП1} + \Delta'_H = 131 + 1.7 = 132.7 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де  $\Delta'_H$  – температурна депресія для початкового розчину.

Оскільки  $Q_{кін}$  зазвичай становить менше 3% від  $Q$  корпусу в рівняннях теплових балансів, то величиною  $Q_{конц}$  можна знехтувати.

									Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата					20

Тоді отримаємо:

$$Q_1 = D \cdot (2738 - 602) = 1,03 \cdot [2,78 \cdot 3,85 \cdot (134,1 - 132,7) + W_1 \cdot (2738 - 4,19 \cdot 134,1)];$$

$$Q_2 = W_1 \cdot (2720 - 547) = 1,03 \cdot [(2,78 - W_1) \cdot 3,72 \cdot (115,7 - 134,1) + W_2 \cdot (2689 - 4,19 \cdot 115,7)];$$

$$Q_3 = W_2 \cdot (2689 - 422) = 1,03 \cdot [(2,78 - W_1 - W_2) \cdot 3,59 \cdot (72,1 - 115,7) + W_3 \cdot (2584 - 4,19 \cdot 72,1)];$$

$$2,1 = W_1 + W_2 + W_3.$$

Вирішення системи рівнянь дає такі результати:

$$W_1 = 0,64 \text{ кг/с}; W_2 = 0,7 \text{ кг/с}; W_3 = 0,76 \text{ кг/с}; D = 0,55 \text{ кг/с};$$

$$Q_1 = 1175 \text{ кВт}; Q_2 = 1451 \text{ кВт}; Q_3 = 1587 \text{ кВт}$$

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 4. Параметри розчинів та пари по корпусах.

Параметр	Корпус		
	1	2	3
Продуктивність по воді, що випаровується $W$ , кг/с	0,63	0,7	0,76
Концентрація розчинів $x$ , %	13	19,2	40
Тиск гріючих пар $p_g$ , МПа	0,4	0,278	0,148
Температура гріючих пар $t_g$ , °C	143,6	130	109,3
Температурні втрати $\Sigma \Delta$ , град	1,7	2,8	11
Температура кипіння розчину $t_k$ , °C	134,1	115,7	72,1
Корисна різниця температур $\Delta t_p$ , град	12,2	14,3	37,2

							XI. B.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата				21

## 2.2 Технологічні розрахунки

Коефіцієнт теплопередачі для першого корпусу К1 визначимо за рівнянням адитивності термічних опорів

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.9)$$

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

Отримаємо

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

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

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{r_1 \cdot \rho_{ж}^2 \cdot \lambda_{ж}^3}{\mu_{ж} \cdot H \cdot \Delta t_1}}, \quad (2.10)$$

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

$$t_{пл} = t_{2_1} - \frac{\Delta t_1}{2}, \quad (2.11)$$

де  $\Delta t_1$  - різниця температур конденсації пари та стінки, град.

Розрахунок  $\alpha_1$  ведуть методом послідовних наближень. У першому наближенні прийmemo  $t_1 = 2,0$  град.

Тоді

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2167 \cdot 10^3 \cdot 1135^2 \cdot 0,684^3}{0,177 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 2,0}} = 7791 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

									Арку
									22
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата					

Для процесу передачі тепла, що встановився, справедливе рівняння

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \frac{1}{\sum \frac{\delta}{\lambda}} \cdot \Delta t_{ст} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2, \quad (2.12)$$

де  $q$  – питома 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

$$\Delta t_{ст} = \Delta \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 7791 \cdot 2,0 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 3,8 \text{ град,}$$

тоді

$$\Delta t_2 = \Delta t_{нi} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 12,2 - 3,8 - 2,0 = 6,4 \text{ град.}$$

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

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{\lambda^{1,3} \cdot \rho^{0,5} \cdot \rho_{п}^{0,06}}{\sigma^{0,5} \cdot r^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c^{0,3} \cdot \mu^{0,3}} \quad (2.13)$$

Тут фізичні властивості розчину  $\text{NaNO}_3$  в умовах кипіння наведено у таблиці 5.

Таблиця 5. Фізичні властивості киплячих розчинів  $\text{NaNO}_3$  та їхньої пари.

Параметр	Корпус		
	1	2	3
Теплопровідність розчину $\lambda$ , Вт/м·К	0,644	0,661	0,684
Щільність розчину $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1090	1135	1318
Теплоємність розчину $c$ , кДж/кг·К	3,85	3,72	3,59
В'язкість розчину $\mu$ , Па·с	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$0,37 \cdot 10^{-3}$	$0,44 \cdot 10^{-3}$
Поверхневий натяг $\sigma$ , Н/м	0,0696	0,0619	0,0543
Теплота пароутворення $r$ , кДж/кг	2170	2226	2390
Щільність пари $\rho_{п}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,49	0,89	0,16

Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

Тоді

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,644^{1,3} \cdot 1090^{0,5} \cdot 1,49^{0,06}}{69,6^{0,5} \cdot (2170 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3850^{0,3} \cdot (0,32 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 22,79 \cdot q^{0,6}.$$

$$\alpha_2 = 22,79 \cdot q^{0,6} = 22,79 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 22,79 \cdot (7791 \cdot 2,0)^{0,6} = 7469 \text{ Вт/м}^2.$$

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 7791 \cdot 2 = 15582 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 7469 \cdot 6,4 = 47801 \text{ Вт/м}^2.$$

Отже

$$q' \neq q''.$$

У другому наближенні приймемо  $t_1 = 3,0$  град.

Тоді

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2167 \cdot 10^3 \cdot 926^2 \cdot 0,684^3}{0,177 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 4,0}} = 8345 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

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

$$\Delta t_{cm} = \Delta \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 8345 \cdot 3,0 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 7 \text{ град},$$

тоді

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n1} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 12,2 - 7,0 - 3,0 = 2,2 \text{ град}.$$

Тоді

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,644^{1,3} \cdot 1090^{0,5} \cdot 1,49^{0,06}}{69,6^{0,5} \cdot (2170 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3850^{0,3} \cdot (0,32 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 22,79 \cdot q^{0,6}.$$

$$\alpha_2 = 22,79 \cdot q^{0,6} = 22,79 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 22,79 \cdot (8345 \cdot 3,0)^{0,6} = 9928 \text{ Вт/м}^2.$$

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 8345 \cdot 3 = 25030 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 9928 \cdot 2,2 = 21840 \text{ Вт/м}^2.$$

Отже

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

Знаходимо  $K_1$

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{9928} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{8345}} = 1982 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі  $K_2$  для другого корпусу

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2170 \cdot 10^3 \cdot 943^2 \cdot 0,59^3}{0,232 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 4,0}} = 7039 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$\Delta t_{cm} = 7039 \cdot 3,0 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 6 \text{ град};$$

$$\Delta t_2 = 14,3 - 4,0 - 6 = 4,3 \text{ град};$$

$$\alpha_2 = 780 \cdot (7039 \cdot 3)^{0,6} \cdot \frac{0,661^{1,3} \cdot 1135^{0,5} \cdot 0,89^{0,06}}{0,0619^{0,5} \cdot (2226 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3720^{0,3} \cdot (0,44 \cdot 10^{-3})^{0,3}} =$$

$$= 6946 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$q' = 7039 \cdot 4 = 28156 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 6946 \cdot 4,3 = 29867 \text{ Вт/м}^2.$$

Маємо  $q' \approx q''$ .

Знайдемо  $K_2$ .

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{7039} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{6846}} = 1739 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі  $K_3$  для третього корпусу

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2230 \cdot 10^3 \cdot 978^2 \cdot 0,657^3}{0,441 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 11}} = 4820 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$\Delta t_{cm} = 4820 \cdot 11 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 15,2 \text{ град};$$

$$\Delta t_2 = 37,2 - 15,2 - 11 = 11 \text{ град};$$

$$\alpha_2 = 780 \cdot (4820 \cdot 3)^{0,6} \cdot \frac{0,684^{1,3} \cdot 1234^{0,5} \cdot 0,16^{0,06}}{0,0543^{0,5} \cdot (2345 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3590^{0,3} \cdot (0,44 \cdot 10^{-3})^{0,3}} =$$

$$= 4735 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$q' = 4820 \cdot 11 = 52920 \text{ Вт/м}^2;$$

										Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата						25



$$q'' = 4765 \cdot 11 = 52420 \text{ Вт/м}^2.$$

Маємо  $q' \approx q''$ .

Знайдемо  $K_3$ .

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{4820} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{4765}} = 1420 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

### 2. 3 Конструктивні розрахунки

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

$$\Delta t_{n_i} = \sum \Delta t_n \cdot \frac{\frac{Q_i}{K_i}}{\sum_{i=1}^3 \frac{Q}{K}}, \quad (2.14)$$

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

$$\Delta t_{n_1} = 46,6 \cdot \frac{\frac{1175}{1982}}{\frac{1175}{1982} + \frac{1451}{1739} + \frac{1587}{1420}} = 46,6 \cdot \frac{0,65}{0,65 + 0,88 + 1,13} = 10,9 \text{ град};$$

$$\Delta t_{n_2} = 46,6 \cdot \frac{0,83}{2,55} = 15,3 \text{ град};$$

$$\Delta t_{n_3} = 46,6 \cdot \frac{1,12}{2,55} = 20,5 \text{ град}.$$

Перевіримо загальну корисну різницю температур установки

$$\sum \Delta t_n = 10,9 + 15,3 + 20,5 = 46,7 \text{ град}.$$

Тепер розрахуємо поверхню теплопередачі випарних апаратів

$$F_1 = \frac{1175 \cdot 10^3}{1982 \cdot 10,9} = 54,3 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{1451 \cdot 10^3}{1739 \cdot 15,3} = 54,5 \text{ м}^2;$$

									XI. B.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата						26

$$F_3 = \frac{1587 \cdot 10^3}{1420 \cdot 20.5} = 54.5 \text{ м}^2.$$

Знайдені значення відповідають раніше певної поверхні  $F_{op}$ , отже, немає потреби виконувати корекцію розрахункових даних по корпусах.

Остаточню вибираємо за ГОСТ 11987-81 випарний апарат з примусовою циркуляцією і гріючою камерою (тип 2, виконання 1), випарний апарат із площею поверхнею теплопередачі  $F = 63 \text{ м}^2$  що складається з кипятильних труб довжиною 4 м, діаметра  $d_k = 38 \text{ мм}$  і товщиною стінки  $\delta_{ст} = 2 \text{ мм}$ .

Внутрішній діаметр гріючої камери при розміщенні труб по вершинах рівносторонніх трикутників [4]

$$D_k = \sqrt{\frac{1,27 \cdot \sin \alpha \cdot t^2 \cdot n}{\varphi}}, \quad (2.15)$$

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

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

Число труб гріючої камери

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot L} = \frac{54.5}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 4} = 115,$$

приймаємо  $n=120$ .

Тоді

$$D_k = \sqrt{\frac{1,27 \cdot \sin 60^\circ \cdot 0,048^2 \cdot 115}{0,7}} = 0,65 \text{ м},$$

приймаємо стандартне значення діаметра гріючої камери  $D_k = 800 \text{ мм}$ .

Діаметр циркуляційної труби [4]

$$D_u = \sqrt{(0,9 \div 1,5) \cdot d_{вн}^2 \cdot n} = \sqrt{1,5 \cdot 0,034^2 \cdot 115} = 0,447 \text{ м},$$

приймаємо стандартне значення діаметра циркуляційної труби  $D_u = 500 \text{ мм}$ .

Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

Діаметр штуцера для введення суміші

$$d = \sqrt{\frac{G_H - W_1}{0,785 \cdot \omega \cdot \rho_{ж}}}$$

де  $\omega=1-2$  м/с [3]; приймаємо  $\omega=1$  м/с.

$$d = \sqrt{\frac{2,78 - 0,63}{0,785 \cdot 1158 \cdot 1}} = 0,049 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_y = 50$  мм [2, с. 175, табл. 10.2].

Штуцер для виходу випареного розчину:

$$d = \sqrt{\frac{G_H - W_1 - W_2}{0,785 \cdot \omega \cdot \rho}}$$

де  $\omega=1$  м/с

$$d = \sqrt{\frac{2,78 - 0,63 - 0,7}{0,785 \cdot 1 \cdot 1158}} = 0,04 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_y = 50$  мм [2, с. 175, табл. 10.2].

Штуцер для виходу вторинної пари:

$$d_{BT} = \sqrt{\frac{w_2}{0,785 \cdot 15 \cdot \rho_{BT}}}$$

$$d_{BT} = \sqrt{\frac{0,7}{0,785 \cdot 15 \cdot 0,89}} = 0,258 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_y = 300$  мм [2, с. 175, табл. 10.2].

Штуцер для входу пари, що гріє:

$$d_{\Gamma} = \sqrt{\frac{G_n}{0,785 \cdot 15 \cdot \rho_n}}$$

де  $\omega=10-20$  м/с [3]; приймаємо  $\omega=10$  м/с.

$$d_{\Gamma} = \sqrt{\frac{0,55}{0,785 \cdot 10 \cdot 0,89}} = 0,314 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_y = 350$  мм [2, с. 175, табл. 10.2].

							XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата				28

Штуцер для виходу конденсату:

$$d = \sqrt{\frac{0,55}{0,785 \cdot 0,8 \cdot 1000}} = 0,036 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_y = 50$  мм [2, с. 175, табл. 10.2].

## 2.4 Гідравлічний опір апарату

Витрата розчину

$$V = \frac{G_H}{\rho}, \quad (2.23)$$

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

$$V = \frac{2,15}{1158} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Рекомендуєма швидкість розчину

$$\omega = 0,35 \dots 0,6 \text{ м/с},$$

приймаємо  $\omega = 0,5 \text{ м/с}$ .

Тоді значення критерію Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (2.24)$$

$$\text{Re} = \frac{0,5 \cdot 0,034 \cdot 1158}{0,37 \cdot 10^{-3}} = 62595,$$

- Режим руху турбулентний.

Коефіцієнт тертя для охолодної води при турбулентному режимі руху

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}} \quad (2.25)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{62595^{0,25}} = 0,02.$$

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		29

Втрата тиску за висотою апарату

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{H}{D} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.26)$$

$$\Delta p_{\text{тр}} = 0,02 \cdot \frac{4}{0,034} \cdot \frac{0,5^2 \cdot 1158}{2} = 340 \text{ Па.}$$

Коефіцієнти лінійних опорів

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

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

Втрати тиску на місцевих опорах

$$\Delta p_{\text{м}} = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.27)$$

$$\Delta p_{\text{м}} = (2 \cdot 1,0 + 1,0) \cdot \frac{0,5^2 \cdot 1158}{2} = 456 \text{ Па.}$$

Загальна втрата тиску в трубному просторі

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} = 340 + 456 = 796 \text{ Па.}$$

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

Для створення вакууму у випарних установках застосовують конденсатори змішування з барометричною трубою. Як охолодний агент використовують воду.

Витрата охолоджувальної води визначаємо з теплового балансу конденсатора

$$G_{\text{в}} = \frac{W_3 \cdot (i_{\text{бк}} - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{к}})}{c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})} \quad (2.32)$$

де  $i_{\text{бк}}$  – ентальпія пари в барометричному конденсаторі, кДж/кг;  $c_{\text{в}} = 4190$  кДж/кг·К – теплоємність води;  $t_{\text{н}} = 10 \dots 20$  °С – початкова температура води, що охолоджує;  $t_{\text{к}}$  – кінцева температура суміші води та конденсату, °С.

										XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата							30

Різниця температур між паром та рідиною на виході з конденсатора становить 3..5 град, тому кінцеву температуру води тк приймають на 3...5 град. нижче температури конденсації парів

$$t_k = t_{\text{ок}} - 3,4 = 75,4 - 3,4 = 72^\circ\text{C}.$$

Тоді

$$G_B = \frac{0,43 \cdot (2636 - 4,19 \cdot 72)}{4,19 \cdot (72 - 15)} = 4,2 \text{ кг/с.}$$

Діаметр барометричного конденсатора визначаємо з рівняння витрати

$$d_{\text{БК}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W_3}{\rho_{\text{п}} \cdot \pi \cdot w_{\text{п}}}}, \quad (2.33)$$

де  $\rho_{\text{п}}$  – густина пари в конденсаторі,  $\text{кг/м}^3$ ;  $w_{\text{п}}$  – швидкість пари, що приймається в межах  $15 \div 25 \text{ м/с}$ .

$$d_{\text{БК}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,43}{0,16 \cdot 3,14 \cdot 20}} = 0,41 \text{ м.}$$

За ОСТ 26716-73 вибираємо конденсатор діаметром  $d_{\text{БК}} = 500 \text{ мм}$  та діаметром барометричної труби  $d_{\text{БТ}} = 125 \text{ мм}$ .

Швидкість води у барометричній трубі

$$\omega = \frac{4 \cdot (G_B + W_3)}{\rho_{\text{в}} \cdot \pi \cdot d_{\text{БТ}}^2}, \quad (2.34)$$

де  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$  – густина води.

$$\omega = \frac{4 \cdot (4,2 + 0,43)}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,125^2} = 0,38 \text{ м/с}$$

Висота барометричної труби

$$H_{\text{БТ}} = \frac{B}{\rho_{\text{в}} \cdot g} + \left( 1 + \sum \zeta + \lambda \cdot \frac{H_{\text{БТ}}}{d_{\text{БТ}}} \right) \cdot \frac{w_{\text{БТ}}^2}{2 \cdot g} + 0,5, \quad (2.35)$$

де  $B$  – вакуум у барометричному конденсаторі, Па;  $\sum \zeta$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів;  $\lambda$  – коефіцієнт тертя у барометричній трубі;  $H_{\text{БТ}}$ ,  $d_{\text{БТ}}$  – висота

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
						31
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

та діаметр барометричної труби, м; 0,5 - запас висоти на можливі зміни барометричного тиску, м.м.

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

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

де  $\zeta_{\text{вх}}$ ,  $\zeta_{\text{вих}}$  – коефіцієнти місцевих опорів на вході в трубу та на виході з неї [2].

Величина критерію Re

$$Re = \frac{w \cdot d_{\text{бт}} \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}}, \quad (2.36)$$

де  $\mu_{\text{в}}$  – в'язкість води, що визначається за середньою температурою, Па·с.

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{н}} + t_{\text{к}}}{2} = \frac{72 + 15}{2} = 43,5^\circ\text{C.}$$

$$Re = \frac{0,38 \cdot 0,125 \cdot 1000}{0,632 \cdot 10^{-3}} = 75150.$$

Для гладких труб при  $Re = 75150$  [2]

$$\lambda = 0,0125.$$

$$H_{\text{бт}} = \frac{7,4 \cdot 10^4}{9,8 \cdot 1000} + \left( 1 + 1,5 + 0,0125 \cdot \frac{H_{\text{бт}}}{0,125} \right) \cdot \frac{0,38^2}{2 \cdot 9,8} + 0,5$$

звідки

$$H_{\text{бт}} = 8,24 \text{ м.}$$

Далі визначаємо продуктивність вакуум насоса, яка визначається кількістю повітря, віддаленого з барометричного конденсатора.

$$G_{\text{к}} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (W_3 + G_{\text{в}}) + 0,01 \cdot W_3, \quad (2.37)$$

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

$$G_{\text{к}} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (0,43 + 4,2) + 0,01 \cdot 0,43 = 4,42 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с.}$$

Об'ємна продуктивність насоса

$$V_{\text{нов}} = \frac{R \cdot (273 + t_{\text{нов}}) \cdot G_{\text{к}}}{M_{\text{нов}} \cdot P_{\text{нов}}}, \quad (2.38)$$

										Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата						32

де  $R$  – універсальна газова стала, Дж/(кмоль·К);  $M_{\text{пов}}$  – молекулярна маса повітря, кг/кмоль;  $t_{\text{повітря}}$  – температура повітря, °С;  $P_{\text{пов}}$  – парціальний тиск сухого повітря на барометричному конденсаторі, Па.

Температура повітря

$$t_{\text{пов}} = t_n + 4 + 0,1 \cdot (t_k - t_n) = 15 + 4 + 0,1 \cdot (72 - 15) = 24,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тиск повітря

$$P_{\text{пов}} = P_{\text{бк}} - P_n, \quad (2.39)$$

де  $P_n$  – тиск сухої насиченої пари при  $t_{\text{пов}} = 24,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $P_n = 0,035 \cdot 9,8 \cdot 10^4$

$$P_{\text{пов}} = (0,25 - 0,035) \cdot 9,8 \cdot 10^4 = 2170 \text{ Па.}$$

$$V_{\text{пов}} = \frac{8310 \cdot (273 + 24,7) \cdot 4,42 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 21070} = 0,018 \text{ м}^3/\text{с} = 1,07 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Знаючи об'ємну продуктивність повітря  $V_{\text{повітря}}$  та залишковий тиск у конденсатора  $P_{\text{бк}}$ , за ГОСТ 1867-57 підбираємо вакуум насос типу ВВН-1,5 потужністю на валу  $N_n = 2,1 \text{ кВт}$ .

Питома витрата енергії на топку води, що упарюється

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_n \cdot 1000}{W} \quad (2.40)$$

$$N_{\text{уд}} = \frac{2,1 \cdot 1000}{1,2 \cdot 3600} = 0,49 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т.}$$

Далі здійснимо вибір підігрівача за основним рівнянням теплопередачі

$$F_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{K_{\text{п}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}}; \quad (2.41)$$

$$Q_{\text{п}} = G_n \cdot c_n \cdot (t_{2к} - t_{2н}), \quad (2.42)$$

де  $Q_{\text{п}}$  - теплове навантаження підігрівача, Вт;  $K_{\text{п}}$  - коефіцієнт теплопередачі,  $K=120...340 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)}$ ;  $\Delta t_{\text{ср}}$  – середня різниця температур між парою та розчином, К;  $G_n$ ,  $c_n$  – кількість початкового розчину, кг/с, та його теплоємність, Дж/(кг·К);  $t_{2н}$ ,  $t_{2к}$  – початкова та кінцева температура розчину, °С.

						XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата			33



$$Q_{\Pi} = 2 \cdot 3,85 \cdot (123,5 - 20) = 797 \text{ кВт};$$

$$t_{1\text{н}} = 135^{\circ}\text{C} \rightarrow t_{1\text{к}} = 135^{\circ}\text{C}$$

$$t_{2\text{н}} = 123,5^{\circ}\text{C} \rightarrow t_{2\text{к}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\overline{\Delta t_{\text{м}}} = 11,5 \quad \overline{\Delta t_{\text{б}}} = 115$$

Середня різниця температур

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (2.43)$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{115 - 11,5}{\ln \frac{115}{11,5}} = 44,9 \text{ К.}$$

Тоді поверхня теплообміну

$$F_{\Pi} = \frac{797 \cdot 10^3}{300 \cdot 44,9} = 59,2 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні теплопередачі теплообмінника приймається на 10÷20% більше за розрахункову величину, отже

$$F = (1,1 \div 1,2) \cdot F_{\Pi} = 1,1 \cdot 59,2 = 65,1 \text{ м}^2. \quad (2.44)$$

На підставі знайденої поверхні за ГОСТ 15122-79 вибираємо кожухотрубчастий двоходовий теплообмінник з такими параметрами: площа поверхні теплопередачі  $F = 65 \text{ м}^2$ ; число труб  $n = 283$ ; довжина труб  $L = 3 \text{ м}$ ; діаметр труб  $d = 252 \text{ мм}$ ; діаметр кожуха  $D = 600 \text{ мм}$ .

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		34

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки апарата

З умови завдання тиск у просторі

$$p = 0,14 \text{ ата} = 0,14 \text{ МПа.}$$

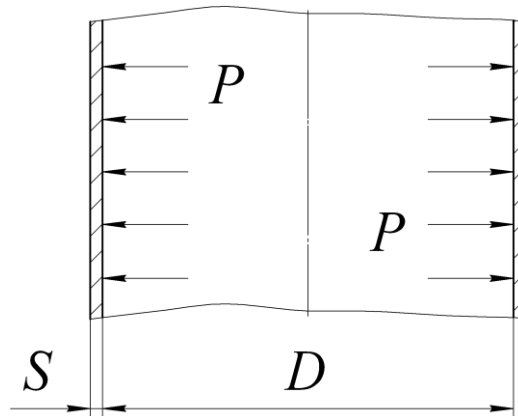


Рисунок 3.1 - Ескіз циліндричної обічайки

З таблиці 1.2 [9] нормативне допустиме напруження за робочих умов

$$\sigma^* = 150 \text{ МПа}$$

Напруга, що допускається для матеріалу з листового прокату

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* = 1 \cdot 150 = 150 \text{ МПа.}$$

Модуль пружності за робочих умов [9]

$$E = 1,98 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки сепаратора

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p}$$

$$s_p = \frac{0,14 \cdot 2200}{2 \cdot 0,9 \cdot 150 - 0,14} = 1,14 \text{ мм.}$$

Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата



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

$$c = 0,2 \cdot 10 = 2,0 \text{ мм.}$$

Тоді

$$s = s_p + c = 1,95 + 2 = 3,95 \text{ мм.}$$

За ГОСТ 15121-79 мінімальна товщина обічайки для апаратів  $D = 2200$  мм складає  $s = 8,0$  мм, а цій товщині і зупиняємо свій вибір.

Тиск пари під кришкою

$$p_{\pi} = 0,14 \text{ МПа.}$$

Тиск гідравлічних випробувань

$$p_{\pi} = 0,322 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки під час проведення гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_{\pi} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{\pi} - 0,5 \cdot p_{\pi}} \quad (3.5)$$

$$s_p = \frac{0,322 \cdot 1400}{2 \cdot 0,9 \cdot 202 - 0,5 \cdot 0,322} = 1,24 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина кришки

$$s_{kp} = s_p + c = 1,24 + 2,0 = 3,24 \text{ мм.}$$

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

Розрахункова товщина стінки кожуха

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

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

$$s_p = \frac{0,4 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 150 - 0,4} = 1,3 \text{ мм.}$$

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		37



### 3.2 Розрахунок і вибір опори

Маса обичайки кожуха камери, що гріє

$$m_k = \left[ \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho, \quad (3.6)$$

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

$$m_k = \left[ \frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,006)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 4 \cdot 7860 = 490 \text{ кг.}$$

Маса кришки та днища

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (3.7)$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,006 \cdot 7860 = 37 \text{ кг.}$$

Маса труб

$$m_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot l \cdot n \cdot \rho \quad (3.8)$$

$$m_{тр} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,038^2 - 0,034^2) \cdot 4 \cdot 120 \cdot 7860 = 711 \text{ кг.}$$

Маса фланця з решіткою

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (3.9)$$

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

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,95^2}{4} \cdot 0,08 \cdot 7860 = 445 \text{ кг.}$$

Объем трубного простору

$$V_{тр} = 0,785 \cdot d^2 \cdot n \cdot l \quad (3.10)$$

$$V_{тр} = 0,785 \cdot 0,034^2 \cdot 120 \cdot 4 = 0,36 \text{ м}^3.$$

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		39

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

$$m_p = V_p \cdot \rho \cdot \varepsilon \quad (3.11)$$

$$m_p = 0,36 \cdot 1024 \cdot 0,4 = 147 \text{ кг.}$$

Сила тяжкості апарата у робочому стані

$$G = g \cdot (m_k + 2 \cdot m_{кр} + m_{тр} + 2 \cdot m_{\phi} + m_p) \quad (3.12)$$

$$G = 9,81 \cdot (490 + 2 \cdot 37 + 711 + 2 \cdot 445 + 147) = 22681 \text{ Н} = 22,7 \text{ кН,}$$

приймаємо кількість опор  $n = 3$  шт.

Навантаження на одну опору

$$Q = \frac{G}{n} \quad (3.13)$$

$$Q = \frac{22,7}{3} = 7,6 \text{ кН.}$$

Выбираем опору с допускаемой нагрузкой  $Q = 10$  кН. Обозначение опоры 1-1000 ОСТ 26-665-79.

### 2.3 Розрахунок зміцнення отворів

Корпус апарату, днище, кришка забезпечуються необхідною кількістю штуцерів для підключення його до технологічних ліній, огляду і ремонту апарату і тому подібне Отвори не тільки зменшують площу матеріалу корпусу або днища, що несе, кришки, але і викликають високу концентрацію напруги поблизу краю отвору.

Приймаємо конструктивно на кришці корпусу апарату отвор:

-  $D_y = 350$  мм – штуцер для вводу пара.

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		40





$$s_0 - s \leq 5$$

$8 - 6 = 2 \leq 5$  - - умови виконуються.

Визначимо діаметр болтового кола. З [6] с.263

$$D_6 = D_{вн} + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_6 + u), \quad (3.6)$$

де  $d_6 = 20$  мм – діаметр болтів при  $D_{вн} = 800$  мм та  $p = 0,4$  МПа (табл. 1.40 [6]);  
 $u = 6$  мм – нормативний зазор між гайкою та втулкою ( $u = 4 \div 6$ , табл.9 [6]).

$$D_6 = 0,8 + 2 \cdot (2 \cdot 0,008 + 0,020 + 0,006) = 0,88 \text{ м},$$

приймаємо  $D_6 = 0,88$  м (див. с.263 [6]).

По [6] с.264 зовнішній діаметр фланця

$$D_\phi \geq D_6 + a,$$

де  $a = 40$  мм (табл.13.27 [6])

$$D_\phi = 0,88 + 0,04 = 0,92 \text{ м},$$

приймаємо  $D_\phi = 0,92$  м (с.264 [6]).

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою [6]

$$D_\pi \geq D_6 - e,$$

де  $e = 30$  мм (табл.13,27 [6]);

$$D_\pi = 0,88 - 0,03 = 0,85 \text{ м}.$$

Середній діаметр прокладки [6]

$$D_{ср.п} \geq D_\pi - b_\pi,$$

де  $b_\pi = 20$  мм – ширина прокладки (табл.1.42 [6]);

$$D_{ср.п} = 0,85 - 0,02 = 0,83 \text{ м}.$$

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
						42
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

Еквівалентна ширина прокладки

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{b_{\Pi}} \quad (\text{при } b_{\Pi} > 15 \text{ мм});$$

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{20} = 2,68 \text{ мм.}$$

Застосовуємо матеріал прокладки – Пароніт за ГОСТ 481-80 завтовшки 2 мм.

Кількість болтів, необхідне забезпечення герметичності з'єднання, визначається за формулою [6]

$$Z_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{б}}},$$

де  $t_{\text{б}}$  – шаг болтів,  $t_{\text{б}} = (3,8 \div 4,8) \cdot d_{\text{б}} = 4,8 \cdot 20 = 96$  мм (табл.13.20 [6])

$$Z_{\text{б}} = \frac{3,14 \cdot 0,88}{0,096} = 28,8.$$

Приймаємо найближче кратне чотири значення  $Z_{\text{б}} = 32$ .

Висота фланця визначається за формулою

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D_{\text{вп}} \cdot s_e},$$

де  $\lambda = 0,38$  – коефіцієнт (рис.13.14 [6]);  $s_e$  – еквівалентна товщина втулки фланця

$$s_e = \alpha \cdot s_0,$$

де  $\alpha = 1,0$  – для плоского приварного фланця

$$s_e = 1,0 \cdot 8 = 8 \text{ мм};$$

$$h = 0,38 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 0,008} = 0,031 \text{ м,}$$

приймаємо  $h = 40$  мм.

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		43

Розрахункова довжина болта між опорними поверхнями головки болта та гайки

$$l_b = l_{bo} + 0,28 \cdot d_b;$$

$$l_{bo} = 2 \cdot (h_{cp} + s_{II});$$

$$l_{bo} = 2 \cdot (40 + 2) = 84 \text{ мм};$$

$$l_b = 84 + 0,28 \cdot 20 = 89,6 \text{ мм};$$

з урахуванням товщини трубних грат приймаємо  $l_b = 140 \text{ мм}$ .

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання

$$Q_d = \frac{p_R \cdot \pi \cdot D_{cp,II}^2}{4},$$

де  $p_R = 0,4 \text{ МПа}$  – внутрішній тиск в апараті;  $D_{cp,II} = 0,83 \text{ м}$  – середній діаметр прокладки

$$Q_d = \frac{0,4 \cdot 3,14 \cdot 0,83^2}{4} = 0,17 \text{ МН}.$$

Реакція прокладки за робочих умов [6]

$$R_{II} = \pi \cdot D_{cp} \cdot b_e \cdot m \cdot p_R,$$

де  $m = 2,5$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу прокладки (табл.13.28 [6]);

$$R_{II} = 3,14 \cdot 0,83 \cdot 2,68 \cdot 0,0025 \cdot 0,4 = 0,005 \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = \gamma \cdot Z_b \cdot f_b \cdot E_b \cdot (\alpha_{cp} \cdot t_{cp} - \alpha_b \cdot t_b),$$

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		44

де  $\alpha_{cp} = 12,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця;  
 $\alpha_6 = 12,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ C$  - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болтів;  $t_6 = 0,96 t_p = 0,96 \cdot 144 = 137 ^\circ C$  - розрахункова температура неізолюваних болтів;  
 $\gamma$  – безрозмірний коефіцієнт;  $Z_6$  – кількість болтів;  $f_6 = 2,35 \cdot 10^{-4} m^2$  - розрахункова площа поперечного перерізу болта по зовнішньому діаметру;  $E_6 = 1,91 \cdot 10^5 MPa$  - модуль поздовжньої пружності сталі 20к при  $t_6 = 137 ^\circ C$ .

$$\gamma = A \cdot Y_6,$$

де  $Y_6$  – лінійна податливість болта.

$$Y_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot f_6 \cdot Z_6}$$

$$Y_6 = \frac{0,14}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 32} = 16,5 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$$A = [Y_{\text{п}} + Y_6 + 0,25 \cdot (Y_{\phi 1} + Y_{\phi 2}) \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}})]^{-1},$$

де  $Y_{\text{п}}$  – Лінійна податливість прокладки;  $Y_{\text{ср}} = Y_{\phi 1} = Y_{\phi 2}$  - кутова податливість фланця;

$$Y_{\text{п}} = \frac{s_{\text{п}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\text{п}} \cdot E_{\text{п}}}$$

$$Y_{\text{п}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 0,83 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 17,7 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН};$$

$$Y_{\text{ср}} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E},$$

де  $\omega$  – безрозмірний параметр;  $\psi_2$  – коефіцієнт, який визначається за рис.13.17 [6].

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1},$$

де  $\psi_1, j$  – коефіцієнти

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
						45
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K ;$$

$$K = \frac{D_{\text{ср}}}{D_{\text{вп}}} - \text{для плоских фланців;}$$

$$K = \frac{0,83}{0,8} = 1,13 ;$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,13 = 6,8 \cdot 10^{-2} ,$$

$$\psi_2 = \frac{k+1}{k-1} = \frac{1,13+1}{1,13-1} = 16,4 ;$$

$$j = \frac{h}{s_e} = \frac{0,04}{0,008} = 5. \quad (\text{с.226 [6]})$$

Тоді

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,38 \cdot (1 + 6,8 \cdot 10^{-2} \cdot 6^2)]^{-1} = 0,53 ;$$

$$Y_{\phi} = \frac{[1 - 0,53 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 16,4}{0,04^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,9 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН;}$$

$$A = [17,7 \cdot 10^{-6} + 16,4 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot (0,88 - 0,83)^2]^{-1} = 236 \text{ МН/м;}$$

отже,

$$\gamma = 236 \cdot 7,88 \cdot 10^{-5} = 0,019 ;$$

зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = 0,019 \cdot 32 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 139 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 137) = 0,0021 \text{ МН.}$$

Визначимо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$k_{\text{ж}} = \frac{Y_{\phi} + 0,5 Y_{\text{ср}} (D_{\phi} - D - s_o) \cdot (D_{\phi} - D_{\text{ср.п}})}{Y_{\text{п}} + Y_{\phi} + Y_{\phi} (D_{\phi} - D_{\text{ср.п}})^2}$$

$$k_{\text{ж}} = \frac{16,5 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot (0,88 - 0,8 - 0,008) \cdot (0,88 - 0,83)}{17,7 \cdot 10^{-6} + 16,5 \cdot 10^{-5} + 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot (0,88 - 0,83)^2} = 0,9 .$$

						XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата			46

Визначимо болтове навантаження. За умови монтажу [6]

$$p_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{ж} \cdot Q_{д} + R_{п} \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{ср.п} \cdot b_{п} \cdot p_{пр} \end{array} \right\},$$

де  $p_{пр}$  – пробний тиск стиснення прокладки, для пароніту по табл. 4 [6]

$$p_{пр} = 20 \text{ МПа.}$$

$$p_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot 0,17 + 0,005 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,83 \cdot 0,02 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,16 \\ 0,57 \end{array} \right\} = 0,57 \text{ МН.}$$

За робочих умов [6]

$$p_{62} = p_{61} + (1 - k_{ж}) \cdot Q_{д} + Q_{t}$$

$$p_{62} = 0,57 + (1 - 0,9) \cdot 0,17 + 0,0021 = 0,59 \text{ МН.}$$

Перевірка міцності та герметичності з'єднання

умова міцності болтів [2]

$$\frac{p_{61}}{Z_{\sigma} \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma_{\sigma}]^{20},$$

$$\frac{p_{62}}{Z_{\sigma} \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma_{\sigma}]^t,$$

$$\frac{0,57}{32 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 144 = 121 \leq 144 \text{ – умова виконується;}$$

$$\frac{0,59}{32 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 144 = 126 \leq 144 \text{ – умова виконується.}$$

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
						47
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 Монтаж та ремонт апарату

### 4.1 Монтаж розробленого апарату

Виготовлений випарний апарат на місце монтажу поставляється двома блоками. К складу першого блока входить сепаратор, к складу другого – камера, що гріє, з опорою. Решта обладнання и трубопровід повинні производяться по повністю зібраному взору или частям відповідно до вимог ОСТ 26-291-79. При поставке випарного апарату спинулины, консервации повинні бути піддані поверхні оброблені деталей из вуглецевої стали, що не фарбується, опорні поверхні, що стикаються с бетонними основами.

Обладнання випарного апарату транспортується залізничним транспортом на відкритическом рухомому складу, на платформах відповідно до вимог правил перевезення вантажів и технічних умов навізья и кріплення вантажів, затверджених МПС.

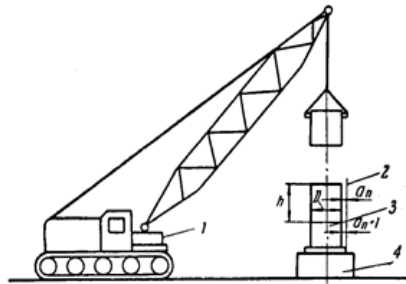
Монтаж випарного апарату здійснюється у закритому приміщенні. Перед початком монтажу здійснюється розпакування обладнання, перевірка фундаментів, встановлення фундаментальних болтів, розбирання та збирання обладнання, очищення від мастила, що консервує.

Переміщення та монтаж обладнання здійснюється за допомогою кранів та щоглів. На фундамент встановлюється блок №1, що складається з камери, що гріє, з опорою. Потім встановлюється біля камери, що гріє, блок №2 і проводиться їх з'єднання за рахунок фланців. Після монтажу здійснюється підключення апарату до всіх технологічних ліній, і наприкінці робіт проводиться випробування апарату.

При розміщенні обладнання у хімічній и суміжних галузь промисловості враховується безпека обслуговування, рух людей і транспорту, а також зручність чищення робочих поверхонь обладнання. Для этого передбачаються проходи с необхідною шириною и відстанями меж апаратами. Основные возможности до проходів и отводів включають наступне: 1. Проходи у света:

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		48

Меньше всего выпадающих частей устаткування слід залишати прохід завширшки щонайменше 1 метр. Це забезпечить достатній простір для безпечного руху и обслуговування обладнання.



Рисунко 4.1 - Монтажапарату за допомогою крана

По фронту обслуговування насосів ширину проходу світла робимо щонайменше 1,5 м. Проходи, службовці для періодичного обслуговування устаткування й щитів управління, мають ширину щонайменше 0,8 м. Відстань у світлі між апаратами, а також між апаратами та стінами приміщення при необхідності кругового обслуговування не менше 0,8 м.

Розташування обладнання на ділянці випарки має такий вигляд: збірник вихідного розчину пов'язаний за допомогою трубопроводу з нижнім конусом і штуцером подачі вихідної суміші, конус нижній з'єднаний з гріючою камерою, яка в свою чергу приєднана до сепаратора, штуцер виходу випареного розчину в сепараторі з'єднується з ємністю розчину, теплообмінник для подачі гріючої пари з'єднаний з камерою, що гріє.

При встановленні апаратів, що працюють під тиском та підвідомчих Держнаглядохоронпраці, слід, керуючись «Правилами пристрою та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском» виключити можливість перекидання апаратів, забезпечити доступ до всіх частин апарату, можливість огляду, ремонту та очищення як з внутрішньої так і з зовнішньої сторони, виготовити для зручності сталеві сходи та майданчики, які не повинні порушувати міцність та стійкість апарату.

Для зручності обслуговування поверхи та обслуговуючі майданчики пов'язані між собою службовими сходами шириною 1,35 м та кутом 45°. У

						Арку
					XI. B.00.00.000 ПЗ	49
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		



приміщенні передбачені стійки, необхідні для передачі навантаження від трубопроводів на металоконструкції та перекриття.

## 4.2 Ремонт апарату

У процесі тривалої роботи випарний апарат піддається забрудненню та зносу. Поверхня його засмічується накипом, відкладенням солі. Зі збільшенням відкладень зростає термічний опір стінки та погіршується теплообмін.

Зношування випарного апарату виражається в наступному:

- Зменшення товщини стінки корпусу днища, трубних решіток;
- випучені і вм'ятини на корпусі та днищі;
- нориці, тріщини, прогари на корпусі, трубках, фланцях;
- збільшення діаметра отворів труб у трубних ґратах;

прогин трубних решіток та деформація трубок; ушкодження теплоізоляції.

Підготовка до ремонту включає виконання таких заходів:

- спускається вакуум з апарату до атмосферного та звільняється від продукту;
- відключається арматура і ставляться заглушки на всіх трубопроводах, що підводять і відводять;
- проводиться продування водяною парою з подальшим промиванням водою і продуванням повітрям;
- складається план та виходить дозвіл на проведення робіт;
- Складається акт здачі в ремонт.

Далі виконуються такі роботи:

- зняття кришок апарату, люка, демонтаж обв'язки та арматури;
- Виявлення дефектів вальцювання та зварювання, а також цілісності трубок гідравлічними або пневматичними випробуваннями на робочий тиск;
- Часткова зміна або відключення дефектних трубок;
- ремонт або заміна зносу арматури, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів;

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		50

- Зміна ущільнень фланців;
- Вилучення трубок, чищення внутрішньої поверхні апарату;
- заміна частини корпусу днищ (кришок) зношених деталей;
- Монтаж розбірних з'єднань;
- гідравлічне випробування міжтрубного та трубного простору пробним тиском;
- Пневматичне випробування апарату.

Відмови випарного апарату відбуваються переважно через корозію труб трубного пучка.

Найбільш трудомісткими операціями при ремонті випарного апарату є:

- Очищення випарного апарату;
- ремонт та виготовлення трубних пучків, а також їх встановлення;
- Випробування випарного апарату.

Терміни та утримання ревізій та ремонтів визначають виходячи з конкретних експлуатаційних умов. Необхідність у достроковому ремонті обумовлена різким погіршенням теплообміну (відповідно до технологічної карти), а також змішуванням середовищ, що обмінюються теплом. У першому випадку можливе забруднення внутрішніх або зовнішніх поверхонь (або і тих, і інших) труб, у цьому розрив однієї або декількох труб, або порушення щільності в місцях з'єднання труб з решітками. Наскрізне знос самих трубних решіток практично виключається через їхню велику товщину. Аварійний ремонт може бути викликаний зношуванням корпусу, про який судять з порушення теплоізоляції.

Послідовність операцій при ревізії та ремонті теплообмінників жорсткої конструкції приблизно однакова. Промивання апарату. З трубного та міжтрубного просторів через штуцера або спеціальні спускні муфти на кришках та корпусі видаляють вміст. Далі протягом часу, що визначається фізико-хімічними властивостями робочого середовища, їх промивають водою; потім пропарюють, для чого в трубопровідній обв'язці теплообмінників передбачається можливість підключення парової лінії, що надійно

							XI. B.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата				51

відглушується при роботі апаратів у робочому режимі. Промивання та пропарювання мають дві мети: підготовку апарату до розтину шляхом видалення вибухо- та пожежонебезпечних або токсичних речовин та очищення поверхонь від відкладень. Слід мати на увазі, що промивання єдино можливий спосіб видалення відкладень із зовнішніх поверхонь труб і внутрішніх поверхонь корпусу.

Багато промивати апарати гарячою водою, що підігрівається парою. На нафтопереробних установках практикують промивання апаратів сумішшю гарячої води та гасу. Гас розчиняє нафтопродукти, а кокс та інші механічні домішки відносяться потоком суміші. Ефективність такого промивання зростає, якщо одночасно трубний простір подається пара. Для економії гасу та скорочення витрати тепла на підігрів відпрацьовану промивну суміш зливають у ємність, де вона відстоюється від бруду та використовується знову. Як промивну рідину застосовують також підігріте до 100-120 ° С солярове масло. У тих випадках, коли відкладення на поверхнях погано розчиняються в гасі або солярній олії, застосовують кислотне очищення з використанням спеціальних інгібіторів, що запобігають інтенсивній корозії металу труб і корпусу. Зазвичай застосовують соляну кислоту у суміші з інгібітором. Тривалість промивки визначають на основі накопиченого досвіду для кожної групи теплообмінників залежно від фізико-хімічних властивостей відкладень.

Трубопровідне об'язування великих випарних апаратів зазвичай передбачає можливість відключення їх від системи; для апаратів із невеликою поверхнею теплообміну передбачається попарне відключення. Така об'язка дозволяє на ходу відключати камери, що гріють, з дефектами. Аналогічно промивання трубного простору, тобто внутрішні поверхні теплообмінних труб і кришок апарату. Після промивання апарат від'єднують від комунікацій і приступають до розбирання.

Фактичну товщину стінки днищ та секційних перегородок у них вимірюють шляхом висвердлювання отворів, а також за допомогою ультразвукових товщиномірів. Якість приварювання секційних перегородок до

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		52

днищ перевіряють, заливаючи воду. Воду подають по черзі в кожну секцію, для чого на кришці попередньо заглушують усі штуцери, а кришку встановлюють відкритою стороною (нашою) нагору. Стан кріплення кінців труб трубних решітках спочатку перевіряють візуальним оглядом. Широко поширене кріплення кінців труб у гніздах трубних ґрат розвальцюванням. Відмінна риса розвальцювання теплообмінних труб - мала товщина останніх, тому кріплення кінців труб у трубних решітках слід перевіряти особливо ретельно. Якість розвальцювання оцінюють у стані розвальцьованої поверхні, яка має бути рівномірно деформована.

Необхідно, щоб кінці труб виступали над поверхнею ґрат на довжину, рівну товщині стінок труб, і були відбортовані. Дзвіночок (відбортована ділянка) кінця труби має бути цілим, без розривів і тріщин. Слід звертати увагу на ділянки переходу від розвальцьованої поверхні стінки труби до нерозвальцьованої: вони мають бути плавними, без гострих підрізів стінок.

У більшості випадків труби швидше зношуються по кінцях, тому, вимірюючи їх товщину, можна будувати висновки про стан теплообмінних труб загалом. Надмірно зношені труби не можуть забезпечити надійність розвальцьованого з'єднання. Застосовується також зварне кріплення труб у трубних решітках, якщо ґрати та труби виготовлені з металів, що добре зварюються. Велика різниця товщини решітки ні стінки труби ускладнює якісне виконання зварювальних робіт. При огляді звертають особливу увагу на рівномірність зварного шва та його товщину, так як шви в процесі експлуатації схильні до корозійного та ерозійного зношування.

Візуальним оглядом і вимірюванні діаметрів вільних перерізів встановлюють ступінь забруднення внутрішніх поверхонь труб, які були видаленням при промиванні. Ці відкладення знімають механічним чищенням, яке полягає в розпушуванні та зіскоблюванні з поверхні труб відкладень за допомогою різних інструментів. Процес механічного чищення трудомісткий. У найпростішому випадку труби вручну пронизують шомполами - довгими дротиками з йоржистим наконечником. Після цього (а іноді й одночасно) труби

										Арку
										53
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата						

продувають парою, що подається в кожну з них окремо. При необхідності ці операції чергують кілька разів, поступово збільшуючи діаметр наконечника – йоржа. На заводах знайшли застосування різні пристрої для екавізації чищення. В основу їх покладено принцип обертального буріння. Наконечник, що обертається, - бур повільно протикається в трубу, що очищається під дією власної ваги (у випадку вертикально встановлених теплообмінників) або зусиллям робітника (у випадку горизонтально встановлених теплообмінників). Бур на різьбленні з'єднаний з порожнистим (трубчастим) валом, довжина якого дорівнює довжині труби, що очищається. Вал приводиться у обертальний рух від пневмо-або електродвигуна через редуктор. Пристрій має золотниковий пристрій для подачі всередину труб промивної води, яка через наскрізні отвори на поверхні бура виходить назовні, змиваючи розпушений бруд. У деяких випадках замість води в труби подають водяну пару; при цьому слід особливо дотримуватись правил безпеки (опіки). Приховані дефекти гріючих камер встановлюють опресовуванням міжтрубного простору при Бур на різьбленні з'єднаний з порожнистим (трубчастим) валом, довжина якого дорівнює довжині труби, що очищається. Вал приводиться у обертальний рух від пневмо-або електродвигуна через редуктор. Пристрій має золотниковий пристрій для подачі всередину труб промивної води, яка через наскрізні отвори на поверхні бура виходить назовні, змиваючи розпушений бруд. У деяких випадках замість води в труби подають водяну пару; при цьому слід особливо дотримуватись правил безпеки (опіки). Приховані дефекти гріючих камер встановлюють

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		54

опресовуванням міжтрубного простору при яка через наскрізні отвори на поверхні бура виходить назовні, змиваючи розпушений бруд. У деяких випадках замість води в труби подають водяну пару; при цьому слід особливо дотримуватись правил безпеки (опіки). Приховані дефекти гріючих камер встановлюють опресовуванням міжтрубного простору при яка через наскрізні отвори на поверхні бура виходить назовні, змиваючи розпушений бруд. У деяких випадках замість води в труби подають водяну пару; при цьому слід особливо дотримуватись правил безпеки (опіки). Приховані дефекти гріючих камер встановлюють опресовуванням міжтрубного простору при відкритих з обох бордів кришок, зношену або трубу, що лопнула, виявляють за появою в ній опресувальної рідини, а нещільності в з'єднаннях кінців труб з трубними решітками - по рідині, що пропускається, і запотіванню. Заміна труби, що вийшла з ладу, — складна операція. За трубними решітками труби ріжуть ножівкою (якщо вони доступні для цього), а труби, розташовані з боку ґрат, - спеціальною головкою з різцем.

Змінювану трубу за допомогою виточеної по її зовнішньому діаметру оправки витягають через одну з ґрат замість неї вставляють нову, кінці якої розвальцьовують в решітках або приварюють до них.

Складніше міняти трубу з привареними кінцями. Для цього вручну або пневматичним молотком зрізується шов, а іноді механічно обробляється гніздо у ґратах. Насправді зношені труби замінюють новими дуже рідко; їх зазвичай заглушують із двох кінців металевими (наприклад, сталевими) пробками. Затвори забивають туго, щоб надійно протистояти максимальному тиску в трубах.

Число труб, що відглушуються, не повинно перевищувати 10% загальної їх кількості в пучку, що припадає на один потік; інакше значно зростає гідравлічний опір та помітно зменшується поверхня теплообміну. У загальному випадку виявлення кількох дефектних труб у давно працюючих теплообмінниках вказує на можливість виходу з ладу всіх труб, оскільки вони працюють в однакових умовах. Тому відглушенням труб можна підтримати

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		55

експлуатаційну придатність теплообмінника до найближчого капітального або середнього ремонту, під час якого теплообмінник або трубний пучок його повністю замінюють новим.

Підвальцювання теж потребує високої кваліфікації виконавця. Надмірним підвальцюванням з'єднання можна вивести з ладу, тому, якщо одне або двократне підвальцювання не дає результату трубу з обох кінців приварюють до торців трубних решіток. У цьому випадку прилеглі кінці труб після зварювання слід підвальцювати щоб зняти вплив нагріву при зварюванні зношені ділянки корпусу знаходить за допомогою гідравлічного обпресування або ультразвукового дефектоскопа. вимірювальними інструментами (штангенциркулем, лінійкою та ін.). Корпус ремонтують, накладаючи на його зовнішню поверхню латки з листової сталі тієї ж марки, з якої виготовлений корпус. Латки приварюють внахлестку. Не слід вирізати пошкоджену ділянку газорізкою для того, щоб приварити потім латку стиковим швом; при газорізанні корпусу можна пошкодити довколишні труби, крім того, підганяти латку для стикового зварювання дуже важко. розміри латки, що накладається, повинні бути такими, щоб, по-перше, вона повністю покривала зношену ділянку по-друге, зварювання припадало на ділянки корпусу з достатньою товщиною. Після ремонту камери, що гріють, при знятих кришках піддають опресовування, потім закріплюють кришки. Зібраний апарат піддають остаточному обпресуванню водою.

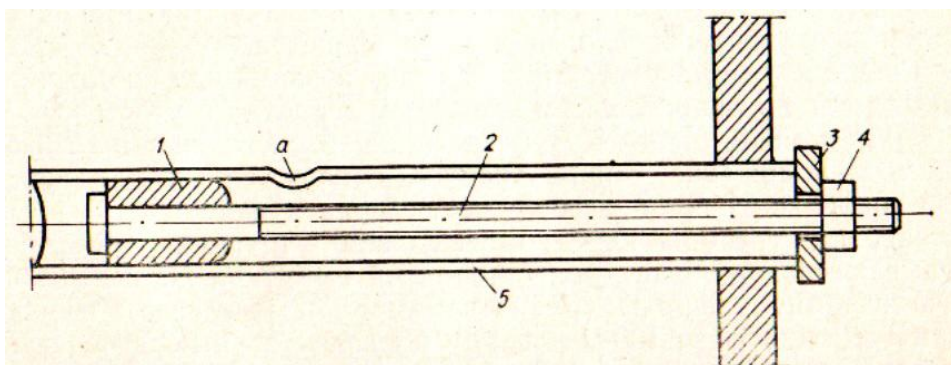


Рисунок 4.2- Пристосування для виправлення вм'ятин у трубах:  
1-оправа; 2-штанга з різьбою; 3-клуби; 4-гайка; 5-труба; а - вм'ятина

Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата

Спочатку опресовують на контрольний тиск корпус (міжтрубний простір) при відкритих муфтах спусків на кришках потім з нього повністю спускають воду і при відкритих спускних муфтах на корпусі опресовують трубний простір. Величина контрольного тиску зазвичай вказується у паспорті апарату. За відсутності в паспорті цих даних корпус апарату випробовується як ємність, а трубний простір на подвоєний робочий тиск. Відсутність тіні через спускові та фланцеві з'єднання свідчить про надійну щільність та міцність. Після зняття заглушок апарат здають у експлуатацію. За відсутності в паспорті цих даних корпус апарату випробовується як ємність, а трубний простір на подвоєний робочий тиск. Відсутність тіні через спускові та фланцеві з'єднання свідчить про надійну щільність та міцність. Після зняття заглушок апарат здають у експлуатацію. За відсутності в паспорті цих даних корпус апарату випробовується як ємність, а трубний простір на подвоєний робочий тиск. Відсутність тіні через спускові та фланцеві з'єднання свідчить про надійну щільність та міцність. Після зняття заглушок апарат здають у експлуатацію.

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
						57
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		



## 5 Охорона праці

Перша допомога при ураженні струмом.

Безумовно, нині небезпека людини може застати зненацька у час. І навіть така система, як електрокомунікації можуть спричинити масу неприємних моментів. Зараз людина активно користується різними побутовими предметами, але іноді трапляються випадки, коли забувають про техніку безпеки та можуть отримати травму електрикою. У цій статті будуть представлені деякі рекомендації, які допоможуть вам надати постраждалому першу допомогу в момент ураження електричним струмом.

Допомога має надати людина, яка в цей момент перебуватиме поряд, навіть не маючи медичної освіти. Для цього необхідно знати список нескладних правил.

Перше, що потрібно зробити, - це швидко прибрати самого постраждалого із зони впливу електричного струму. Повністю відключити пробки, рубильник, при необхідності обірвати дроти, усунути всі електричні контакти від постраждалого за допомогою сухої ганчірки, дерев'яної палиці, заземлення, шунтування дроту.

Безперечно, все залежить від ступеня ураження електричним струмом. Якщо в людини зупинилося серце або він знепритомнів, потрібно зробити йому штучне дихання і плюс до цього додати непрямий масаж серця. Таким чином, ви зможете надати медичну допомогу потерпілому від електричного струму.

Якщо зволікати, то у людини може статися зупинка серця і перша медикаментозна допомога має бути здійснена якнайшвидше. Це основні особливості надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Методи надання першої медичної допомоги при ураженні електричним струмом дуже прості:

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		58

- при тяжкому ступені потрібно дати потерпілому заспокійливий засіб, болезаспокійливий засіб, прохолодної води;
- перевести людину в лежачому положенні і тепло вкрити ковдрою.

Перше, що необхідно зробити, це постаратися перемістити людину в безпечніше місце.

Якщо пульсу немає і немає дихання, то перше що потрібно зробити це штучне дихання і непрямий масаж серця.

На ураженні місця від електрики необхідно накласти марлеві пов'язки. Якщо є переломи, тоді треба постаратися накласти шину з підручних матеріалів.

Якщо людина від струму залишилася притомною, тоді постраждалого необхідно напоїти міцним чаєм, компотом або водою. Чудово підійде будь-який напій, крім кави.

Визначення стану потерпілого під час поразки струмом починається з виявлення життєдіяльності людини. Необхідно перевірити потерпілий у свідомості чи ні, дихає він чи ні, чи має пульс. Перша допомога при електротравмі потрібна тоді, коли у потерпілого є ознаки життєдіяльності, тобто якщо він має пульс і дихання. У такому разі його потрібно покласти на живіт і до голови прикласти щось холодне. У такому становищі людина залишається до того моменту, поки не прибуде лікар.

Допомога при легких ураженнях електричним струмом складається з двох моментів: людину потрібно звільнити від дії струму та надати їй першу медичну допомогу.

у разі поразка струмом тягне у себе певні негативні наслідки. Багато факторів впливають на швидкість звільнення людини від впливу електричного струму і щоб ситуація, що склалася, позначилася з найменшими втратами на стан людини, яка вражена електричним струмом, ніколи не варто мішати, все

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		59

треба робити швидко. Найголовніше – це швидкість дій, спрямованих на порятунок людини та зволікання може призвести до смертельного результату.

#### Як зменшити ступінь поразки

Будь-яка перша медична допомога при ураженні струмом обов'язково має бути надана потерпілому. Оскільки навіть невелика поразка струмом несе у себе тяжкі наслідки на такі внутрішні органи, як серце, легені, порушення нервової системи. Звичайно, всі ці наслідки можуть виникнути не відразу, а через деякий час. У будь-якому випадку небезпека ураження електричним струмом завжди є, і людина, яка буде поруч із постраждалим, повинна вміти надавати першу медичну допомогу.

Надання першої допомоги при ураженні струмом це так звані заходи, спрямовані на відновлення чи подальше збереження життя та здоров'я потерпілому.

Звичайно, наслідки поразки струмом можуть бути дуже небезпечні і найважливіше встигнути вчасно, надати підтримку потерпілому. Ступінь тяжкості ураження безпосередньо залежить від шляху проникнення струму в організм, від величини напруги побутового приладу або електричної установки, від здоров'я людини, а також від того, наскільки швидко та якісно буде надано допомогу.

#### Ступені тяжкості ураження струмом:

Перший ступінь тяжкості. Це коли тяжкість ураження струмом зовсім незначна, наприклад, коли людина відчуває судоми і невелике скорочення м'язів і неприємні відчуття. У такому разі він повністю зберігає пам'ять і свідомість. Може трохи спостерігатися головний біль та невелика слабкість. У такому разі медична допомога може не знадобитися.

Другий ступінь тяжкості у ураженої людини спостерігаються судоми і повністю порушується свідомість. Потерпілий може стати збудженим або

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		60

повністю впасти в заціпеніння. Може порушитися пам'ять, може спостерігатись часткова амнезія, яка спровокована шоківим станом.

Третій ступінь тяжкості передбачає порушення вітальних функцій, порушується дихання, може виникнути аритмія.

Миттєва смерть не передбачає надання медичної допомоги.

Основні правила надання першої допомоги при ураженні електричним струмом:

У момент ураження струмом, перше, що необхідно зробити, - це звільнити постраждалого від ураження електричним струмом. Оскільки тривалість може негативно вплинути на людину і постраждалий отримає важку електротравму. Дотик до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, надає судомне скорочення м'язів. Воно може призвести надалі до повного припинення кровообігу та зупинки дихання.

Що робити, якщо в момент ураження електричним струмом постраждалий тримає руками провід? У такому разі вам треба відключити електроустановку, тому що в момент ураження пальці сильно стискаються, і звільнити людину не вийде інакше.

Як же надати швидку допомогу при ураженні електричним струмом, якщо людина перебуває на висоті і відключення напруги може викликати падіння? У такому разі потрібна допомога кваліфікованих рятувальників, які зможуть прийняти швидке рішення.

Правильні дії порятунку.

Щоб надати допомогу при ударі струмом, потрібно обмотати руки сухою тканиною і тільки потім ви можете торкнутися постраждалого. До прибуття фахівців, які нададуть кваліфіковану медичну допомогу, постарайтеся убезпечити себе та постраждалого.

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		61

Перебийте або відсуньте його від дроту, електричного приладу за допомогою сухої гілки або іншим неметалевим предметом. При будь-якому наданні першої допомоги від ураження струму ніколи не варто забувати про послідовність дій (схема дій, випадки ураження електричним струмом представлені вище), які убезпечать вас і допоможуть потерпілому.

Отже, надання першої допомоги потерпілому при ураженні електричним струмом складається з двох важливих моментів:

- визволення людини;
- надання кваліфікованої медичної допомоги.

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		62

## Список літератури

1. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков – 10-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Химия, 1987. – 576 с.
2. Відкритий електронний ресурс структурований лекцій, та навчальних матеріалів дисциплін. <https://ocw.sumdu.edu.ua/>
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. М.: Химия, .
4. Гордон А., Форд Р. Спутник химика.//Перевод на русский язык Розенберга Е. Л., Коппель С. И. Москва: Мир, 1976. — 544 с. ГОСТ 14710-78. Толуол нефтяной. Технические условия.
5. Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего назначения типа ТН (с неподвижными решетками) : каталог – справочник. – Москва : ЦИНТИхимнефтемаш, 1965.
6. Лекція 12 про теплові процеси апаратів на порталі <https://studfile.net/preview/7800615/page:9/>
7. Врагов А. П. Оптимизационное проектирование ректификационных колонн с использованием ПЭВМ : учебное пособие / А. П. Врагов, Я. Э. Михайловский – Сумы : Изд-во СумГУ, 2000. – 65 с.
8. Юхименко Н. П. Методические указания к выполнению курсового и дипломного проектов по теме «Расчет и конструирование пневматических сушилок» курса «Процессы и аппараты химических производств» для студентов специальности 7.090220 дневной и заочной форм обучения / Н. П. Юхименко, Е. В. Донат – Сумы : Изд-во СумГУ, 2000. – 60 с.
9. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский – Москва : Машиностроение, 1970. – 752 с.

											XI. B.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата								63

10. Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные ГОСТ 5632-2014.
11. Правила безпеки з толуолом Вараниця А.О. м.Суми 2012. – 233 с.
12. "Управління виробничою діяльністю" - М. І. Згуріди
13. "Управління виробництвом і операціями" - Н. Г. Вітленко, С. В. Крикорчук
14. "Організація виробництва" - О. С. Попов, Л. В. Рубан
15. "Проектування виробничих систем" - Ю. М. Повх, М. В. Квітка
16. "Охорона праці при виконанні робіт під напругою" - Ігор Василенко
17. "Електробезпека. Норми та правила безпеки при виконанні робіт під напругою" - Анатолій Матвіїв.
18. Закон України «Про Охорону Праці» № 1213-ІХ від 04.02.2021, ВВР, 2021.
19. Конспект лекцій по курсу «Монтаж, експлуатація та ремонт хімічного обладнання» - Яхненко С.М., Литвиненко А.В. м.Суми 2013 СумДУ

					XI. В.00.00.000 ПЗ	Арку
Змін.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата		64