

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра "Процеси та обладнання хімічних  
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

**Кваліфікаційна робота бакалавра**  
**зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"**  
**освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг**  
**обладнання хімічних виробництв"**

Тема роботи: Виробництво сульфату амонію. Розробити  
випарний апарат з природною циркуляцією розчину

Виконав:  
студент групи ХМдн – 54р  
Іванов Павло Євгенович

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

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

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Яхненко Сергій Михайлович

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв**

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"  
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Курс 3 Група ХМдн – 54р

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

Студент Іванов Павло Євгенович

1 Тема проекту: Виробництво сульфату амонію. Розробити випарний апарат з природною циркуляцією розчину

2 Вихідні дані: Розробити випарний апарат з природною циркуляцією розчину продуктивністю 0,89 кг/с. Температура вихідного розчину становить 22°C. Початкова концентрація розчину – 18 % мас., а кінцева – 39 % мас. Кількість корпусів – 2. Тиск гріючої пари у першому корпусі 0,32 МПа.

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

- |   |            |
|---|------------|
| 1. <u>Технологічна схема випарної установки</u> | – 0,5 арк. |
| 2. <u>Складальний кресленик апарата</u>         | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальний кресленик гріючої камери</u>  | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Кресленик трубної решітки</u>             | – 0,5 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Перцев Л.П. Трубочатые выпарные аппараты для кристаллизующихся растворов / Л.П. Перцев, Е.М. Ковалев, В.С. Фокин. – М. : Машиностроение, 1982. – 136 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

доц. Яхненко С.М.

## **РЕФЕРАТ**

*Пояснювальна записка: 53 с., 4 рис., 9 табл., 1 додаток, 15 джерел.*

*Графічні матеріали: технологічна схема випарної установки, складальний кресленник апарата, складальний кресленник гріючої камери, кресленник трубної решітки – усього 4 аркуша графічної частини (3×А1).*

*Тема кваліфікаційної роботи: «Виробництво сульфату амонію. Розробити випарний апарат з природною циркуляцією розчину».*

*У роботі наведено теоретичні основи і особливості процесу випарювання, обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів для виготовлення основних деталей та вузлів апарата, виконано розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, виконано технологічні розрахунки процесу, визначено його основні геометричні розміри, розраховано гідравлічний опір. Окремо розраховано та підібрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи запроєктованого апарата. Детально представлено технологію монтажу і ремонтних робіт випарного апарата. У розділі «Охорона праці» розглянуті основні методи пожежогасіння, вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння.*

*Ключові слова: СУЛЬФАТ АМОНІЮ, СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНА, ВИПАРНИЙ АПАРАТ, ПРИРОДНА ЦИРКУЛЯЦІЯ, ПОЖЕЖОГАСІННЯ, ЗАСОБИ.*

## Зміст

<i>Вступ</i>	<i>С.</i> 5
<i>1 Теоретичні основи процесу. Обґрунтування вибору конструкції апарата та матеріалів</i>	6
<i>2 Технологічні і проектні розрахунки</i>	10
<i>2.1 Опис технологічної схеми установки</i>	10
<i>2.2 Пристрій і принцип роботи апарата</i>	11
<i>2.3 Технологічні розрахунки</i>	13
<i>2.4 Теплові (енергетичні) розрахунки</i>	18
<i>2.5 Конструктивні розрахунки</i>	25
<i>2.6 Гідравлічний опір апарата</i>	26
<i>2.7 Вибір допоміжного обладнання</i>	28
<i>3 Розрахунки на міцність апарата</i>	30
<i>4 Монтаж та ремонт апарата</i>	34
<i>4.1 Монтаж випарного апарата</i>	34
<i>4.2 Ремонт випарного апарата</i>	36
<i>5 Охорона праці</i>	38
<i>Література</i>	52
<i>Додаток – Специфікації до складальних креслеників</i>	

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Іванов			<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		Яхненко			4	53	
<i>Реценз.</i>					СумДУ, ХМдн – 54р		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>		Склабінський					
<b>Випарний апарат у виробництві (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>							
<b>Пояснювальна записка</b>							

## Вступ

Амоній сульфат, сульфат амонію – це амонієва сіль сульфатної кислоти складу  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . За звичайних умов є білими, гігроскопічними кристалами.

Основною сферою застосування сульфату амонію є сільське господарство – як нітроген- та сульфурвмісне добриво. Також використовується у виробництві персульфатів та антипіренів.

У природі сульфат амонію може знаходитися у вигляді мінералу масканьїту. Він кристалізується на вулканічних fumarолах та на джерелах термальних вод.

Сульфат амонію є білими, ортогональними кристалами. Добре розчиняється у воді, не утворюючи гідратів. При  $0\text{ }^\circ\text{C}$  його розчинність складає  $70,6\text{ г}$  на  $100\text{ г}$  води та  $103,8\text{ г}$  при  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Не розчиняється в етанолі та ацетоні.

Сульфат амонію зазвичай синтезується кількома шляхами: з аміаку та сульфатної кислоти; із коксового газу; як побічний продукт органічних синтезів; із гіпсу; із купрум сульфату (домашні або лабораторні умови).

Випарювання – це технологічний процес концентрування розчинів шляхом виділення розчинника і перетворення його на пару. У світі існує понад 80 різновидів випарних апаратів. Різноманітні конструкції випарних апаратів, що використовуються в промисловості, можна класифікувати по типу поверхні нагрівання, по її розміщенню у просторі, по типу теплоносія, а також в залежності від того, рухається теплоносій ззовні чи в середині труб нагрівальної камери. Однак найбільш суттєвим показником класифікації випарних апаратів, що характеризує інтенсивність їх дії є спосіб та кратність циркуляції розчину.

Розрізняють випарні апарати з неорганізованою чи вільною, направленою природною та штучною циркуляцією. Випарні апарати поділяють також на апарати прямоточні, в яких випарювання розчину відбувається за один його прохід через апарат без циркуляції розчину і апарати, що працюють з багатократною циркуляцією розчину.

Можна було б кожний випарний апарат нагрівати паром з парових котлів. Це простий спосіб роботи, але занадто ресурсомісткий. Тому використовується схема випарювання з багаторазовим використанням пару, яка складається з декількох випарних апаратів, або корпусів, через які послідовно пропускається розчинник, що випарюється, а кінцевий продукт виходить з останнього корпусу. Тільки для обігріву першого випарного апарату використовується пар, з парової машини або турбіни, що працює з протитиском, цей пар називається ретурним. Всі інші корпуси випарної установки обігріваються вторинною парою з попередніх корпусів.

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до розроблених методичних вказівок із застосуванням комп'ютерної техніки.

					Лист
					5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

# **1 Теоретичні основи процесу. Обґрунтування вибору конструкції апарата та матеріалів**

*Випарюванням називається процес концентрування розчинів практично нелетких або малолетких речовин в рідких летючих розчинниках.*

*При випарюванні зазвичай здійснюється часткове видалення розчинника з усього обсягу розчину при його температурі кипіння. Основним завданням випарних установок є концентрування розчинів, виділення з розчинів розчиненої речовини в чистому вигляді. Попутно з цими основними завданнями випарні установки постачають завод гарячою парою за рахунок вторинної пари, що відбирається, а також забезпечують котельні установки і інші технологічні потреби виробництва гарячими сконденсованими водами.*

*Випарні апарати бувають періодичної і безперервної дії.*

*Випарні апарати можна класифікувати за ознаками:*

- роду теплоносія або методу обігріву;*
- розташуванню і виду поверхні теплообміну;*
- розташуванню робочих середовищ;*
- режиму і кратності циркуляції розчину.*

*Залежно від методу обігріву випарні апарати бувають:*

- з газовим обігрівом;*
- з обігрівом рідким теплоносієм;*
- з паровим обігрівом;*
- з безпосереднім обігрівом;*
- з електрообігрівом.*

*Найбільше застосування отримали апарати з паровим обігрівом тому що водяна пара характеризується високою прихованою теплотою конденсації, високим коефіцієнтом тепловіддачі; паровий обігрів характеризується гнучкістю регулювання.*

*По розташуванню поверхні теплообміну випарні апарати можуть бути вертикальними, горизонтальними і рідше похилими. Поверхня теплообміну може бути конструктивно оформлена у вигляді пучка труб, у вигляді змійовика або у вигляді парової сорочки.*

*По розташуванню робочих середовищ випарні апарати поділяються на апарати з подачею гріючої пари в трубки (тобто кипіння розчину в великому обсязі корпусу) і подачею гріючої пари в міжтрубний простір (кипіння розчину в трубках).*

*По режиму руху рідини апарати поділяються на випарні апарати з вільною і примусовою циркуляцією, одноразовою чи багаторазовою. Природна циркуляція може здійснюватися в об'ємі апарата, або забезпечуватися спеціальними циркуляційними трубами. Примусова циркуляція організовується за допомогою насосів, мішалок або подачі пари (газу).*

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

За кратністю циркуляції випарні апарати бувають з одноразовою або багаторазовою циркуляцією розчину.

По напрямку руху пари і рідини — на апарати, в яких рідина рухається від низу до верху або зверху вниз. Апарати зі спадаючою плівкою також поділяються за напрямком руху вторинної пари вгору або вниз. Останній спосіб сприятливо позначається на режимі теплообміну, так як рух пари і плівки в одному напрямку сприяє збільшенню швидкості плівки.

Випарні апарати також можуть поділятися за ступенем концентрації — на апарати невеликих концентрацій і апарати високих концентрацій, які використовуються в однокорпусних установках і в останніх корпусах установки.

Найбільш поширеним теплоносієм в випарній техніці є водяна пара, тому в більшості випадків основним процесом в гріючій камері — конденсація пари.

Прийmemo, що на випарювання надходить  $G_n$  кг/сек вихідного розчину концентрацією  $b_n$ , масова % і відділяється  $G_k$  кг/сек упареного розчину концентрацією  $b_k$ , масова %. Якщо в апараті випаровується  $W$  кг/сек розчинника, то загальний матеріальний баланс апарата має вигляд:

$$G_n = G_k + W \quad (1.1)$$

Матеріальний баланс по абсолютно сухій речовині, що знаходиться в розчині, має вигляд:

$$\frac{G_n \cdot b_n}{100} = \frac{G_k \cdot b_k}{100} \quad (1.2)$$

Для складання теплового балансу введемо позначення:

$D$  – витрата гріючої пари;

$I$ ,  $I_2$ ,  $i_n$ ,  $i_k$  – ентальпія вторинної і гріючої пари, вихідного і упареного розчинів відповідно;

$I_{нк} = c' \cdot \theta$  – ентальпія парового конденсату,

де  $c'$  – питома теплоємність,  $\theta$  – температура конденсату.

Отримаємо рівняння:

$$G_n \cdot i_n + D \cdot I_2 = G \cdot i + W \cdot I + D \cdot c' \cdot \theta + Q_{конд} + Q_n \quad (1.3)$$

Розглядаючи вихідний розчин як суміш упареного розчину і випареної вологи, можна записати наступне рівняння теплового балансу змішування при постійній температурі кипіння  $t_k$ :

$$G_n \cdot c_n \cdot t_k = G_k \cdot c_k \cdot t_k + W \cdot c' \cdot t_k \quad (1.4)$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

$$G_H \cdot c_H = G_H \cdot c_H - W \cdot c'$$

Поверхня нагріву безперервно діючого випарного апарата визначаємо на основі рівняння теплопередачі:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \cdot \tau = K \cdot F \cdot \Delta t_{пол} \quad (1.5)$$

де  $Q$  – теплове навантаження апарата;

$K$  – коефіцієнт тепловіддачі;

$F$  – поверхня нагріву;

$\Delta t_{кор}$  – рушійна сила процесу.

Тоді поверхня нагріву дорівнює:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{пол}} \quad (1.6)$$

Корисна різниця температур в випарному апараті  $\Delta t_{кор}$  є різницею температури конденсації  $T$ , °С гріючої пари і температури кипіння  $t_k$ , °С випарюваного розчину.

$$\Delta t_{пол} = T - t_k \quad (1.7)$$

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

а) достатня загальна хімічна і корозійна стійкість в агресивному середовищі;

б) достатня механічна міцність при заданих тиску і температурі технологічного процесу;

в) найкраща здатність матеріалу зварюватись із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань і їх корозійної стійкості;

г) низька вартість матеріалу і використання його у промисловості.

За рекомендацією [1] для водного розчину сульфату магнію рекомендується сталь 08Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.

Модуль пружності  $E = 1,98 \cdot 10^5$  МПа.

Межа плинності  $\sigma_m = 225 \div 315$  МПа.

Тимчасовий межа міцності  $\sigma_s = 550 \div 650$  МПа.

Відносне подовження  $\delta = 46 \div 74$  %.

Відносна зміна поперечного перерізу  $\psi = 66 \div 80$  %.

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8



Ударна в'язкість  $KCV = 215 \div 372$  Дж /см<sup>2</sup>.

*Призначення:*

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

*Сталь ст.3сп ГОСТ 380 - 71 — застосовується для виготовлення деталей і вузлів, що не контактують з середовищем.*

*Сталь технологічна в обробці, добре обробляється різанням і тиском. Пластичні властивості сталі високі. Сталь добре зварюється усіма видами зварювання. Сталь нестійка в багатьох агресивних середовищах.*

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

## 2 Технологічні і проектні розрахунки

### 2.1 Опис технологічної схеми установки

Багаторазове випарювання проводять в декількох послідовно з'єднаних апаратах, в яких тиск підтримують таким чином, щоб вторинну пару попереднього корпусу можна було використовувати в якості гріючої пари в кожному наступному корпусі. Така організація випарювання приводить до значної економії гріючої пари.

Залежно від взаємного напрямку руху розчину і гріючої пари з корпусу в корпус розрізняють прямоточні і протиточні випарні установки, а також установки з паралельною чи зі змішаною подачею розчину в апарати. Найбільшого поширення в промислових умовах отримали прямоточні випарні установки (рисунок 1), в яких гріюча пара і випарований розчин направляють в перший корпус 1, потім частково упарений розчин самопливом перетікає в другий корпус 2 і т. д.; вторинна пара першого корпусу направляється в якості гріючої пари в другий корпус і т. д.

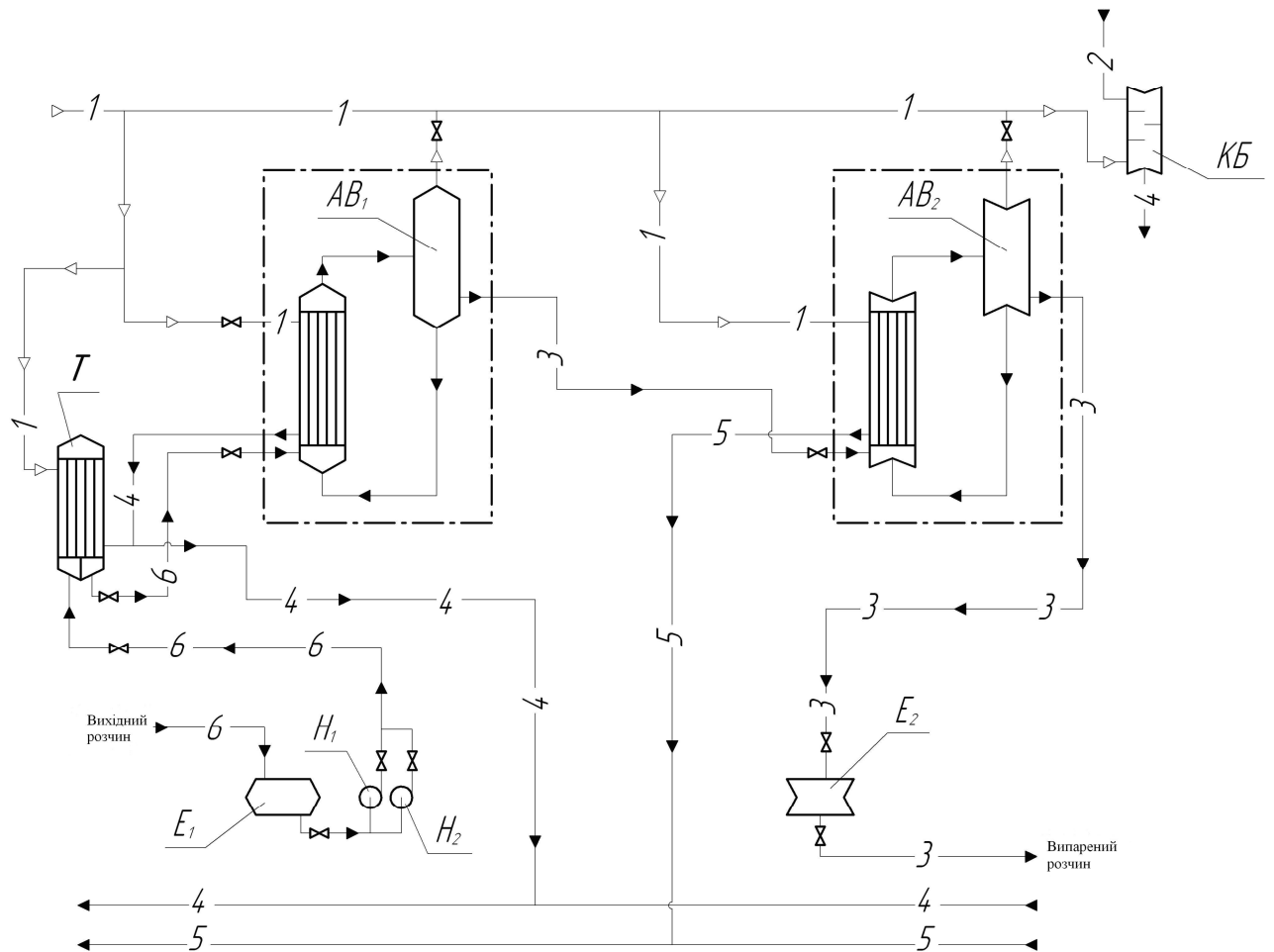
Розчин сульфату магнію в підігрівачі вихідного розчину  $T$  підігрівається гріючою парою до температури  $20^{\circ}\text{C}$ . Далі він надходить до першого корпусу двокорпусної випарної установки  $AB_1$ , в якому відбувається процес випарювання вихідного розчину. Далі цей частково упарений розчин самопливом перетікає в другий корпус випарної установки  $AB_2$ , а вторинну пару першого корпусу направляють в якості гріючої пари в другий корпус. Після другого корпусу готовий продукт збирають в ємність збору готового продукту  $E_2$  і направляють в товарний парк. Вторинна пара з другого корпусу направляється в барометричний конденсатор  $KB$ , де відбувається його конденсація.

Розроблена технологічна принципова схема має наступні переваги:

- застосований чистий прямоток, установка проста по обв'язці технологічних трубопроводів і регулюванню;
- знижена витрата гріючої пари (2-х кратне його використання);
- перетікання розчину з корпусу в корпус завдяки різниці тисків йде самопливом, відпадає необхідність в установці насосів для перекачування киплячих розчинів.

При виборі обладнання виходили з вимог забезпечення працездатності та надійності експлуатації установки, а також технічних характеристик цього обладнання.

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10



$AB_{1-2}$  – випарний апарат;  $T$  – теплообмінник;  $KB$  – конденсатор барометричний;  
 $E_{1-2}$  – емність;  $H$  – насос

Рисунок 1 – Двокорпусна прямоточная випарна установка

Одним із завдань розрахунку багатокорпусних випарних установок є визначення потрібної поверхні теплопередачі корпусів, для чого необхідне знання корисної різниці температур кожного корпусу.

## 2.2 Пристрій і принцип роботи апарата

Конструкція апарата показана на рис. 2.

У верхній частині апарата розташований краплевловлювач. Конічне днище сепаратора 2 пов'язане з трубою 5, яка за допомогою коліна перехідною камери підключена до нижньої трубної решітки гріючої камери 1.

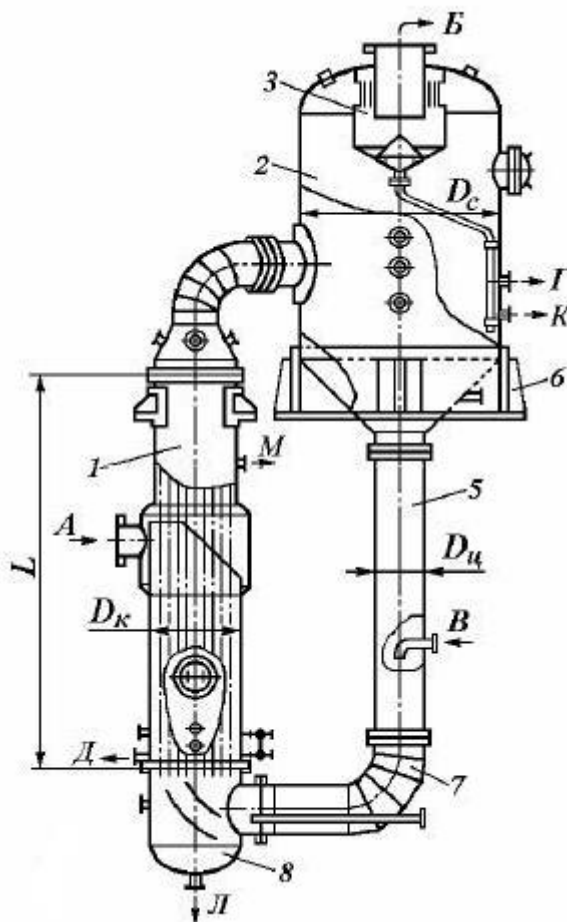
Циркуляція розчину в апараті здійснюється по замкнутому контуру: сепаратор 2 - циркуляційна труба 5 - гріюча камера 1 - сепаратор 2.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Кипіння розчину проходить у трубі вскипання при виході розчину в сепаратор. Кипіння в трубах припиняється за рахунок гідростатичного тиску стовпа рідини в трубі вскипання.

Дійсну робочу висоту труби вскипання визначають в кожному конкретному випадку незалежно від тиску в сепараторі і концентрації розчину і вказують в замовленні.

Рівень розчину в апараті повинен підтримуватися по нижній кромці штуцера входу парорідинної суміші в сепараторі.



1 – гріюча камера; 2 – сепаратор; 3 – краплевловлювач;  
5 – циркуляційна труба; 6 – опора; 7 – коліно; 8 – нижня поворотна камера;

А – вхід гріючої пари; Б – вихід вторичної пари; В – вхід розчину;  
Г – вихід упареного розчину; Д – вихід конденсату; К – відбір проби; Л – злив розчину;  
М – здув несконденсованих газів

Рисунок 2 – Схема випарного апарату з природною циркуляцією і винесенною гріючою камерою

Розчин, піднімаючись по трубах, перегрівається і при виході з труби вскипання в сепаратор закипає. Новоутворена парорідинна суміш

направляється тангенціально в сепаратор, де розділяється на рідку і парову фазу. Вторинна пара, проходячи сепаратор і краплевловлювач, звільняється від крапель і виходить з апарата через штуцер.

Для спостереження за роботою апарата передбачені оглядові вікна.

Апарат розрахований на безперервну роботу.

Конструкцією апарата передбачена можливість механічного чищення внутрішньої поверхні гріючих труб.

### 2.3 Технологічні розрахунки

Технологічний розрахунок випарних апаратів полягає у визначенні поверхні теплопередачі. Поверхню теплопередачі визначають за основним рівнянням теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_n \cdot K}, \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

Для визначення теплових навантажень  $Q$ , коефіцієнтів теплопередачі  $K$  і корисних різниць температур  $\Delta t_n$ , необхідно знати розподіл упарюваної вологи, концентрацій розчинів по корпусах та їх температури кипіння. Спочатку визначимо ці величини з матеріального балансу, а в подальшому уточнимо їх по тепловому балансу.

Визначення матеріального балансу процесу випарювання починаємо з розрахунків концентрацій упарюваного розчину.

Визначаємо продуктивність установки по випаруваній воді:

$$W = G_n \cdot \left(1 - \frac{x_n}{x_k}\right), \text{ кг/с} \quad (2.2)$$

де  $G_n$  – кількість вихідного розчину, кг/с;

$x_n, x_k$  – відповідно початкова і кінцева концентрації розчину, мас. частки.

$$W = \frac{3200}{3600} \cdot \left(1 - \frac{18}{39}\right) = 0,48 \text{ кг/с}$$

На підставі практичних даних приймаємо, що випарувана вода розподіляється між корпусами в співвідношенні:

$$W_1 : W_2 = 1,0 : 1,1$$

$$W_1 = \frac{1,0 \cdot W}{1,0 + 1,1} = \frac{1,0 \cdot W}{2,1} = \frac{1,0 \cdot 0,48}{2,1} = 0,23 \text{ кг/с}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

$$W_2 = \frac{1,1 \cdot W}{2,1} = \frac{1,1 \cdot 0,48}{2,1} = 0,25 \text{ кг/с}$$

Перевірка  $W = W_1 + W_2 = 0,23 + 0,25 = 0,48 \text{ кг/с}$

Розраховуємо концентрації розчинів у корпусах:

$$X_1 = \frac{G_n \cdot X_n}{G_n - W_1} = \frac{0,89 \cdot 0,18}{0,89 - 0,23} = 0,24 \text{ кг/кг (24\%)}$$

$$X_2 = \frac{G_n \cdot X_n}{G_n - W_1 - W_2} = \frac{0,89 \cdot 0,18}{0,89 - 0,23 - 0,25} = 0,39 \text{ кг/кг (39\%)}$$

Концентрація в 2-му корпусі відповідає заданій  $X_k$ .

Температура кипіння розчину в корпусі ( $t_{i \text{ кип}}$ ) визначається як сума температур гріючої пари подальшого корпусу ( $t_{i+1}$ ) і температурних втрат ( $\Delta'_1 + \Delta''_2 + \Delta'''_3$ ):

$$t_{i \text{ кип}} = t_{i+1} + \Delta'_1 + \Delta''_2 + \Delta'''_3 \quad (2.3)$$

Визначення температур гріючої пари.

Прийmemo, що тиск в останньому корпусі  $i$  в барометричному конденсаторі рівні.

За тиском гріючої пари знаходимо його температуру і ентальпії  $I$  (таблиця 1) по корпусам [4].

Таблиця 1 – Визначення температури і теплоти пароутворення

Тиск, МПа	Температура, °С	Ентальпія, кДж/кг
$P_{21} = 0,32$	$t_{21} = 134,9$	$I_{21} = 2733$
$P_{22} = 0,08$	$t_{22} = 93$	$I_{22} = 2263$

Визначення температурних втрат.

Температурні втрати в випарному апараті обумовлені температурною ( $\Delta'$ ), гідростатичною ( $\Delta''$ ) и гідродинамічною ( $\Delta'''$ ) депресіями.

а) Гідродинамічна депресія викликана втратою тиску пари на подолання гідравлічних опорів тертя і місцевих опорів паропроводів при переході з корпусу в корпус.

Прийmemo = 1 °С.

Тоді температура вторинних парів в корпусах дорівнюють:

$$t_{ВП1} = t_{Г2} + \Delta_1''' = 93 + 1 = 94 \text{ °С}$$

$$t_{ВП2} = t_{Г2} + \Delta_2''' = 93 + 1 = 94 \text{ °С}$$

Сума гідродинамічних депресій:

$$\sum \Delta''' = \Delta_1''' + \Delta_2''' = 2 \cdot 1 = 2 \text{ °С}$$

За температурами вторинних парів визначимо їх тиски [4]:

$$P_{ен1} = 0,083 \text{ МПа}; P_{ен2} = 0,083 \text{ МПа}.$$

б) Гідростатична депресія  $\Delta''$  обумовлюється наявністю гідростатичного ефекту, який полягає в тому, що внаслідок гідростатичного тиску стовпа рідини в трубах випарного апарата температура кипіння по висоті труб неоднакова. Величина  $\Delta''$  не може бути точно розрахована з огляду на те, того що розчин в трубах знаходиться в русі, причому величина  $\Delta''$  залежить від інтенсивності циркуляції і змінної густини парорідинної емульсії, що заповнює більшу частину висоти кип'ятільних труб.

Приблизно розрахунок  $\Delta''$  можливий на підставі визначення температури кипіння в середньому шарі труб. Величина  $\Delta''$  визначається як різниця температури кипіння в середньому шарі труб ( $t_{ср}$ ) і температури вторинної пари ( $t_{ен}$ ) і знаходиться за формулою:

$$\Delta'' = t_{ср} - t_{ен} \quad (2.4)$$

Для того, щоб визначити  $t_{ср}$ , потрібно знайти тиск в середньому шарі ( $P_{ср}$ ) і по цьому тиску визначити температуру в середньому шарі кип'ятільних труб. Густина парорідинної емульсії в трубах при бульбашковому режимі кипіння приймається рівною половині густини розчину.

Тиск в середньому шарі кип'ятільних труб дорівнює сумі тисків вторинної пари в корпусі і гідростатичного тиску стовпа рідини ( $\Delta P_{ср}$ ) в цьому перерізі труб довжиною  $H$ :

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

$$P = P_{en} + P_{cp} = P_{en} + \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot (1 - \varepsilon)}{2}, \text{ МПа} \quad (2.5)$$

де  $\rho$  - густина розчину [4], кг/м<sup>3</sup>;

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

$\varepsilon$  – паронаповнення (об'ємна частка пари в киплячому розчині),  
 $\varepsilon = 0,4-0,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Приймаємо  $\varepsilon = 0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Для вибору значення  $H$  потрібно орієнтовно визначити поверхню теплопередачі випарного апарата  $F_{op}$ . При кипінні водних розчинів можна прийняти питоме теплове навантаження апаратів з природною циркуляцією

$$q = 20000-50000 \text{ Вт/м}^2 \text{ [3]}.$$

Приймаємо  $q = 33000 \text{ Вт/м}^2$  [3].

Поверхня теплопередачі 1-го корпусу орієнтовно буде дорівнювати:

$$F_{op} = \frac{W_1 \cdot r_{впл}}{q} = \frac{0,23 \cdot 2165 \cdot 10^3}{33000} = 15,1 \text{ м}^2$$

де  $r_{en1}$  – теплота пароутворення вторинної пари,  
 $r_{en1} = 2165 \text{ кДж/кг}$  [4].

За ГОСТ 11987-81 для випарного апарата з природною циркуляцією, соосною гріючою камерою і кипінням розчину в трубах велика поверхня –  $16 \text{ м}^2$ , при діаметрі труб  $\text{Ø}38 \times 2 \text{ мм}$  і довжині труб  $H = 4000 \text{ мм}$ .

Тиск в середньому шарі кип'ятильних труб корпусів розраховуємо за формулою (2.5):

$$P_{1cp} = 0,083 + \frac{1445 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot (1 - 0,5)}{2 \cdot 9,8 \cdot 10^5} = 0,094 \text{ МПа}$$

$$P_{2cp} = 0,083 + \frac{1250 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot (1 - 0,5)}{2 \cdot 9,8 \cdot 10^5} = 0,096 \text{ МПа}$$

Цим тискам відповідають такі температури кипіння і теплоти пароутворення (таблиця 2) [4].



Таблиця 2 – Визначення температури кипіння і теплоти пароутворення:

Тиск, МПа	Температура, °С	Теплота пароутворення, кДж/кг
$P_{1cp} = 0,094$	$t_{1cp} = 97,4$	$r_{ен1} = 2272$
$P_{2cp} = 0,096$	$t_{2cp} = 98$	$r_{ен2} = 2274$

Визначимо гідростатичну депресію по корпусам (формула 2.4):

$$\Delta_1'' = t_{1cp} - t_{ен1} = 97,4 - 94 = 3,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta_2'' = t_{2cp} - t_{ен2} = 98 - 94 = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Сума гідростатичних депресій становить:

$$\sum \Delta'' = \Delta_1'' + \Delta_2'' = 3,4 + 4 = 7,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температурна депресія  $\Delta'$  визначається за рівнянням:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{T_{cp}^2}{r_{вп}} \right) \cdot \Delta'_{атм} \quad (2.6)$$

де  $T_{cp} = (t_{cp} + 273)$  – температура пари в середньому шарі кип'ятільних труб, К;

$\Delta'_{атм}$  – температурна депресія при атмосферному тиску, °С [4].

Знаходимо  $\Delta'_{атм}$  по корпусам:

$\Delta'_{атм1} = 2,2 \text{ } ^\circ\text{C}$  – для 1-го корпусу при  $X_1 = 24 \%$

$\Delta'_{атм2} = 4,5 \text{ } ^\circ\text{C}$  – для 2-го корпусу при  $X_2 = 39 \%$

Знаходимо значення  $\Delta'$  по корпусам:

$$\Delta'_1 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(97,4 + 273)^2}{2272} \cdot 2,2 = 2,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta'_2 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(98 + 273)^2}{2274} \cdot 4,5 = 4,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Сума температурних депресій дорівнює:

$$\sum \Delta' = \Delta'_1 + \Delta'_2 = 2,2 + 4,4 = 6,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температури кипіння розчинів в корпусах рівні ( $^\circ\text{C}$ ):

$$t_{\kappa 1} = t_{z 2} + \Delta'_1 + \Delta''_1 + \Delta'''_1 = 93 + 2,2 + 3,4 + 1 = 99,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\kappa 2} = t_{z 3} + \Delta'_2 + \Delta''_2 + \Delta'''_2 = 93 + 4,4 + 4 + 1 = 102,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахунок корисної різниці температур.

Необхідною умовою передачі тепла в кожному корпусі є корисна різниця температур гріючої пари і киплячого розчину.

Корисні різниці температур по корпусах рівні:

$$\Delta t_{n1} = t_{z1} - t_{\kappa 1} = 134,9 - 99,6 = 35,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{n2} = t_{z2} - t_{\kappa 2} = 102,4 - 93 = 9,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Загальна корисна різниця температур:

$$\sum \Delta t = \Delta t_{n1} + \Delta t_{n2} = 35,3 + 9,4 = 44,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 2.4 Теплові (енергетичні) розрахунки

Визначення теплових навантажень.

Витрата гріючої пари в 1-му корпусі, продуктивність кожного корпусу по випаровуваній воді і теплові навантаження по корпусах визначаються шляхом спільного рішення рівнянь теплових балансів по корпусам та рівняння балансу по воді для всієї установки:

$$Q_1 = D \cdot I_{r1} = 1,03 \cdot \left[ G_H \cdot c_H \cdot (t_{\kappa 1} - t'_H) + W_1 \cdot (I_{en1} - c_e \cdot t_{\kappa 1}) \pm Q_{1 \text{ конц}} \right] \quad (2.7)$$

$$Q_2 = W_1 \cdot I_{r2} = 1,03 \cdot \left[ (G_H - W_1) \cdot c_1 \cdot (t_{\kappa 2} - t_{\kappa 1}) + W_2 \cdot (I_{en2} - c_e \cdot t_{\kappa 2}) \pm Q_{2 \text{ конц}} \right] \quad (2.8)$$

$$W = W_1 + W_2 \quad (2.9)$$

$$\begin{cases} Q_1 = D \cdot 2733 = 1,03 \cdot \left[ 0,89 \cdot 3,63 \cdot (134,9 - 95) + W_1 \cdot (2263 - 4,19 \cdot 99,6) \right] \\ Q_2 = W_1 \cdot 2263 = 1,03 \cdot \left[ (0,89 - W_1) \cdot 2,99 \cdot (134,9 - 102,4) + W_2 \cdot (2263 - 4,19 \cdot 102,4) \right] \\ W = W_1 + W_2 \end{cases}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

де  $1,03$  – коефіцієнт, що враховує 3% втрат тепла в навколишнє середовище;

$c_1, c_2$  – теплоємності розчинів відповідно вихідного, в першому і в другому корпусі,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  [4];

$D$  – витрата гріючої пари в першому корпусі,  $\text{кг}/\text{с}$ ;

$Q_{1\text{конц}}, Q_{2\text{конц}}$  – теплота концентрації по корпусам, величинами  $Q_{\text{конц}}$  нехтуємо, оскільки ці величини значно менше прийнятих 3% втрат тепла;

$t'_H$  – температура кипіння вихідного розчину, що подається в перший корпус.

$$t'_H = t_{\text{ен1}} + \Delta'_H = 94 + 1 = 95^\circ\text{C}$$

$\Delta'_H = 1^\circ\text{C}$  – температурна депресія вихідного розчину при  $X_H = 18\%$

Вирішуємо систему рівнянь:

$$D = 0,3 \text{ кг}/\text{с}$$

$$\text{Тоді } W_1 = 0,22 \text{ кг}/\text{с}; W_2 = 0,26 \text{ кг}/\text{с}$$

$$\text{Перевірка } W = 0,22 + 0,26 = 0,48 \text{ кг}/\text{с}.$$

Відхилення обчислених навантажень по випареній воді в кожному корпусі від попередньо знайдених з матеріального балансу становить менше 5%.

Визначимо теплові навантаження:

$$Q_1 = 920 \text{ кВт}; Q_2 = 201 \text{ кВт}$$

Отримані дані зводимо в таблицю 3.

Таблиця 3 – Параметри розчинів і парів по корпусах

Параметр	Корпус	
	1	2
Продуктивність по випареній воді $W$ , $\text{кг}/\text{с}$	0,22	0,26
Концентрація розчинів $X$ , %	24	39
Тиск гріючих парів $P_g$ , МПа	0,32	0,08
Температура гріючих парів $t_{\text{гп}}$ , $^\circ\text{C}$	134,9	93
Температурні втрати, $\sum \Delta$ , $^\circ\text{C}$	6,6	9,8

Температура кипіння розчину $t_{\text{кип}}, \text{ }^\circ\text{C}$	99,6	102,4
Теплове навантаження $Q, \text{ кВт}$	920	201

*Расчет коэффициентов теплопередачи.*

*Коефіцієнт теплопередачі  $K$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ ) можна розрахувати за рівнянням:*

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.10)$$

*де  $\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнти тепловіддачі від сконденсованої пари до стінки і від стінки до киплячого розчину відповідно,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$ ;*

*$\sum \frac{\delta}{\lambda}$  – сума термічних опорів забруднень стінки і накипу, ( $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ );*

*$\Delta t_1$  – різниця температур між грючою парою і стінкою з боку пари в першому корпусі,  $^\circ\text{C}$ .*

*Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  розраховуємо за рівнянням:*

$$\alpha_1 = 2,04 \sqrt[4]{\frac{r_{г1} \cdot \rho_{ж1}^2 \cdot \lambda_{ж1}^3}{\mu_{ж1} \cdot H \cdot \Delta t_1}} \quad (2.11)$$

*де  $r_{г1}$  – питома теплота пароутворення ,  
 $\rho_{ж1}, \lambda_{ж1}, \mu_{ж1}$  – відповідно щільність ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), теплопровідність ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ )  
та в'язкість конденсату ( $\text{Па} \cdot \text{с}$ ) при середній температурі плівки.*

*Спочатку прийmemo  $\Delta t_1 = 4 \text{ }^\circ\text{C}$*

$$t_{\text{нп1}} = t_{\text{еп1}} - \frac{\Delta t_1}{2} = 134,9 - \frac{4}{2} = 132,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

*Значення фізичних величин конденсату [4]:*

$$\rho_{ж1} = 1150 \text{ кг}/\text{м}^3, \lambda_{ж1} = 0,686 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}, \mu_{ж1} = 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

*Коефіцієнт тепловіддачі обчислюємо за формулою (2.11):*

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2173 \cdot 10^3 \cdot 1150^2 \cdot 0,686^3}{0,07 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 4}} = 10944 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Визначимо сумарний термічний опір  $\sum \frac{\delta}{\lambda}$  та величини  $\Delta t_2$ ,  $\Delta t_{cm}$ .

Припустимо, що сумарний термічний опір дорівнює сумарному термічному опору стінки  $\sum \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$  і накипу  $\sum \frac{\delta_{н}}{\lambda_{н}}$ , а термічний опір з боку пари не враховуємо. Товщина стінки труби  $\delta_{ст} = 2$  мм, теплопровідність стінки  $\lambda_{ст} = 25,1$  Вт/м·К, товщина накипу  $\delta_{н} = 0,5$  мм, теплопровідність накипу  $\lambda_{н} = 2$  Вт/м·К.

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{н}}{\lambda_{н}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

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

Перепад температур на стінці:

$$\Delta t_{cm} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 10944 \cdot 4 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 14,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Різниця між температурою стінки з боку розчину і температурою кипіння розчину:

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n1} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 35,3 - 14,4 - 4 = 16,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину  $\alpha_2$  в умовах природної циркуляції для бульбашкового режиму в вертикальних трубах визначається за формулою:

$$\alpha_2 = A \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{\lambda_1^{1,3} \cdot \rho_1^{0,5} \cdot \rho_{n1}^{0,06}}{\sigma_1^{0,5} \cdot r_{e1}^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c_1^{0,3} \cdot \mu_1^{0,3}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.12)$$

де  $\rho_0 = 0,579 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  - густина пари при атмосферному тиску.

Значення величин, що характеризують властивості розчинів  $\text{KNO}_3$ , представлені в таблиці 4.

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ					

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину в умовах природної циркуляції для бульбашкового режиму в вертикальних трубах обчислюємо за формулою (2.12):

$$\alpha_2 = 848 \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{0,68^{1,3} \cdot 1121^{0,5} \cdot 1,61^{0,06}}{0,062^{0,5} \cdot (2194 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3634^{0,3} \cdot (0,86 \cdot 10^{-3})^{0,3}} =$$

$$= 320 \cdot (10944 \cdot 4)^{0,6} \cdot 0,019 = 2538 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 10944 \cdot 4 = 43776 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 2538 \cdot 16,9 = 42900 \text{ Вт/м}^2$$

Як видно  $q_1 \approx q_2$

Так як розбіжність між тепловими навантаженнями не перевищує 3%, то розрахунок коефіцієнтів  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  завершуємо.

Таблиця 4 – Фізичні властивості розчинів  $\text{KNO}_3$

Параметр	Корпус	
	1	2
Густина розчину $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1121	1264
В'язкість розчину $\mu \cdot 10^3$ , Па · с	0,86	0,97
Теплопровідність розчину $\lambda$ , Вт / м · К	0,68	0,7
Поверхневий натяг $\sigma \cdot 10^3$ Н/м	62	66
Теплоємність розчину $c$ , Дж/кг · К	3634	3116
Густина пари $\rho_n$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	1,61	1,47
Питома теплота пароутворення $r_z$ , кДж/кг	2173	2278
Питома теплота пароутворення $r_b$ , кДж/кг	2194	2297

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 1-го корпусу по формулі (2.10):

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{10944} + 3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2538}} = 1700 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі для другого корпусу  $K_2$ .

Спочатку прийmemo  $\Delta t_1 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_{н2} = t_{з2} - \frac{\Delta t_1}{2} = 102,4 - \frac{1}{2} = 101,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

Значення фізичних величин конденсату [4]:

$$\rho_{ж1} = 1252 \text{ кг/м}^3, \lambda_{ж1} = 0,648 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}, \mu_{ж1} = 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі обчислюємо за формулою (2.11):

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2255 \cdot 10^3 \cdot 1252^2 \cdot 0,648^3}{0,12 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 2}} = 11477 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перепад температур на стінці:

$$\Delta t_{cm} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 11477 \cdot 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 3,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Різниця між температурою стінки з боку розчину і температурою кипіння розчину:

$$\Delta t_2 = \Delta t_{н2} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 9,4 - 3,8 - 2 = 3,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину в умовах природної циркуляції для бульбашкового режиму в вертикальних трубах обчислюємо за формулою (2.12):

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 848 \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{0,7^{1,3} \cdot 1264^{0,5} \cdot 1,47^{0,06}}{0,066^{0,5} \cdot (2297 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3116^{0,3} \cdot (0,97 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = \\ &= 848 \cdot (11477 \cdot 1)^{0,6} \cdot 0,014 = 3124 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 11477 \cdot 1 = 11477 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 3124 \cdot 3,6 = 11246 \text{ Вт/м}^2$$

Як видно  $q_1 \approx q_2$

Так як розбіжність між тепловими навантаженнями не перевищує 3%, то розрахунок коефіцієнтів  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  закінчуємо.

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 2-го корпусу по формулі (2.10):

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{11477} + 3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{3124}} = 1356 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Знайдемо поверхні теплопередачі випарних апаратів по корпусам, розрахунок проводимо за формулою (2.1):

$$F_1 = \frac{920 \cdot 10^3}{1700 \cdot 35,3} = 15,3 \text{ м}^2$$

$$F_2 = \frac{201 \cdot 10^3}{1356 \cdot 9,4} = 15,8 \text{ м}^2$$

Отримані поверхні порівнюємо з певною ранньою  $F = 16 \text{ м}^2$ .

Різниця не перевищує 10%.

По ГОСТ 11987 – 81 [3] обираємо випарної апарат з поверхнею теплообміну  $F = 16 \text{ м}^2$  и довжиною труб  $l = 4 \text{ м}$ . Випишемо технічні характеристики випарного апарата (таблиця 5).

Таблиця 5 – Технічна характеристика випарного апарата

Номінальна поверхня теплообміну, $F_n$	16 м <sup>2</sup>
Сортамент труб $d \times s$	38 × 2 мм
Висота труб $l$	4000 мм
Діаметр гріючої камери $D$	480 мм
Діаметр сепаратора $D_1$	800 мм
Діаметр циркуляційної труби $D_2$	250 мм
Загальна висота апарата $H$	7530 мм
Маса апарата $M$	2500 кг



## 2.5 Конструктивні розрахунки

Визначення діаметрів штуцерів.

Швидкості руху теплоносіїв [3]:

- для рідин: 0,1 – 0,5 м/с – при власній течії;  
0,5 – 2,5 м/с – в напірних трубопроводах;

- для пари 20 - 40 м/с ;

- для газів 5 – 15 м/с.

Діаметр штуцера для введення розчину:

$$d_H = \sqrt{\frac{G_H}{\rho_H \cdot 0,785 \cdot w_H}}, \text{ м} \quad (2.13)$$

де  $G$  - витрата розчину,  $G = G_H = 0,89$  кг/с;

$\rho_H = 1115$  кг/м<sup>3</sup> – густина розчину при початковій температурі і концентрації [4];

$w_H = 0,15$  м/с – середня швидкість розчину.

$$d_H = \sqrt{\frac{0,89}{1115 \cdot 0,785 \cdot 0,15}} = 0,082 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_H = 100$  мм

Діаметр штуцера для виходу упареного розчину:

$$d_K = \sqrt{\frac{G_K}{\rho_K \cdot 0,785 \cdot w_K}}, \text{ м} \quad (2.14)$$

де  $G = G_H - W_1 = 0,89 - 0,22 = 0,67$  кг/с

$w_K = 0,15$  м/с – швидкість упареного розчину на виході з 1-го корпусу;

$\rho_K = 1264$  кг/м<sup>3</sup> – густина упареного розчину на виході з 1-го корпусу

[4].

$$d_K = \sqrt{\frac{0,67}{1264 \cdot 0,785 \cdot 0,15}} = 0,07 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_K = 100$  мм.

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Діаметр штуцера для введення гріючої пари:

$$d_n = \sqrt{\frac{D}{\rho_n \cdot 0,785 \cdot w_n}}, \text{ м} \quad (2.15)$$

$$d_n = \sqrt{\frac{0,3}{1,61 \cdot 0,785 \cdot 20}} = 0,11 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера для введення гріючої пари  $d_n = 200$  мм.

Діаметр штуцера для виведення гріючої пари:

$$d_n = \sqrt{\frac{0,3}{1,47 \cdot 0,785 \cdot 20}} = 0,114 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера для виведення гріючої пари  $d_n = 200$  мм.

## 2.6 Гідравлічний опір апарата

Витрата охолоджуючої води визначають з теплового балансу конденсатора:

$$G_6 = \frac{W_2 \cdot (I_{\text{ок}} - c_6 \cdot t_k)}{c_6 \cdot (t_k - t_n)}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2.16)$$

де  $I_{\text{ок}}$  – ентальпія парів в барометричному конденсаторі, Дж/кг;

$t_n$  – початкова температура охолоджуючої води, °С;

$t_k$  – кінцева температура суміші води і конденсату, °С.

Різниця температур між паром і рідиною на виході з конденсатора прийmemo на 3°С нижче температури конденсації пари.

$$t_k = t_{\text{ок}} - 3,0 = 93 - 3,0 = 90 \text{ °С.}$$

$$G_6 = \frac{0,26 \cdot (2263000 - 4,19 \cdot 10^3 \cdot 90)}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (90 - 20)} = 1,67 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Діаметр барометричного конденсатора визначають з рівняння витрати:

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$d_{\text{ок}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W_2}{\rho \cdot \pi \cdot v}}, \text{ м} \quad (2.17)$$

де  $\rho$  – густина парів,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $v$  – швидкість парів,  $v = 15\text{-}25 \text{ м/с}$ .

$$d_{\text{ок}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,26}{1,51 \cdot 3,14 \cdot 15}} = 0,12 \text{ м}$$

Обираємо барометричний конденсатор діаметром  $d_{\text{ок}} = 200 \text{ мм}$  [3].  
 За нормлями [3] внутрішній діаметр барометричної труби дорівнює  
 $d_{\text{ом}} = 100 \text{ мм}$ .

Швидкість води в барометричній трубі:

$$v = \frac{4 \cdot (G_6 + W_2)}{\rho \cdot \pi \cdot d_{\text{ом}}^2}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.18)$$

$$v = \frac{4 \cdot (1,67 + 0,26)}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Висота барометричної труби:

$$H_{\text{ом}} = \frac{B}{\rho_6 \cdot g} + \left( 1 + \sum \xi + \lambda \cdot \frac{H_{\text{ом}}}{d_{\text{ом}}} \right) \cdot \frac{v_6^2}{2 \cdot g} + 0,5, \text{ м} \quad (2.19)$$

де  $B$  – вакуум в барометричному конденсаторі,  $\text{Па}$ ;

$\sum \zeta$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

$\lambda$  – коефіцієнт тертя в барометричній трубі;

$0,5$  – запас висоти на можливу зміну барометричного тиску,  $\text{м}$ .

$$B = P_{\text{атм}} - P_{\text{ок}} = 9,8 \cdot 10^4 - 8 \cdot 10^4 = 1,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

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

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

Для визначення коефіцієнта тертя  $\lambda$  розрахуємо величину  $Re$ :

$$Re = \frac{v_6 \cdot d_{\text{ом}} \cdot \rho_6}{\mu_6} \quad (2.20)$$

										Лист
										27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ					

$$Re = \frac{0,25 \cdot 0,1 \cdot 1000}{0,54 \cdot 10^{-3}} = 46296$$

Для гладких труб при  $Re = 46296 \lambda = 0,011$  [4].

$$H_{\text{от}} = \frac{1,8 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9,81} + \left( 1 + 1,5 + 0,011 \cdot \frac{I_{\text{от}}}{0,1} \right) \cdot \frac{0,25^2}{2 \cdot 9,81} + 0,5$$

Знаходимо, що  $H_{\text{от}} = 4,8$  м.

## 2.7 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір теплообмінника-підігрівача

Теплообмінник-підігрівач призначений для підігрівання вихідного розчину гріючою парою до температури. Температура гріючої пари повинна бути на 10...20°C вище температури розчину.

Теплове навантаження теплообмінника  $Q=920$  кВт.

Розрахункова поверхня теплопередачі теплообмінника:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}, \quad \text{м}^2 \quad (2.21)$$

де  $K$  — коефіцієнт теплопередачі в теплообміннику, приймаємо  $K=500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  [14];

$\Delta t$  — різниця між температурами розчину і гріючої пари.

$$\Delta t = 42 - 22 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$F_p = \frac{920 \cdot 10^3}{500 \cdot 20} = 92 \text{ м}^2$$

Обираємо стандартний кожухотрубний теплообмінник з нерухомими трубними решітками [11].

Конструктивні дані по апарату:

Внутрішній діаметр кожуха $D$ , мм	800
Сортамент труб	25 × 2
Площа прохідного перерізу одного ходу по трубахрубам, $\text{м}^2 \cdot 10^3$	16,1
Число ходів у трубному просторі	1
Довжина труб $l$ , мм	3000
Поверхня теплообміну, $\text{м}^2$	109

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

*Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні підігрівача:*

$$\beta = \frac{F - F_{\text{MAX}}}{F} \cdot 100, \quad \% \quad (2.22)$$

$$\beta = \frac{109 - 92}{109} \cdot 100 = 16 \quad \%$$

*Розрахунок і вибір ємності*

*Ємність для зберігання вихідного розчину розраховують виходячи з 6-8 годинного резерву робочого часу і з урахуванням коефіцієнта заповнення  $\psi = 0,8 \dots 0,85$ . Приймаємо  $\psi = 0,82$ .*

*Розрахунковий об'єм ємності:*

$$V_{EP} = \frac{g \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad \text{м}^3 \quad (2.23)$$

*де  $g$  витрата вихідного розчину,  $g = 3200$  кг/ч;*

*$\tau$  — резерв робочого часу,  $\tau = 7$  ч;*

*$\rho$  — густина вихідного розчину  $\rho = 1115$  кг/м<sup>3</sup> [4].*

$$V_{EP} = \frac{3200 \cdot 7}{0,82 \cdot 1115} = 24,5 \quad \text{м}^3$$

*Задаємося діаметром ємності  $D = 2$  м, тоді її висота буде дорівнювати:*

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}, \quad \text{м} \quad (2.24)$$

$$H = \frac{24,5}{0,785 \cdot 2^2} = 7,8 \quad \text{м}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

### 3 Розрахунки на міцність апарата

Для розрахунків виберемо перший корпус випарної установки за умови найбільшого тиску в апараті.

Внутрішній діаметр обичайки  $D = 480$  мм.

Надлишковий тиск в гріючій камері  $P = 0,32$  МПа.

Розрахункова температура:  $t = 135^\circ\text{C}$

Матеріал апарата – сталь 08X18H10T.

Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском, представлена на рис. 3.

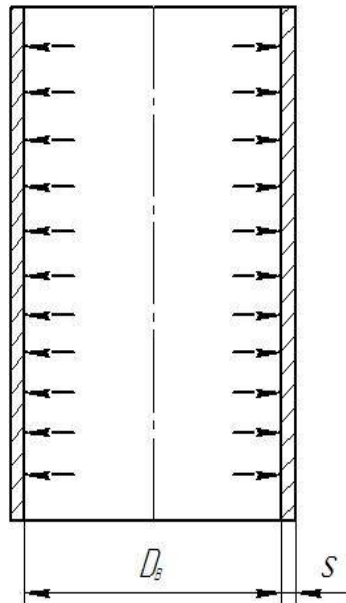


Рисунок 3 — Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском  $P > 0,07$  МПа відповідно до рекомендацій наведених у [4] складе:

$$P_p = 1,1p = 1,1 * 0,32 = 0,352 \text{ МПа} \quad (3.1)$$

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [4] складе:

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5P_p[\sigma]_{20} / [\sigma] \\ P_p + 0,3 \end{array} \right\}, \quad (3.2)$$

де  $[\sigma]_{20}, [\sigma]$  - допустиме напруження для матеріалу корпусу при розрахунковій температурі і  $20^\circ\text{C}$ , згідно [8]:

$$[\sigma]_{20} = 140 \text{ МПа}, \quad [\sigma] = 123 \text{ МПа}.$$

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,352 \cdot 140 / 123 \\ 0,33 + 0,3 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \\ 0,63 \end{array} \right\} = 0,63 \text{ МПа}$$

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу згідно [8]:

$$E_{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}, E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт міцності зварного шва згідно [4] складе:  $\varphi = 0,9$ .

Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_k = \frac{P_{np} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P_{np}}, \quad (3.3)$$

$$S_k = \frac{0,63 \cdot 0,48}{2 \cdot 123 \cdot 0,9 - 0,63} = 0,001 \text{ м}$$

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_k + C, \quad (3.4)$$

де  $c$  – загальне значення прибавки, яка складається з:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.5)$$

де  $C_1$  – прибавка на корозію і ерозію, при проникності

$\Pi = 0,4$  мм/год і терміні служби апарата  $\tau = 15$  років кладе

$$C_1 = \Pi \tau = 0,4 \cdot 15 = 6 \text{ мм};$$

$C_2$  – прибавка на від'ємне значення граничного відхилення по товщині листа, мм;

$C_3$  – технологічна прибавка, яка враховується в залежності від прийнятої технології виготовлення і не включає в себе округлення розрахункової товщини елемента до номінальної товщини за стандартом, мм.

Прибавки  $C_2$  і  $C_3$  враховуються тільки в тому випадку, коли сума їх перевищує 5% від розрахункової товщини обичайки.

$$C = 6 + 0 + 0 = 6 \text{ мм}$$

$$S = 0,001 + 0,006 = 0,007 \text{ м}$$

									Лист
									31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Приймаємо  $S=0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм}$ .

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}, \quad (3.6)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 123 \cdot 0,9 \cdot (0,008 - 0,006)}{0,48 + (0,008 - 0,006)} = 0,89 \text{ МПа}$$

Умова міцності має вигляд:

$$P < [P]: 0,63 \text{ МПа} < 0,89 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок товщини стінки днища

Розрахункова схема днища представлена на рис. 4.

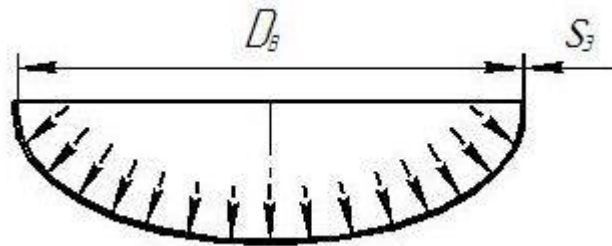


Рисунок 4 — Розрахункова схема днища апарата, навантаженого внутрішнім тиском

Номінальна товщина стінки днища (кришки), навантажених внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_R = \frac{P_p R}{2[\sigma] \cdot \varphi - 0,5 P_p}, \quad (3.7)$$

де  $R$  – радіус кривизни в вершині днища, для еліптичних днищ  
 $R = D$

$$S_R = \frac{0,63 \cdot 0,48}{2 \cdot 123 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,63} = 0,001 \text{ м}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32



Загальне значення прибавки до товщини стінки кришки, днища складе:

$$C = 6 + 0 + 0 = 6 \text{ мм}$$

$$S = 0,001 + 0,006 = 0,007 \text{ м}$$

Приймаємо  $S = 0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм}$ .

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2(S-C)\varphi[\sigma]}{D+0,5(S-C)}, \quad (3.8)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot (0,008 - 0,006) \cdot 0,9 \cdot 123}{0,48 + 0,5 \cdot (0,008 - 0,006)} = 0,9 \text{ МПа}$$

Що більше пробного, отже, умова міцності виконується.

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

## **4 Монтаж та ремонт апарата**

### **4.1 Монтаж випарного апарата**

Габаритні апарати надходять на монтажний майданчик у зібраному вигляді, негабаритні — у вигляді укрупнених вузлів, наприклад: корпус парового простору, парова камера, сепаратор, циркуляційні труби, обв'язувальні трубопроводи. Вага окремих блоків досягає 15-20 т.

При перевезенні випарного апарата на залізничній платформі повинні витримуватися встановлені габарити. Транспортування апарата всередині монтажної зони або цеху здійснюється за допомогою тельферів, мостових кранів або електролебідок.

Перед монтажем на монтажному майданчику проводиться ревізія:

- розконсервування апарата;
- зовнішній огляд на наявність вм'ятин, тріщин;
- підготовка поверхонь роз'єму фланців;
- підготовка, перевірка сальних прокладок.

Виявлені дефекти (задираки, вм'ятини) усуваються.

В цей же час проводиться перевірка і підготовка фундаменту під монтаж. У разі установки корпусу апарата на міжповерхове перекриття, воно є фундаментом. Перевіряється цілісність перекриттів, масляні плями видаляються. Анкерні болти НЕ бетонуються, а вводяться в наскрізний отвір в перекритті. У разі великого роз'єму в перекритті, сепаратор піднімається прямо з нижнього поверху через отвори перекриття. Такий апарат ставиться на роз'ємну раму. Як тільки лапи по висоті виходять вище поверхні, рами підводяться під лапи і зварюються, або стягуються болтами через спеціальні вушка.

Опорні лапи у апаратів цього типу розташовані у верхній частині. Апарат якби підвішений, і тому його монтаж доцільно здійснювати методом підрошування.

Монтаж апарата починають з установки на місце і вивірки по осях і позначок корпусу парового простору. Особливо важливо витримати вертикальне положення апарата, так як навіть незначний нахил апарата призводить до перекосів і порушення ущільнень в сальникових компресорах. Відхилення від вертикалі осі апарата не повинна перевищувати 1 мм на 1 м висоти апарату.

Далі монтаж проводиться в такому порядку:

- проводиться підгонка та приєднання гріючої камери до встановленого корпусу гріючої камери;
- встановлюються циркуляційні труби;
- встановлюється циркуляційний насос;
- встановлюються засувки на всмоктуючий і напірний патрубки насоса і компенсатори;
- встановлюється сепаратор;

										Лист
										34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

- монтуються обв'язувальні трубопроводи;
- встановлюються запобіжні клапани і контрольно-вимірвальні прилади.

При монтажі запірної арматури особлива увага приділяється герметичності засувок на трубопроводі подачі води в апарат, так як просочування води в апарат під час його роботи веде до розведення розчину і перешкоджає випаданню з нього кристалів.

При монтажі апарата з виносною гріючою камерою в першу чергу ведеться монтаж сепаратора. Після закріплення корпусу апарата приступають до установки гріючої камери, яка може здійснюватися через бічні і верхні отвори за умови достатньої висоти. Якщо ні — через стельові отвори. Проводять підйом на розсувну раму, перевіряють вертикальність гріючої камери; міжосьова відстань між патрубками, які з'єднують гріючу камеру з корпусом.

При монтажі випарних апаратів необхідно домагатися суворой соосності осей штуцерів циркуляційних труб, так як великий діаметр і більша жорсткість труб викличуть при розбіжності осей штуцерів значні напруги в корпусі і в самих трубах.

Допустима розбіжність осей штуцерів 1 мм на 1 м відстані між штуцерами переливних труб не повинно перевищувати  $\pm 2$  мм.

Сварка апарата повинна проводитися зварником, який має право на зварювання посудин, що працюють під тиском, з дотриманням усіх вимог технічних умов.

Розміщення приладу по вертикалі вивіряється схилом або рамним рівнем. При користуванні рамним рівнем за базу приймаються механічно оброблені поверхні фланців, люків, бобишек.

Якщо апарат з'єднаний з іншими апаратами, то вивіряється також його положення відносно цих апаратів. Вивірка проводиться по штуцерам, призначеним для під'єднання трубопроводів, що зв'язують апарати між собою.

По закінченню монтажу апарат і обв'язувальні трубопроводи піддають гідравлічному випробуванню при тиску, що дорівнює 1,5 робочого. При цьому тиску апарат витримують протягом 5 хвилин, після чого тиск знижують до робочого і проводять огляд апарату. Спочатку проводиться випробування міжтрубному простору підігрівача, потім випробування корпусу апарата.

Після випробування апарат здається інспекції Держгіртехнагляду.

Зазвичай випарні апарати поставляються заводом-виробником з тимчасовими картонними прокладками. Ці тимчасові прокладки при монтажі замінюються постійними, матеріал яких обирається, виходячи із середовища, тиску і температури, при якій працює апарат.

В процесі експлуатації проводиться огляд перед початком роботи, контроль герметичності вузлів арматури.

						Лист
					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

## 4.2 Ремонт випарного апарата

Ремонт — це комплекс робіт по відновленню справного стану, працездатності і ресурсу обладнання.

Види ремонтів: капітальний, поточний.

Поточний ремонт — комплекс робіт, спрямованих на відновлення працездатності обладнання шляхом заміни або відновлення окремих його частин.

Капітальний ремонт — виконується для відновлення справності та повного (або близького до повного) відновлення ресурсу обладнання з заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові.

Перелік робіт при поточному ремонті: очищення внутрішньої поверхні трубок гріючої камери, підвальцювання трубок, відглушення трубок (до 10%), замірювання товщини стінок корпусу, штуцерів. Випробування на міцність і щільність.

Перелік робіт при капітальному ремонті: склад робіт поточного ремонту, витягування трубного пучка, очищення корпусу, трубного пучка від відкладень, підвальцювання трубок, зміна трубного пучка або частини трубок, ремонт корпусу.

Тріщини корпусу гріючої камери випарного апарата можна відремонтувати зварюванням. Оглянувши тріщину (із застосуванням лупи), встановлюють її розміри. Поверхня корпусу в зоні тріщини ретельно захищають з внутрішньої і зовнішньої сторін. На кінцях тріщини просвердлюють отвори для запобігання її поширення в довжину. Після засверловки тріщину обробляють під зварювання за допомогою пневмомолотка і зубила або спеціального газового різака. Нескрізні тріщини обробляють односторонньої вирубкою країв на максимальну глибину під кутом 50-60°C. Наскрізні тріщини або непрямі глибиною більше 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину. При товщині стінки корпусу випарного апарата до 15 мм зварювання ведеться V-подібним швом, при більшій товщині стінки – X-подібним швом.

Наскрізні тріщини при значному розходженні країв, а також ділянки значного зносу, що утворилися в результаті корозії і ерозії, вирізають і на їх місце встановлюють латки. Необхідно, щоб розмір латки був більше розміру пошкодженої ділянки на 100-160 мм. Метал, з якого вирізають латку, підбирають тієї ж марки і товщини, що і стінка апарата. При вальцюванні латки радіус її повинен бути на 10% менше від необхідного, так як при зварюванні вона розпрямляється. Радіус вальцювання перевіряють за допомогою шаблону.

У прямокутної латки кути заокруглені (радіус заокруглення не менше 50 мм). Латки зварюють тільки встик.

При товщині латок менше 20 мм їх можна виготовляти опуклими.

При експлуатації випарного апарату на внутрішній поверхні трубок гріючої камери утворюються тверді відкладення.

										Лист
										36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

*При чищенні механічним способом тверді відкладення видаляють скребками або свердлом, закріпленим на кінці валу. Вал приводять в обертання за допомогою пневмотора або електродвигуна через редуктор. Одночасно з механічною чисткою трубок через порожнистий вал подають пар або воду, що забирають відкладення.*

*Для відновлення початкових розмірів опори і якості її поверхні застосовують наплавку. Механізовану і автоматизовану наплавку виробляють під шаром флюсу товщиною 30-50 мм. Флюс запобігає розбризкування й окислювання розплавленого металу і формує валик. Кірку шламу, що утворилася від розплавленого флюсу, відбивають ударами молотка, нерозплавлений флюс використовують вдруге.*

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

## 5. Охорона праці

### **Основні методи пожежогасіння. Вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння.**

Комплекс заходів, спрямованих на ліквідацію пожежі, що виникла, називається пожежогасінням. Основою пожежогасіння є примусове припинення процесу горіння [12].

Щоб виник і розвивався процес горіння, необхідне одночасне поєднання горючої речовини, окислювача, джерела запалювання та безпосереднє надходження потоку тепла від осередку пожежі до горючої речовини. Горіння припиняється, коли припиняється дія будь-якого із цих компонентів.

Процес горіння можна припинити шляхом зниження вмісту горючої речовини, зменшення кількості окислювача або збільшення енергії активації процесу в полум'ї.

Перелічимо основні способи припинення процесу горіння:

- припинення надходження окислювача (кисню повітря) до осередку горіння;
- розбавлення повітря негорючими газами;
- зменшення температури горючої речовини до рівня, нижчого за температуру спалахування;
- ізоляція вогнища від повітря;
- зменшення надходження горючої речовини до зони горіння;
- зниження концентрації горючих речовин шляхом додавання негорючих матеріалів;
- інтенсивне гальмування швидкості хімічних реакцій (інгібування);
- механічний зрив полум'я сильним струменем води, порошку чи газу.

На цих принципових методах базуються відомі способи й прийоми припинення горіння під час пожежі за допомогою вогнегасних речовин та технічних засобів пожежогасіння.

Добір тих чи інших способів і засобів гасіння пожеж, а також вогнегасних речовин та їх носіїв визначається в кожному конкретному випадку залежно від стадії розвитку пожежі, масштабів загоряння, особливостей горючих речовин і матеріалів [13].

Вогнегасні речовини (засоби) за домінуючим принципом припинення горіння поділяють на чотири групи:

- охолоджуючої дії (вода, вуглекислота у твердому стані та ін.);
- ізолюючої дії (піна, деякі вогнегасні порошки, пісок, земля та ін.);
- розбавляючої дії (водяний пар, розпилена вода, інертні газу);
- інгібіруючої дії (бромистий етил, бромистий метилен, деякі вогнегасні порошки,
- рідинні суміші на основі галоїдовуглеводнів).

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		38

*До вогнегасних засобів охолоджуючої дії відносяться речовини, які добре поглинають тепло: вода, вуглекислота в твердому стані та у стані аерозолі, різні водні розчини солей та змочувальників.*

*Вода – найбільш поширений та ефективний вогнегасний засіб. Вона застосовується для гасіння більшості твердих речовин та матеріалів, створення водяних завіс для охолодження об'єктів, технологічних установок та обладнання, що знаходяться поблизу вогнища пожежі. Крім того, розпилена та тонко розпилена вода застосовується під час гасіння легкозаймистих та горючих рідин.*

*Вода має високу теплоємність за нормальних умов (4,19 Дж/кг·К) і добрі охолоджувальні властивості. Під час гасіння пожежі вода випаровується внаслідок контакту з нагрітими речовинами, матеріалами і конструкціями (з 1 л води утворюється 1725 л пари). При цьому відбувається розбавлення зони горіння. Маючи високу теплоту пароутворення (2258,36 Дж/кг), вода поглинає із зони горіння велику кількість теплоти, що забезпечує суттєвий охолоджувальний ефект.*

*Низька теплопровідність води сприяє створенню на поверхні горючого матеріалу надійної теплової ізоляції, а висока термічна стійкість - безпечному гасінню більшості твердих матеріалів, під час горіння яких температура не перевищує 1300° С, тоді як розкладання води на водень та кисень відбувається за температури понад 1700° С.*

*Здатність води розчиняти деякі рідини, наприклад спирт, ацетон, альдегіди, органічні кислоти, дозволяє розбавляти їх до негорючої концентрації та досягати припинення горіння. Крім того, вода здатна розчиняти деякі газу, поглинати аерозолі, що сприяє зниженню густини продуктів згорання, їх концентрації, створенню сприятливих умов для здійснення оперативних дій.*

*Однак воді, як вогнегасній речовині, притаманний ряд недоліків, зокрема:*

- *високий поверхневий натяг і, як наслідок, недостатня змочувальна здатність по відношенню до неполярних горючих матеріалів.*
- *невисока кінематична в'язкість, яка обумовлює швидке стікання води з поверхонь, що горять. У результаті на саме гасіння витрачається близько 3 – 5% всієї поданої води, решта проливається марно, приводячи до псування будівель, майна та обладнання.*
- *висока електропровідність. Це необхідно враховувати під час гасіння пожеж електроустановок, що знаходяться під напругою.*
- *здатність води вступати в реакцію з деякими речовинами та матеріалами.*

*Перелік речовин та матеріалів, під час гасіння яких не можна застосовувати воду, а також інші вогнегасні засоби на основі води наведено у табл. 5.1.*

*Компактні і розпилені струмені води дають можливість гасити пожежі переважно за рахунок охолодження палаючих речовин і матеріалів, їх ізоляції від окислювача і механічного "зриву" полум'я. Вода, розпилена до*



краплин малого розміру (як правило, 40...150 мкм) дає можливість гасити полум'я переважно за рахунок розведення газового горючого середовища водяною парою, що утворюється під час випаровування краплин.

Для підвищення вогнегасної ефективності води до неї додають різні добавки, найчастіше, що поліпшують змочувальну здатність води по відношенню до матеріалів органічного походження. Використання добавок солей до води підвищує її вогнегасну ефективність, що дає можливість досягти зменшення її витрати на гасіння.

Таблиця 5.1 – Речовини та матеріали, під час гасіння яких небезпечно застосовувати воду та інші вогнегасні засоби на її основі

Назва речовини (матеріалу)	Характер небезпеки
1	2
Алюміній металевий	За відсутності оксидної плівки взаємодіє з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. Під час горіння розкладає воду з утворенням вибухонебезпечного гримучого газу
Алюмінію карбід (алюмінію ацетиленид, алюмокарбід)	Реагує з водою з виділенням метану, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Амонію нітрат (аміачна селітра, амонійна селітра)	Потрапляння води в розплав призводить до сильного вибухоподібного викиду і посилення горіння
Барію карбід (барію ацетиленид)	Реагує з водою з виділенням метану, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Етилалюмінійсесквіхлорид	У разі взаємодії з водою вибухає
Калій металевий	Реагує з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Калію гідрид	Реагує з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Калію карбід (калію ацетиленид)	Реагує з водою з виділенням метану, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Калію нітрат (калійна селітра, індійська селітра)	Потрапляння води в розплав призводить до сильного вибухоподібного викиду і посилення горіння
Кальцій металевий	Реагує з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Кальцію карбід (кальцію ацетиленид)	Реагує з водою з виділенням метану, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Кальцію оксид (негашене вапно)	Реагує з водою з виділенням великої кількості теплоти
Кальцію пероксид	Реагує з водою з виділенням великої кількості теплоти, можливі викиди речовини, що супроводжуються посиленням горіння
Кальцію фосфонат (кальцію фосфіт)	Реагує з водою з виділенням водню фосфонату, який самозаймається в повітрі
Кремнію гідриди (силани)	Реагують з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям

Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата
------	------	----------	---------	------



Нітрогліцерин	Може вибухати в результаті співударання зі струменем
Петролатум	Подавання компактних струменів може призвести до викидів і посилення горіння
Рубідій металевий	Реагує з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Свинцю азид	Вибухає під час контакту з водою і в газових середовищах з вологістю більше ніж 30 %
Сірки (VI) оксид (триоксид сірки, сірчаний ангідрид, сірчаний газ)	У разі стикання з водою можливий вибухонебезпечний викид
Терміт	За нормальних умов повільно взаємодіє з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. Під час горіння розкладає воду з утворенням вибухонебезпечного гримучого газу. Інтенсивність і характер взаємодії певною мірою залежать від компонентного складу
Титан та його сплави	За нормальних умов взаємодіє з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям. Під час горіння розкладає воду з утворенням вибухонебезпечного гримучого газу. Інтенсивність і характер взаємодії певною мірою залежать від компонентного складу
Титану (IV) хлорид (титану тетрахлорид, тетрахлортитан)	Реагує з водою з виділенням великої кількості теплоти
Триетилалюміній	Інтенсивно реагує з водою з виділенням етану, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям, взаємодія зазвичай супроводжується вибухом
Трисиліламін	Розкладається водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Фосфору (V) оксид (фосфору пентаоксид, фосфорний ангідрид)	Взаємодіє з водою з утворенням суміші кислот. Процес супроводжується виділенням великої кількості теплоти, можливий вибух
Хлорсульфонова кислота	Під час реакції з водою швидко розкладається з утворенням сірчаної (сульфатної) та соляної (хлористоводневої) кислот, взаємодія зазвичай супроводжується вибухом
Цезій металевий	Реагує з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям
Цинк металевий (у вигляді пилу)	Реагує з водою з виділенням водню, що може утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям

*Відносна вогнегасна здатність води із добавками при гасінні пожеж класів А та В наведено у табл. 5.2 та 5.3.*

Таблиця 5.2 – Ряд відносної вогнегасної здатності води із добавками при гасінні пожеж класу А

№ п/п	Вогнегасна речовина	Показник відносної вогнегасної ефективності
1	2	3
1	Вода	1,0
2	Вода + 2 % ПУ типу Pirena	1,6
3	Вода + 2 % ГУР Prevento	3,0
4	Вода + 34% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + 0,5% ПУ типу AFFF	4,0
5	ВВР ФСГ-2Ф	4,5

Діоксид вуглецю у твердому (снігоподібному) стані. З 1 кг твердої вуглекислоти за температури 0° С та нормального тиску утворюється 506 л вуглекислого газу. Під час нагрівання тверда вуглекислота переходить у газоподібний стан, минаючи рідку фазу, що дозволяє застосовувати її для гасіння таких матеріалів, що псуються внаслідок змочування.

Основною вогнегасною властивістю твердої вуглекислоти є те, що, знаходячись на поверхні матеріалу, що горить, вона швидко сприймає тепло та переходить у газоподібний стан. Теплота випаровування твердої вуглекислоти за температури мінус 78,5° С менше, ніж води (572,75 Дж/кг). Однак через велику різницю між температурою вуглекислоти та нагрітою поверхнею швидкість охолодження значно вища, ніж під час використання води.

Таблиця 5.3 – Ряд відносної вогнегасної здатності води із добавками при гасінні пожеж класу В

№ п/п	Вогнегасна речовина	Показник відносної вогнегасної ефективності
1	2	3
1.	H <sub>2</sub> O	1
2.	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 5,00%	1,4
3.	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 2,00%	1,5
4.	KNO <sub>3</sub> 2,00%	1,6
5.	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 7,50 %	1,6
6.	KCl 5,0%	1,6
7.	KBr 5,00%	1,7
8.	H <sub>2</sub> O (t <sub>кип</sub> °C)	1,7
9.	K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 3,00%	1,7
10.	ПУ типу AFFF 0,10 %	1,8
11.	ПУ «Пірена» 0,10%	1,8
12.	KNO <sub>3</sub> 4,40%	1,9
13.	KMnO <sub>4</sub> 4,30%	1,9

14.	ПУ типу АFFF 0,25 %	1,9
15.	ПУ «Пірена» 0,25%	1,9
16.	ПУ типу АFFF 0,40 %	1,9
17.	$\text{KH}_2\text{PO}_4$ 15,00 %	1,9
18.	KCl 10,0%	1,9
19.	$\text{K}_2\text{SO}_4$ 6,00% + 0,40% АFFF	2,0
20.	$\text{K}_2\text{CO}_3$ 4,40%	2,0
21.	Вода +1% $\text{Na}_2\text{SiO}_3$	2,0
22.	ПУ «Пірена», 0,75%	2,1
23.	ПУ «Пірена» 1,00%	2,1
24.	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ (жовта кров. сіль) 1,00%	2,1
25.	$\text{KH}_2\text{PO}_4$ 10,00% + 0,40% АFFF	2,3
26.	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 7,00%	2,5
27.	KBr 10,00%	2,5
28.	ВВР ФСТ-2Ф	2,5
29.	KI 5,00%	2,6
30.	$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 5,00%	2,6
31.	$\text{K}_2\text{CO}_3$ 10,00%	2,7
32.	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ (червона кров. сіль) 2,00%	2,7
33.	$\text{KNO}_3$ 10,00%	2,8
34.	$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 3,00% +0,40%АFFF	2,9
35.	KBr 6,00% + 0,40%АFFF	3,1
36.	KBr 15,00 %	3,2
37.	$\text{KNO}_3$ 15,00%	3,2
38.	KI 10,00%	3,3
39.	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 2,50% +0,40%АFFF	3,3
40.	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 1,50% +0,40%АFFF	3,4
41.	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 6,00%	3,5
42.	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 1,00% +0,40%АFFF	3,5
43.	$\text{K}_2\text{CO}_3$ 15,00%	3,6
44.	$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 4,00% +0,40%АFFF	3,6
45.	$\text{K}_2\text{CO}_3$ 20,00%	3,6
46.	$\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 1,88%	3,6
47.	$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 12,00%	3,7
48.	$\text{KCO}_3$ 3,00% + 0,40%АFFF	3,8
49.	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 7,00%	3,8
50.	KBr 25,00%	3,9
51.	$\text{KNO}_3$ 3,00% + 0,40%АFFF	3,9
52.	KI 25,00 %	4,5
53.	114 В2 (хладон)	5,3

*Діоксид вуглецю не проводить струму, що дозволяє використовувати його для гасіння пожеж в приміщеннях з електрообладнанням, що знаходиться під напругою, двигунів внутрішнього згорання, у разі виникнення пожеж в архівах, музеях та ін. Не використовується діоксид вуглецю для гасіння магнію та його сплавів, металевого калію та натрію через те, що відбувається*



розкладання вуглекислого газу з виділенням атомарного кисню та посилення горіння.

Діоксид вуглецю у стані аерозолі утворюється під час викиду з ізоермічної ємкості із температурою мінус 79° С.

Під час нагрівання до температури 293° К (20° С) 1 кг аерозолі може поглинути 389,37 кДж теплоти, що еквівалентно охолодженню 5 кг повітря від 100 до 20° С.

Аерозольний діоксид вуглецю легко проникає в дрібні пори та глибокі тріщини. Він може ефективно використовуватись під час гасіння горючих матеріалів (деревини, тканини, бавовни, паперу), полярних рідин (спиртів, ефірів), пожеж у кабельних тунелях, підвальних приміщеннях, електростанціях, музеях, картинних галереях, книгосховищах, магазинах, складах та ін.

Механізм припинення горіння за принципом ізоляції заснований на створенні ізолюючого шару між зоною горіння та горючим матеріалом. До **вогнегасних засобів ізолюючої дії** належать піна, вогнегасні порошки, негорючі сипучі речовини (пісок, земля, флюси, графіт) та листові матеріали (азбестові, брезентові покривала, щити та ін.).

Найбільш ефективним вогнегасним засобом ізолюючої дії є піна. Всі інші вважаються первинними та використовуються для гасіння незначних загорянь або у комплексі з основними засобами.

Найбільш надійним і широко застосовуваним засобом гасіння горючих рідин є повітряно-механічна піна, що утворюється з робочих розчинів піноутворювачів для гасіння пожеж у разі використання спеціального обладнання.

Піноутворювачі для гасіння пожеж залежно від їх хімічної природи, а також умов та способів застосування поділяються на дві групи: піноутворювачі загального призначення і піноутворювачі спеціального призначення. За здатністю розкладатись під дією мікрофлори водоймищ і ґрунтів піноутворювачі поділяються на біологічно "м'які" (біологічна здатність до розкладання 80 % і більше) і біологічно "жорсткі" (біологічна здатність до розкладання менше ніж 80 %).

Основою піноутворювачів є ПАР, які забезпечують можливість генерування піни і зниження поверхневого натягу водних розчинів, а також можуть забезпечувати здатність утворювати плівку на поверхні горючої рідини, що зменшує дифузію горючих парів з неї. У більшості випадків в рецептурі піноутворювачів вводять добавки, які надають їм показників якості, регламентованих вимогами нормативних документів.

Піноутворювачі загального призначення (піноутворювачі типу "S") виготовляються із синтетичних вуглеводневих ПАР та добавок, до їх складу, як правило, не входять фторвмісні речовини. Вони придатні для генерування піни низької, середньої та високої кратності з робочих розчинів, а також приготування змочувальних розчинів. Такі піноутворювачі призначені для

						Лист
					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

гасіння пожеж класів А та В, тобто твердих горючих речовин і матеріалів (за винятком тих, які вступають до хімічної взаємодії з водою) та водонерозчинних горючих рідин.

Рецептури піноутворювачів спеціального призначення розробляють з таким розрахунком, щоб надати їм заданих спеціальних властивостей, яких не мають піноутворювачі загального призначення (наприклад, підвищеної стійкості піни до зневоднювання, зниженої швидкості її руйнування під дією горючих рідин чи теплового випромінювання полум'я, підвищеної морозостійкості, придатності до застосування з морською водою, плівкоутворювальної здатності тощо).

Піноутворювачі спеціального призначення для гасіння пожеж, здатні утворювати робочі і змочувальні розчини, придатні для гасіння пожеж класів А і В.

Плівкоутворювальні піноутворювачі (спеціального призначення) для гасіння пожеж виготовлені на основі фторвмісних та інших ПАР і здатні утворювати плівку з робочого розчину на поверхні горючих рідин, що характеризується здатністю до самовідновлення після механічного руйнування, а також зниженням швидкості дифузії парів горючої рідини.

Залежно від хімічної природи і переважної сфери застосування розрізняють різні типи піноутворювачів спеціального призначення для гасіння пожеж. Умовні позначення цих типів такі:

"P" - протеїнові (білкові) піноутворювачі, тобто піноутворювачі на основі гідролізованих білків (протеїнів);

"FP" - фторпротеїнові (фторбілкові) піноутворювачі, тобто піноутворювачі на основі гідролізованих білків (протеїнів) з добавками синтетичних фторвмісних ПАР;

"FFFP" - плівкоутворювальні фторпротеїнові (фторбілкові) піноутворювачі, тобто піноутворювачі на основі гідролізованих білків (протеїнів) з добавками синтетичних фторвмісних ПАР, які надають водним розчинам піноутворювачів плівкоутворювальних властивостей;

"S" - піноутворювачі на основі синтетичних вуглеводневих ПАР;

"AFFF" або "A3F" - фторсинтетичні плівкоутворювальні піноутворювачі, тобто плівкоутворювальні піноутворювачі на основі синтетичних фторвмісних ПАР (до їх складу можуть входити також вуглеводневі ПАР).

Позначення "AR" або "ATC", що додається до позначення будь-якого типу піноутворювача (наприклад, "FFFP AR", "S AR", "AFFF/ATC"), означає, що він придатний для гасіння як водонерозчинних, так і водорозчинних горючих рідин.

Для гасіння неполярних (водонерозчинних) горючих рідин (нафти, нафтопродуктів, нафтових розчинників, індивідуальних вуглеводнів) в більшості випадків найбільш ефективні плівкоутворювальні піноутворювачі

										Лист
										45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



речовин є їх доступність і невисока вартість, зумовлені використанням компонентів повітря, а недоліками – висока вогнегасна концентрація (тобто концентрація вогнегасної речовини, за якої постає можливим припинення горіння), непридатність для гасіння речовин, що горять без участі кисню, а також обмежена придатність для гасіння речовин і матеріалів, схильних до тління. Інертні розріджувачі використовують як для гасіння пожеж, так і для флегматизації газових горючих середовищ, тобто їх приведення у негорючий стан шляхом введення газової вогнегасної речовини до того, як сталася пожежа.

Діоксид вуглецю не підтримує горіння більшості речовин. Діоксид вуглецю застосовується для об'ємного гасіння пожеж у приміщеннях, порожнинах конструкцій, а також для захисту шляхом створення у вільних об'ємах негорючого середовища з метою попередження вибуху.

Для більшості речовин вогнегасна концентрація діоксиду вуглецю становить 20 – 30% (об.), під час гасіння пожеж вона приймається не менше 30% за об'ємом або 0,637 кг/м<sup>3</sup> для приміщень з виробництвом категорії В та 0,768 кг/м<sup>3</sup> для приміщень з виробництвом категорій А та Б.

Витрата діоксиду вуглецю залежить від інтенсивності гасіння, що задається, часу подавання, конструктивних особливостей приміщення, його об'єму тощо.

Найбільший ефект під час гасіння досягається за відсутності або обмеженої кількості відкритих отворів. З урахуванням цього необхідна кількість діоксиду вуглецю для об'ємного гасіння визначається за формулою:

$$Q_{CO_2} = K_3 * Q_B * V_{П}, \quad (5.1)$$

де –  $Q_{CO_2}$  необхідна кількість діоксиду вуглецю, кг;

$K_3$  – коефіцієнт запасу (приймається 1,13 – 1,25);

$Q_B$  – питома витрата газу, кг/м<sup>3</sup>;

$V_{П}$  – об'єм приміщення, що заповнюється, м<sup>3</sup>.

У разі наявності постійно відкритих отворів, сумарна площа яких не перевищує 10% площі конструкцій, що огорожують приміщення, додатково приймається витрата діоксиду вуглецю 0,5 кг/м<sup>2</sup> отвору.

Азот (N<sub>2</sub>) – негорючий газ, горіння більшості органічних речовин не підтримує. Застосовується для гасіння натрію, калію, берилію, кальцію та інших металів, що горять в атмосфері вуглекислого газу, а також пожеж в деяких технологічних апаратах і електроустановках. Розрахункова вогнегасна концентрація азоту становить 40% за об'ємом.

Азот не можна застосовувати для гасіння магнію, алюмінію, літію, цирконію та деяких інших металів, здатних утворювати нітрид, який має вибухові властивості і чутливий до удару. Для їх гасіння використовується інертний газ аргон.

										Лист
										47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

*Водяна пара. Для гасіння пожеж використовується насичена, відпрацьована та перегріта (технологічного призначення) водяна пара.*

*Ефективність пари невелика, тому вона застосовується для протипожежного захисту закритих технологічних апаратів, приміщень та споруд з обмеженим повітрообміном об'ємом до 500 м<sup>3</sup> (трюми судів, трубчасті печі нафтохімічних підприємств, насосні приміщення з перекачування нафтопродуктів, сушильні та фарбувальні камери), для гасіння невеликих пожеж на відкритих майданчиках і створення завіс навколо об'єктів, що захищаються.*

*Вогнегасна концентрація водяної пари становить приблизно 35 % за об'ємом.*

*Тонкорозпиленою вважається вода з розміром крапель менше 100 мк. Для отримання та подавання тонкорозпиленої води застосовується спеціальна апаратура (стволи-розпилювачі, гідротрансформатори), що працює за високого значення тиску (до 3,0 МПа).*

*Тонкорозпилені струмені води характеризуються невеликими величинами ударної сили та дальності дії, але зрошують значну поверхню. При цьому створюються найбільш сприятливі умови для випаровування води, підвищення охолоджуючого ефекту та розбавлення горючого середовища. Такі струмені дозволяють не зволожувати надмірно матеріали під час їх гасіння, сприяють швидкому зниженню температури, осадженню диму, полегшують умови проведення оперативних дій.*

*Тонкорозпилена вода може ефективно використовуватись як засіб об'ємного, так і поверхневого гасіння твердих речовин і матеріалів (які не вступають з нею в хімічну реакцію), нафтопродуктів, а також з метою захисту.*

*До вогнегасних засобів інгібуючої дії відносяться велика група газових вогнегасних речовин (це переважно хладони) та вогнегасні порошки.*

*Галоїдовуглеводні - це гази або рідини, що легко випаровуються. Вони погано розчиняються у воді, але добре змішуються з багатьма органічними речовинами. Ці вогнегасні засоби мають хорошу змочувальну здатність, не електропровідні, мають високу густину в рідкому і газоподібному стані, що забезпечує можливість утворення струменя, проникнення у полум'я, а також утримання парів біля вогнища пожежі.*

*Галоїдоорганічні сполуки та складні на їх основі, володіючи багатьма позитивними властивостями, ефективно пригнічують горіння різних газоподібних, рідких, твердих горючих речовин і матеріалів. Маючи хорошу змочувальну здатність, вони можуть застосовуватися для гасіння волокнистих матеріалів, а їх діелектричні властивості забезпечують можливість гасіння пожеж електроустановок та устаткування, що знаходяться під напругою.*

*Хладони застосовуються для захисту від пожеж транспортних засобів, машинних відділень судів, моторних відсіків літаків. Взагалі, газові вогнегасні*

										Лист
										48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ					



*речовини можна використовувати для гасіння пожеж у приміщеннях, що мають достатню герметичність, як правило, після завершення евакуації людей. Крім того, вони можуть застосовуватись як засіб об'ємного, поверхневого, та локального гасіння пожеж за будь-яких мінусових температур, а також для запобігання можливим вибухам газо- і пароповітряних сумішей.*

*До переваг інгібіторів горіння відносяться порівняно невисока вогнегасна концентрація, досить висока хімічна стійкість в умовах зберігання, а також практична відсутність негативного впливу на організм людини.*

*Водночас, під час взаємодії з полум'ям і розпеченими металевими конструкціями інгібітори горіння розкладаються з утворенням галогеноуглеводнів та інших небезпечних речовин, здатних завдати шкоди як людям, так і устаткуванню, що знаходиться в приміщенні.*

*Також до недоліків хладонів відноситься корозійна активність, токсичність і порівняно висока вартість компонентів. Вони не застосовуються для гасіння матеріалів, що містять у своєму складі кисень, метали, деякі гідриди металів та багатьох металоорганічних сполук. Хладони нездатні гальмувати реакцію горіння у випадках, коли як окиснювачем виступає не кисень, а інші речовини (наприклад, оксиди азоту).*

*Необхідна кількість інгібітору для об'ємного гасіння пожежі розраховується за формулою (5.1), але коефіцієнт запасу ( $K_3$ ) становить 1,3.*

*Гальмування (інгібування) реакцій горіння має місце і у разі гасіння вогнегасними аерозолями. Утворюються вони під час згоряння деяких хімічних сполук у спеціальних генераторах та являють собою дисперсні суміші типу "тверді частинки – газ".*

*До переваг вогнегасних аерозолів відносяться висока інгібувальна здатність та можливість гасіння обладнання, що знаходиться під напругою. Недоліки – це непридатність для застосування в приміщеннях, де знаходяться люди, можливість гасіння пожеж тільки за низького ступеня негерметичності приміщення, що захищається, та необхідність витримки його закритим після подавання вогнегасної речовини, а також можливість негативного впливу твердих частинок і газоподібних речовин на "чутливе" електронне та інше обладнання.*

*Вогнегасні порошки є найбільш універсальними вогнегасними засобами. Вони не викликають корозії металів, не електропровідні, не псують речовини і матеріали. Окрім високої вогнегасної ефективності до переваг порошків слід віднести: здатність пригнічувати горіння під час гасіння пожеж твердих речовин, горючих рідин різних видів, газів, електроустановок, що знаходяться під напругою; металів, у тому числі металоорганічних та інших пірофорних сполук, що не придатні до гасіння водою і піною. Порошковими вогнегасними речовинами можливо здійснювати ефективне гасіння за низьких значень температури.*

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Основний склад вогнегасних порошків становлять мінеральні солі (фосфорноамонійні солі: моно-, диамонійфосфати, амофос; карбонат і бікарбонат натрію та калію, хлориди натрію та калію) з домішками (кремнійорганічні сполуки, аеросил, біла сажа, тальк, стеарати металів, нефелін), що призначені для уникнення злежування та комкування.

Вогнегасні порошки поділяються на дві групи: загального та спеціального призначення.

Порошки загального призначення використовуються для гасіння пожеж класів А, В, С звичайних органічних горючих речовин шляхом утворення порошкової хмари, яка "огортає" осередок пожежі.

До порошків загального призначення належать ті, що виготовляються на основі фосфорноамонійних солей (моноамонійфосфат, диамонійфосфат, амофос). Ці порошки гасять пожежі класів А, В, С та застосовуються для гасіння тліючих і твердих горючих матеріалів, горючих рідин, газів, електроустаткування, в тому числі під напругою.

Вогнегасні порошки виготовлені на основі бікарбонату натрію використовуються для гасіння пожеж класів В, С: легкозаймистих та горючих рідин, газів, електроустаткування, двигунів, але не придатні для гасіння тліючих матеріалів (клас А) та лужних металів.

Порошки спеціального призначення використовуються для гасіння горючих речовин, припинення горіння яких досягається шляхом ізоляції поверхні, що горить, від навколишнього повітря шаром вогнегасного порошку.

Вогнегасні порошки забезпечують можливість швидкого припинення полуменевого горіння. Дрібнодисперсні частки, що входять до складу вогнегасних порошків, гальмують (інгібують) реакції окислення в газовій фазі, а плівка, що утворюється в результаті розкладання і плавлення складових порошку, сприяє гасінню твердих горючих матеріалів і перешкоджає їх повторному займанню. Однак вогнегасні порошки, на відміну від води, практично не охолоджують будівельні конструкції і горючі матеріали, нагріті в результаті пожежі.

На відміну від води і піни, вогнегасні порошки неможна подавати у приміщення, де знаходяться люди. Існують вогнегасні порошки, придатні для гасіння горючих рідин і твердих горючих матеріалів, а також порошки спеціального призначення, здатні гасити метали (наприклад, натрій, калій, літій, магній). Крім таких вогнегасних порошків, інші види вогнегасних речовин для гасіння металів практично не придатні, замість них можна застосовувати хіба що сухий пісок, інфузорну землю та інші подібні матеріали.

Комбіноване застосування різних видів вогнегасних речовин в окремих випадках дає можливість реалізувати переваги, властиві кожному з них. Як приклади можна привести одночасне подавання води і вогнегасного порошку одним пожежним стволом, генерування повітряно-механічної піни з використанням газової вогнегасної речовини (наприклад, діоксиду вуглецю)

										Лист
										50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

замість повітря, а також об'єднання водного розчину плівкоутворювального піноутворювача і газової вогнегасної речовини, яка в звичайних умовах знаходиться в рідкому стані, в одному складі (такі композиції називають термоспінювальними). Одночасне подавання вогнегасного порошку і води може забезпечити інгібування реакцій горіння та охолодження палаючих речовин і матеріалів, а подавання піни, одержаної з використанням газової вогнегасної речовини – охолодження та ізоляцію палаючої поверхні з одночасним розведенням газового середовища, в якому і відбуваються реакції горіння [14].

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

## Література

1. Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А.А. Лащинский, А.Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
2. Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю.И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
5. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.
6. Перцев Л.П. Трубчатые выпарные аппараты для кристаллизующихся растворов / Л.П. Перцев, Е.М. Ковалев, В.С. Фокин. – М. : Машиностроение, 1982. – 136 с.
7. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
8. Михайлев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М.Ф. Михайлев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. Михайлева М.Ф. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с.
9. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
10. Врагов А.П., Михайловський Я.Е., Якушко С.І. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / За ред. А.П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.
11. Фарамазов С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С.А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
12. Основы пожежної профілактики на виробничих об'єктах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.dut.edu.ua/uploads/l\\_1333\\_88163531.pdf](http://www.dut.edu.ua/uploads/l_1333_88163531.pdf)
13. Кобилянська І.М. Основы охорони праці : Навчальний посібник / І.М. Кобилянська, О.В. Кобилянський, С.Л. Яблочников. – Вінниця, 2007. – 171 с.

										Лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

14. Довідник керівника гасіння пожежі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://dprch11.pp.ua/filesforsetup/Normatyvni\\_documenty/DovidnykKGP/Persha\\_redakciya\\_dovidnika\\_KGP\\_1.pdf](http://dprch11.pp.ua/filesforsetup/Normatyvni_documenty/DovidnykKGP/Persha_redakciya_dovidnika_KGP_1.pdf)
15. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		