

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 нітрату калію. Розробити  
випарний апарат з природною циркуляцією розчину

Виконав:

студент групи ХМдн – 54р

Покутній Богдан Вікторович

\_\_\_\_\_   
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 Покутній Богдан Вікторович

1 Тема проекту: Виробництво нітрату калію. Розробити випарний апарат з природною циркуляцією розчину

2 Вихідні дані: Розробити випарний апарат з природною циркуляцією розчину продуктивністю 2,83 кг/с. Температура вихідного розчину становить 30°C. Початкова концентрація розчину – 13 % мас., а кінцева – 53 % мас. Кількість корпусів – 3. Тиск грюючої пари у першому корпусі 0,4 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>Кресленики складальних одиниць та деталей</u> | – 1,5 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. Трубчатые 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: 50 с., 4 рис., 5 табл., 1 додаток, 15 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема випарної установки, складальний кресленик апарата, кресленики вузлів та деталей – усього 4 аркуша графічної частини (3×А1).

Тема кваліфікаційної роботи: «Виробництво нітрату калію. 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» розглянута організація пожежної охорони промислових підприємств, а також протипожежні вимоги щодо забезпечення вимушеної евакуації людей із будівель.

Ключові слова: НІТРАТ КАЛІЮ, УСТАНОВКА, ВИПАРНИЙ АПАРАТ, ПРИРОДНА ЦИРКУЛЯЦІЯ, ПОЖЕЖНА ОХОРОНА.

## Зміст

<b>Вступ</b>	<b>С. 5</b>
<b>1 Технологічна частина</b>	<b>6</b>
1.1 Опис технологічної схеми установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу	7
1.3 Опис об'єкта розробки, вибір матеріалів в об'єкті	10
<b>2 Технологічні розрахунки процесу та апарата</b>	<b>13</b>
2.1 Матеріальні баланси і технологічні розрахунки	13
2.2 Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки	19
2.3 Конструктивні розрахунки	27
2.4 Гідравлічний опір апарата	28
2.5 Вибір допоміжного обладнання	30
<b>3 Розрахунки на міцність апарата</b>	<b>32</b>
3.1 Розрахунок товщини стінки обичайки і днища	32
<b>4 Монтаж та ремонт апарата</b>	<b>36</b>
4.1 Монтаж випарного апарата	36
4.2 Ремонт випарного апарата	38
<b>5 Охорона праці</b>	<b>40</b>
<b>Література</b>	<b>49</b>
<b>Додаток – Специфікації до складальних креслеників</b>	

					<b>ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Покутній</i>			<b>Випарний апарат у виробництві KNO<sub>3</sub></b> <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Яхненко</i>					4	50
<i>Реценз.</i>						<b>СумДУ, ХМдн – 54р</b>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Склабінський</i>						

## Вступ

Нітрат калію або калієва селітра (*potassiumnitrate*) – це калійно-азотне добриво. Застосовується під всі культури на всіх типах ґрунтів у якості підгодівлі протягом усього періоду вегетації.

У сільському господарстві селітра калієва застосовується в якості добрива для різних сільськогосподарських культур. У скляній промисловості застосовується для оптичного скловаріння, виготовлення сумішей для знебарвлення і освітлення кришталевих стекол, для підвищення міцності виробів зі скла, знебарвлення і освітлення технічного скла. Селітра калієва знаходить застосування в електровакуумній промисловості, у виробництві димних порохів, при виготовленні емалей, термосолей, теплоносіїв. У харчовій промисловості нітрат калію використовується як консервант.

У природі нітрат калію зустрічається у вигляді небагатих покладів. В домашніх умовах нітрат калію можна отримати з компостів, в які входять гній, зола, вапно, хмиз та інші органічні речовини. У результаті біохімічних процесів в такому компості утворюється калієва селітра. Її вилуговують водою, отримуючи порівняно чистий продукт.

У хімічній промисловості нітрат калію отримують декількома способами:

- нейтралізацією лугів азотною кислотою;
- абсорбцією калієвими лугами нітрозних газів;
- конверсійним способом.

Основна сутність випарювання розчину полягає у перетворенні частини розчинника на пару. У процесі кипіння перетворення рідини на пару відбувається не лише з поверхні, а й у середині парових бульбашок, що утворюються в самій рідині.

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

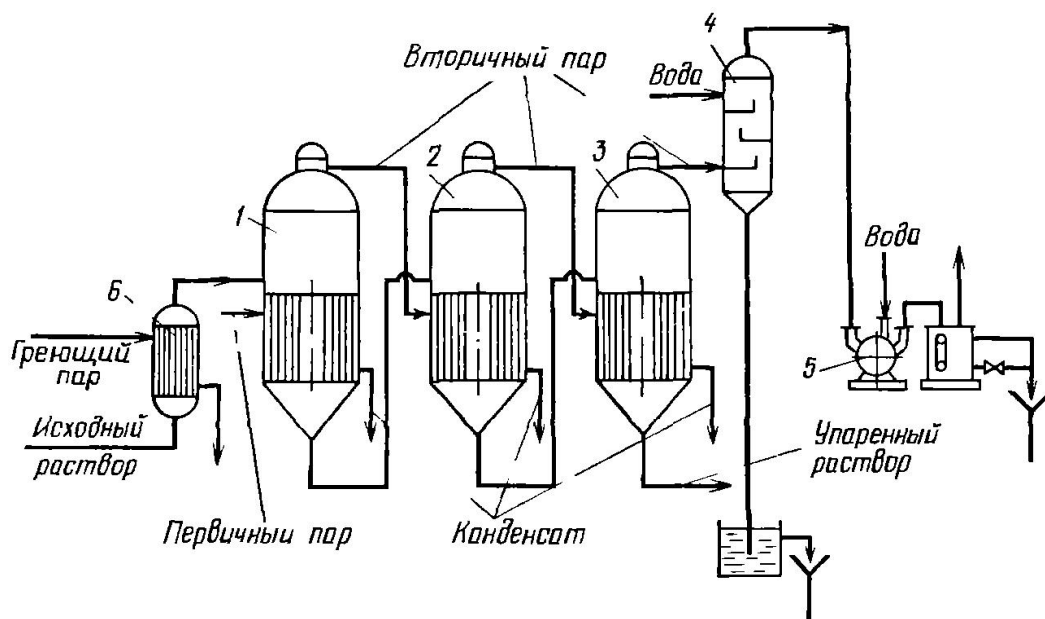
					ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

# 1 Технологічна частина

## 1.1 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 проточні і протиточні випарні установки, а також установки з паралельною чи зі змішаною подачею розчину в апарати. Найбільшого поширення в промислових умовах отримали проточні випарні установки (рисунок 1), в яких гріюча пара і випарюваний розчин направляють в перший корпус 1, потім частково упарений розчин самопливом перетікає в другий корпус 2 і т. д.; вторинний пар першого корпусу направляють в якості гріючої пари в другий корпус і т. д.



1-3- корпуса; 4 – барометричний конденсатор;  
5 – вакуум-насос; 6 – підігрівач вихідного розчину

Рисунок 1 – Многокорпусна проточна випарна установка

Розчин нітрату калію в підігрівачі вихідного розчину 6 підігрівається гріючою парою до температури 30°C. Далі він надходить до першого корпусу трьохкорпусної випарної установки, в якому відбувається процес випарювання вихідного розчину. Далі цей частково упарений розчин самопливом перетікає в другий корпус випарної установки, а вторинну пару першого корпусу направляють в якості гріючої пари в другий корпус. Після

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

другого корпусу частинно випарений розчин самопливом перетікає в третій корпус випарної установки, а вторинну пару другого корпусу направляють в якості гріючої пари в третій корпус. Після третього корпусу готовий продукт збирають в ємність збору готового продукту і направляють в товарний парк. Вторинна пара з третього корпусу направляється в барометричний конденсатор 4, 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.

Добладнання установки виконане із сталей 12Х18Н10Т, Ст.3.

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

## 1.2 Теоретичні основи процесу

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 вторинних парів, що відбираються, 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.

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

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).

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

У 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 поділитися 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.

Приймемо, 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:

$$G_n = G_k + W$$

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

$$\frac{G_n \cdot b_n}{100} = \frac{G_k \cdot b_k}{100}$$

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



Для складання теплового балансу введемо позначення:

$D$  – витрата гріючої пари;

$I, I_T, i_H, i_K$  – 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:

$$G_H \cdot i_H + D \cdot I_2 = G \cdot i + W \cdot I + D \cdot c' \cdot \theta + Q_{кond} + Q_n$$

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

$$G_H \cdot c_H \cdot t_K = G_K \cdot c_K \cdot t_K + W \cdot c' \cdot t_K$$

$$G_H \cdot c_H = G_K \cdot c_K + W \cdot c'$$

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

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \cdot \tau = K \cdot F \cdot \Delta t_{пол}$$

де  $Q$  – теплове навантаження апарата;

$K$  – коефіцієнт тепловіддачі;

$F$  – поверхня нагріву;

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

Тоді поверхня нагріву дорівнює:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{пол}}$$

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.

$$\Delta t_{пол} = T - t_K$$

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

### 1.3 Опис об'єкта розробки, вибір матеріалів в об'єкті

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 решітці гріючої камери 1.

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

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.

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.

Конструкція апарата показана на рис. 2.

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

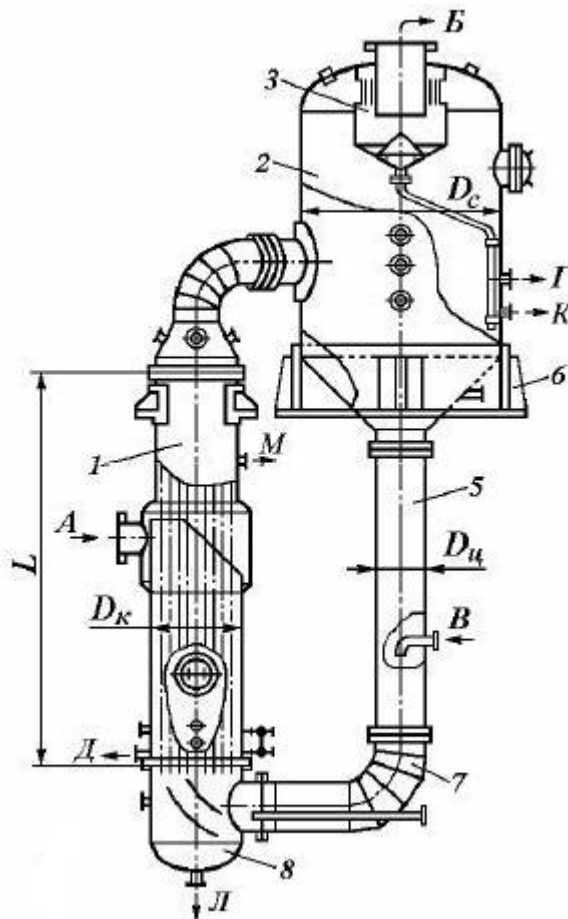
а) достатня загальна хімічна і корозійна стійкість в агресивному середовищі;

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.

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



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

A – вхід грійочної пари; Б – вихід вторичної пари; В – вхід розчину;  
 Г – вихід упареного розчину; Д – вихід конденсату; Л – злив розчину;  
 М – здув несконденсованих газів

Рисунок 2 – – Схема випарного апарату з природною циркуляцією та винесенною грійочною камерою

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

Сталь 08Х18Н10Т - сталь аустенітного класу.

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

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

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

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

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

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

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ					

Технологічні властивості:

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

Фізичні властивості:

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

Густина  $\rho = 7900$  кг/м<sup>3</sup>.

Теплопровідність  $\lambda = 15$  Вт/м·°С.

Лінійне розширення  $\alpha = 16,6 \cdot 10^{-6}$  1/°С.

Теплоємність  $c = 462$  Дж/кг·К.

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 за способом виплавки спокійна.

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

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

## 2 Технологічні розрахунки процесу та апарата

### 2.1 Матеріальні баланси і 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 корпусам 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.

$$W = \frac{10200}{3600} \cdot \left(1 - \frac{13}{53}\right) = 2,14 \text{ кг/с}$$

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

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

$$W_1 = \frac{1,0 \cdot W}{1,0 + 1,1 + 1,2} = \frac{1,0 \cdot W}{3,3} = \frac{1,0 \cdot 2,14}{3,3} = 0,65 \text{ кг/с}$$

$$W_2 = \frac{1,1 \cdot W}{3,3} = \frac{1,1 \cdot 2,14}{3,3} = 0,71 \text{ кг/с}$$

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

$$W_3 = \frac{1,2 \cdot W}{3,3} = \frac{1,2 \cdot 2,14}{3,3} = 0,78 \text{ кг/с}$$

Перевірка  $W = W_1 + W_2 + W_3 = 0,65 + 0,71 + 0,78 = 2,14 \text{ кг/с}$

Розраховуємо концентрації розчинів у корпусах:

$$X_1 = \frac{G_n \cdot X_n}{G_n - W_1} = \frac{2,83 \cdot 0,13}{2,83 - 0,65} = 0,17 \text{ кг/кг (17\%)}$$

$$X_2 = \frac{G_n \cdot X_n}{G_n - W_1 - W_2} = \frac{2,83 \cdot 0,13}{2,83 - 0,65 - 0,71} = 0,25 \text{ кг/кг (25\%)}$$

$$X_3 = \frac{G_n \cdot X_n}{G_n - W_1 - W_2 - W_3} = \frac{2,83 \cdot 0,13}{2,83 - 0,65 - 0,71 - 0,78} = 0,53 \text{ кг/кг (53\%)}$$

Концентрація в 3-му корпусі відповідає заданій  $X_k$ .

Температура кипіння розчину в корпусі ( $t_{i \text{ кип}}$ ) визначається як сума температур гріючої пари подальшого корпуса ( $t_{i+1}$ ) 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.

Прийемо, що тиск в останньому корпусі і в барометричному конденсаторі рівні.

$$\Delta P = \frac{P_{г1} - P_{б.к.}}{3} = \frac{0,4 - 0,015}{3} = 0,128 \text{ МПа}$$

де  $P_{г1}$  – тиск гріючої пари в 1-ому корпусі,  $P_{г1} = 0,4 \text{ МПа}$ ;

$P_{б.к.}$  – тиск пари в барометричному конденсаторі, МПа.

У промисловості тиск в барометричному конденсаторі нижче, ніж в останньому корпусі, для наших розрахунків прийемо, що тиск в останньому корпусі і в барометричному конденсаторі рівні.

Тоді тиск гріючої пари, МПа, в корпусах складає:

$$\Delta P = P_{г1} - P_{б.к.} = 0,4 - 0,015 = 0,385 \text{ МПа}$$

$$P_{г2} = P_{г1} - \frac{\Delta P}{3} = 0,4 - \frac{0,385}{3} = 0,272 \text{ МПа}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

За тиском гріючої пари знаходимо його температуру і ентальпії I (таблиця 2.1) по корпусам [4].

Таблиця 2.1 – Визначення температури і теплоти пароутворення

Тиск, МПа	Температура, °С	Ентальпія, кДж/кг
$P_{r1} = 0,4$	$t_{r1} = 142,9$	$I_{r1} = 2744$
$P_{r2} = 0,272$	$t_{r2} = 128,9$	$I_{r2} = 2724$
$P_{r3} = 0,015$	$t_{r3} = 53,6$	$I_{r3} = 2596$

Визначення температурних втрат.

Температурні втрати в випарному апараті обумовлені температурною ( $\Delta'$ ), гідростатичною ( $\Delta''$ ) і 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 вторинної пари в корпусах дорівнює:

$$t_{вп1} = t_{r2} + \Delta'''_1 = 128,9 + 1 = 129,9 \text{ °С}$$

$$t_{вп2} = t_{r3} + \Delta'''_2 = 53,6 + 1 = 54,6 \text{ °С}$$

$$t_{вп3} = t_{r3} + \Delta'''_3 = 53,6 + 1 = 54,6 \text{ °С}$$

Сума гідродинамічних депресій:

$$\sum \Delta''' = \Delta'''_1 + \Delta'''_2 + \Delta'''_3 = 3 \cdot 1 = 3 \text{ °С}$$

За температурами вторинних парів визначимо їх тиски [4]:

$P_{вп1} = 0,28$  МПа;  $P_{вп2} = 0,016$  МПа,  $P_{вп3} = 0,016$  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 ( $t_{cp}$ ) і температури

вторинної пари ( $t_{вп}$ ) і знаходиться за формулою:

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

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

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

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

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),  $\varepsilon = 0,4-0,6$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Приймаємо  $\varepsilon = 0,5$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Для вибору значення  $H$  потрібно орієнтовно визначити поверхню теплопередачі випарного апарата  $F_{ор}$ . При кипінні водних розчинів можна прийняти питоме теплове навантаження апаратів з природною циркуляцією  $q = 20000-50000$  Вт/м<sup>2</sup> [3].

Приймаємо  $q = 23600$  Вт/м<sup>2</sup>[3].

Поверхня теплопередачі 1-го корпусу орієнтовно буде дорівнювати:

$$F_{ор} = \frac{W_1 \cdot r_{вп1}}{q} = \frac{0,65 \cdot 2178 \cdot 10^3}{23600} = 60 \text{ м}^2$$

де  $r_{вп1}$  – теплота пароутворення вторинної пари,  $r_{вп1} = 2178$  кДж/кг [4].

За ГОСТ 11987-81 для випарного апарата з природною циркуляцією, соосною гріючою камерою і кипінням розчину в трубах велика поверхня – 63 м<sup>2</sup>, при діаметрі труб  $\varnothing 38 \times 2$  мм і довжині труб  $H = 4000$  мм.

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

$$P_{1ср} = 0,28 + \frac{1112 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot (1 - 0,5)}{2 \cdot 9,8 \cdot 10^5} = 0,291 \text{ МПа}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16



$$P_{2cp} = 0,016 + \frac{1148 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot (1 - 0,5)}{2 \cdot 9,8 \cdot 10^5} = 0,03 \text{ МПа}$$

$$P_{3cp} = 0,016 + \frac{1210 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot (1 - 0,5)}{2 \cdot 9,8 \cdot 10^5} = 0,03 \text{ МПа}$$

Цим тискам відповідають такі температури кипіння і теплоти пароутворення (таблиця 2.2) [4].

Таблиця 2.2 – Визначення температури кипіння і теплоти пароутворення

Тиск, МПа	Температура, °С	Теплота пароутворення, кДж/кг
$P_{1cp} = 0,291$	$t_{1cp} = 130,5$	$r_{вп1} = 2180$
$P_{2cp} = 0,03$	$t_{2cp} = 68,7$	$r_{вп2} = 2336$
$P_{3cp} = 0,03$	$t_{3cp} = 68,7$	$r_{вп3} = 2336$

Визначимо гідростатичну депресію по корпусам (формула 2.4):

$$\Delta_1'' = t_{1cp} - t_{en1} = 130,5 - 129,9 = 0,6 \text{ °С}$$

$$\Delta_2'' = t_{2cp} - t_{en2} = 68,7 - 54,6 = 14,1 \text{ °С}$$

$$\Delta_3'' = t_{3cp} - t_{en3} = 68,7 - 54,6 = 14,1 \text{ °С}$$

Сума гідростатичних депресій становить:

$$\sum \Delta'' = \Delta_1'' + \Delta_2'' + \Delta_3'' = 0,6 + 14,1 + 14,1 = 28,8 \text{ °С}$$

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'ятильних труб, К;

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

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

$$\Delta'_{атм1} = 1,4 \text{ }^\circ\text{C} \text{ – для 1-го корпуса при } X_1 = 17 \%$$

$$\Delta'_{атм2} = 2,2 \text{ }^\circ\text{C} \text{ – для 2-го корпуса при } X_2 = 25 \%$$

$$\Delta'_{атм3} = 6 \text{ }^\circ\text{C} \text{ – для 3-го корпуса при } X_3 = 53 \%$$

Знаходимо значення  $\Delta'$  по корпусам:

$$\Delta'_1 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(130,5 + 273)^2}{2180} \cdot 1,4 = 1,69 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta'_2 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(68,7 + 273)^2}{2336} \cdot 2,2 = 1,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta'_3 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(68,7 + 273)^2}{2336} \cdot 6 = 4,86 \text{ }^\circ\text{C}$$

Сума температурних депресій дорівнює:

$$\sum \Delta' = \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 = 1,69 + 1,78 + 4,86 = 8,33 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$t_{к1} = t_{г2} + \Delta'_1 + \Delta''_1 + \Delta'''_1 = 128,9 + 1,69 + 0,6 + 1 = 132,19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{к2} = t_{г3} + \Delta'_2 + \Delta''_2 + \Delta'''_2 = 53,6 + 1,78 + 14,1 + 1 = 70,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{к3} = t_{г3} + \Delta'_3 + \Delta''_3 + \Delta'''_3 = 53,6 + 4,86 + 14,1 + 1 = 73,56 \text{ }^\circ\text{C}$$

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 дорівнюють:

$$\Delta t_{п1} = t_{г1} - t_{к1} = 142,9 - 132,19 = 10,71 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{п2} = t_{г2} - t_{к2} = 128,9 - 70,48 = 58,42 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{п3} = t_{г3} - t_{к3} = 73,56 - 53,6 = 19,96 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

Загальна корисна різниця температур:

$$\sum \Delta t = \Delta t_{n1} + \Delta t_{n2} + \Delta t_{n3} = 10,71 + 58,42 + 19,96 = 89,09 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## 2.2 Теплові (енергетичні) баланси і 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 корпусах та рівняння балансу по воді для всієї установки:

$$Q_1 = D \cdot I_{r1} = 1,03 \cdot \left[ G_H \cdot c_H \cdot (t_{k1} - t'_H) + W_1 \cdot (I_{en1} - c_e \cdot t_{k1}) \pm Q_{1 \text{ конц}} \right] \quad (2.7)$$

$$Q_2 = W_1 \cdot I_{r2} = 1,03 \cdot \left[ (G_H - W_1) \cdot c_1 \cdot (t_{k2} - t_{k1}) + W_2 \cdot (I_{en2} - c_e \cdot t_{k2}) \pm Q_{2 \text{ конц}} \right] \quad (2.8)$$

$$Q_3 = W_2 \cdot I_{r3} = 1,03 \cdot \left[ (G_H - W_1 - W_2) \cdot c_2 \cdot (t_{k3} - t_{k2}) + W_3 \cdot (I_{en3} - c_e \cdot t_{k3}) \pm Q_{3 \text{ конц}} \right] \quad (2.9)$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \quad (2.10)$$

$$I_{вп1} \approx I_{r2}; I_{вп2} \approx I_{r3}; I_{вп3} \approx I_{r3}$$

Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} Q_1 = D \cdot 2744 = 1,03 \cdot \left[ 2,72 \cdot 3,63 \cdot (132,19 - 130,9) + W_1 \cdot (2724 - 4,19 \cdot 132,19) \right] \\ Q_2 = W_1 \cdot 2724 = 1,03 \cdot \left[ (2,72 - W_1) \cdot 3,49 \cdot (132,19 - 70,48) + W_2 \cdot (2596 - 4,19 \cdot 70,48) \right] \\ Q_3 = W_2 \cdot 2596 = 1,03 \cdot \left[ (2,72 - W_1 - W_2) \cdot 3,203 \cdot (73,56 - 70,48) + W_3 \cdot (2596 - 4,19 \cdot 73,56) \right] \\ W = W_1 + W_2 + W_3 \end{cases}$$

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

$c_1, c_2, c_3$  – теплоємності розчинів відповідно вихідного, в першому і в другому корпусах, кДж/(кг·К) [4];

$D$  – витрата гріючої пари в першому корпусі, кг/с;

$Q_{1 \text{ конц}}, Q_{2 \text{ конц}}, Q_{3 \text{ конц}}, Q_{4 \text{ конц}}$  – теплота концентрації по корпусах, 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.

$$t'_H = t_{en1} + \Delta'_H = 129,9 + 1 = 130,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

										Лист
										19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$\Delta'_n = 1 \text{ }^\circ\text{C}$  – температурна депресія вихідного розчину при  $X_n = 10\%$

Вирішуємо систему рівнянь:

$$D = 0,82 \text{ кг/с}$$

$$\text{Тоді } W_1 = 0,66 \text{ кг/с}; W_2 = 0,72 \text{ кг/с}; W_3 = 0,76 \text{ кг/с}$$

$$\text{Перевірка } W = 0,66 + 0,72 + 0,76 = 2,14 \text{ кг/с.}$$

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

Визначимо теплові навантаження:

$$Q_1 = 1082 \text{ кВт}; Q_2 = 4312 \text{ кВт}; Q_3 = 1642 \text{ кВт}$$

Отримані дані зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри розчинів і парів по корпусах

Параметр	Корпус		
	1	2	3
Продуктивність по випареній воді $W$ , кг/с	0,66	0,72	0,76
Концентрація розчинів $X$ , %	17	25	53
Тиск гріючих парів $P_r$ , МПа	0,4	0,272	0,015
Температура гріючих парів $t_{гп}$ , $^\circ\text{C}$	142,9	128,9	53,6
Температурні втрати, $\sum \Delta$ , $^\circ\text{C}$	3,29	16,88	19,96
Температура кипіння розчину $t_{кип}$ , $^\circ\text{C}$	132,19	73,56	70,48
Теплове навантаження $Q$ , кВт	1082	3772	1642

Расчет коэффициентов теплопередачи.

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.11)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнти тепловіддачі від сконденсованої пари до стінки і від стінки до киплячого розчину відповідно, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$\sum \frac{\delta}{\lambda}$  – сума термічних опорів забруднень стінки і накипу, (м<sup>2</sup>·К/Вт);

$\Delta t_1$  – різниця температур між гріючою парою і стінкою з боку пари

в першому корпусі, °С.

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  розраховуємо за рівнянням:

$$\alpha_1 = 2,04 \sqrt[4]{\frac{r_{r1} \cdot \rho_{ж1}^2 \cdot \lambda_{ж1}^3}{\mu_{ж1} \cdot H \cdot \Delta t_1}} \quad (2.12)$$

де  $r_{r1}$  – питома теплота пароутворення ,

$\rho_{ж1}, \lambda_{ж1}, \mu_{ж1}$  – відповідно щільність (кг/м<sup>3</sup>), теплопровідність (Вт/м<sup>2</sup>) та в'язкість конденсату (Па·с) при середній температурі плівки.

Спочатку приймемо  $\Delta t_1 = 1,5$  °С

$$t_{n1} = t_{en1} - \frac{\Delta t_1}{2} = 142,9 - \frac{1,5}{2} = 142,15 \text{ °С}$$

Значення фізичних величин конденсату [4]:

$$\rho_{ж1} = 986 \text{ кг/м}^3, \lambda_{ж1} = 0,686 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}, \mu_{ж1} = 0,09 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі обчислюємо за формулою (2.12):

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2141 \cdot 10^3 \cdot 986^2 \cdot 0,686^3}{0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 1,5}} = 12116 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

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

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  $\lambda_{ст} = 25,1 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ , товщина накипу  $\delta_{н} = 0,5$  мм, теплопровідність накипу  $\lambda_{н} = 2 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ .

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

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

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

Перепад температур на стінці:

$$\Delta t_{cm} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 12116 \cdot 1,5 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n1} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 10,71 - 6 - 1,5 = 3,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\alpha_2 = A \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{\lambda_1^{1,3} \cdot \rho_1^{0,5} \cdot \rho_{n1}^{0,06}}{\sigma_1^{0,5} \cdot r_{e1}^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c_1^{0,3} \cdot \mu_1^{0,3}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.13)$$

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

Значення величин, що характеризують властивості розчинів  $\text{KNO}_3$ , представлені в таблиці 2.4.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину в умовах природної циркуляції для бульбашкового режиму в вертикальних трубах обчислюємо за формулою (2.13):

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{0,581^{1,3} \cdot 1112^{0,5} \cdot 2,12^{0,06}}{0,058^{0,5} \cdot (2180 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3620^{0,3} \cdot (0,76 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = \\ &= 15,3 \cdot (12116 \cdot 1,5)^{0,6} = 5500 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 12116 \cdot 1,5 = 18174 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 5500 \cdot 3,21 = 17655 \text{ Вт/м}^2$$

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ					

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 2.4 - Фізичні властивості розчинів

Параметр	Корпус		
	1	2	3
Густина розчину $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1112	1148	1230
В'язкість розчину $\mu \cdot 10^3$ , Па·с	0,76	0,65	0,61
Теплопровідність розчину $\lambda$ , Вт/м·К	0,581	0,641	0,662
Поверхневий натяг $\sigma \cdot 10^3$ Н/м	58	63	89
Теплоємність розчину с, Дж/кг·К	3620	3205	2835
Густина пари $\rho_n$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	2,12	1,46	0,099
Питома теплота пароутворення $r_r$ , кДж/кг	2141	2182	2372
Питома теплота пароутворення $r_b$ , кДж/кг	2180	2336	2336

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 1-го корпусу по формулі (2.11):

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{12116} + 3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{5500}} = 1682 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі для другого корпусу  $K_2$ .

Спочатку прийmemo  $\Delta t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_{н2} = t_{з2} - \frac{\Delta t_1}{2} = 128,9 - \frac{10}{2} = 123,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

Значення фізичних величин конденсату [4]:

$$\rho_{ж1} = 996 \text{ кг/м}^3, \lambda_{ж1} = 0,68 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}, \mu_{ж1} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі обчислюємо за формулою (2.12):

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2182 \cdot 10^3 \cdot 996^2 \cdot 0,68^3}{0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10}} = 7368 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Перепад температур на стінці:

$$\Delta t_{cm} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 7368 \cdot 10 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 24,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n2} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 58,42 - 24,3 - 10 = 24,12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину в умовах природної циркуляції для бульбашкового режиму в вертикальних трубах обчислюємо за формулою (2.13):

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{0,641^{1,3} \cdot 1148^{0,5} \cdot 1,46^{0,06}}{0,063^{0,5} \cdot (2336 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3205^{0,3} \cdot (0,55 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = \\ &= 3,6 \cdot (7368 \cdot 10)^{0,6} = 2997 \frac{Вт}{м^2 \cdot К} \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 7368 \cdot 10 = 73680 \text{ } Вт / м^2$$

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 2997 \cdot 24,12 = 72288 \text{ } Вт / м^2$$

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 (2.11):

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{7368} + 3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{2997}} = 1251 \text{ } Вт / м^2 \cdot К$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24



Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі для третього корпусу К<sub>3</sub>.  
Спочатку прийmemo  $\Delta t_1 = 3 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_{n3} = t_{en3} - \frac{\Delta t_1}{2} = 53,6 - \frac{3}{2} = 52,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Значення фізичних величин конденсату [4]:

$$\rho_{ж1} = 1070 \text{ кг/м}^3, \lambda_{ж1} = 0,67 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \mu_{ж1} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі обчислюємо за формулою (2.12):

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2372 \cdot 10^3 \cdot 1070^2 \cdot 0,67^3}{0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 3}} = 9415 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перепад температур на стінці:

$$\Delta t_{cm} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 9415 \cdot 3 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 9,32 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n3} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 19,96 - 9,32 - 3 = 7,64 \text{ }^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину в умовах природної циркуляції для бульбашкового режиму в вертикальних трубах обчислюємо за формулою (2.13):

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{0,662^{1,3} \cdot 1230^{0,5} \cdot 0,099^{0,06}}{0,089^{0,5} \cdot (2336 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 2835^{0,3} \cdot (0,61 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = \\ &= 7,68 \cdot (9415 \cdot 3)^{0,6} = 3597 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 9415 \cdot 3 = 28245 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 3597 \cdot 7,64 = 27481 \text{ Вт/м}^2$$

Як видно  $q_1 \approx q_2$

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

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

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 3-го корпусу по формул (2.11):

$$K_3 = \frac{1}{\frac{1}{9415} + 3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{3597}} = 1400 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

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

$$F_1 = \frac{1082 \cdot 10^3}{1682 \cdot 10,71} = 60,1 \text{ м}^2$$

$$F_2 = \frac{4312 \cdot 10^3}{1251 \cdot 58,42} = 59 \text{ м}^2$$

$$F_3 = \frac{1642 \cdot 10^3}{1400 \cdot 19,96} = 58,8 \text{ м}^2$$

Отримані поверхні порівнюємо з певною ранньою  $F = 60 \text{ м}^2$ .

Різниця не перевищує 10%.

По ГОСТ 11987 – 81 [3] обираємо випарної апарат з поверхнею теплообміну  $F = 63 \text{ м}^2$  и довжиною труб  $l = 4 \text{ м}$ . Випишемо технічні характеристики випарного апарата (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика випарного апарата

Номінальна поверхня теплообміну, $F_H$	63 м <sup>2</sup>
Сортамент труб d×s	38×2 мм
Висота труб l	4000 мм
Діаметр гріючої камери D	800 мм
Діаметр сепаратора D <sub>1</sub>	1800 мм
Діаметр циркуляційної труби D <sub>2</sub>	500 мм
Загальна висота апарата H	11000 мм
Маса апарата M	7500 кг

### 2.3 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:

$$d_H = \sqrt{\frac{G_H}{\rho_H \cdot 0,785 \cdot w_H}}, \text{ м} \quad (2.14)$$

де  $G$  - витрата розчину,  $G = G_H = 2,83$  кг/с;

$\rho_H = 1084$  кг/м<sup>3</sup> – густина розчину при початковій температурі і концентрації [4];

$w_H = 0,5$  м/с – середня швидкість розчину.

$$d_H = \sqrt{\frac{2,83}{1084 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,082 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_H = 100$  мм

Діаметр штуцера для виходу упареного розчину:

$$d_K = \sqrt{\frac{G_K}{\rho_K \cdot 0,785 \cdot w_K}}, \text{ м} \quad (2.15)$$

де  $G = G_H - W_1 = 2,83 - 0,66 = 2,17$  кг/с

$w_K = 0,5$  м/с – швидкість упареного розчину на виході з 1-го корпусу;

$\rho_K = 1112$  кг/м<sup>3</sup> – густина упареного розчину на виході з 1-го корпусу

[4].

$$d_K = \sqrt{\frac{2,17}{1112 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,071 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_K = 100$  мм.

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

Діаметр штуцера для введення гріючої пари:

$$d_{\text{п}} = \sqrt{\frac{D}{\rho_{\text{п}} \cdot 0,785 \cdot w_{\text{п}}}}, \text{ м} \quad (2.16)$$

де  $\rho_{\text{п}} = 0,09789 \text{ кг/м}^3$  – густина пари в 3-му корпусі [4].

$$d_{\text{п}} = \sqrt{\frac{0,82}{0,09789 \cdot 0,785 \cdot 15}} = 0,5 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_{\text{п}} = 500 \text{ мм}$ .

Приймаємо діаметр штуцера для виведення гріючої пари  $d_{\text{п}} = 500 \text{ мм}$ .

## 2.4 Гідравлічний опір апарата

Витрата охолоджуючої води визначають з теплового балансу конденсатора:

$$G_{\text{в}} = \frac{W_3 \cdot (I_{\text{бк}} - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{к}})}{c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2.17)$$

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

$t_{\text{н}}$  – початкова температура охолоджуючої води, °С;

$t_{\text{к}}$  – кінцева температура суміші води і конденсату, °С.

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

$$t_{\text{к}} = t_{\text{бк}} - 3,0 = 53,6 - 3,0 = 50,6 \text{ °С}.$$

$$G_{\text{в}} = \frac{0,76 \cdot (2596000 - 4,19 \cdot 10^3 \cdot 50,6)}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (50,6 - 20)} = 14,13 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Діаметр барометричного конденсатора визначають з рівняння витрати:

$$d_{\text{бк}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W_3}{\rho \cdot \pi \cdot v}}, \text{ м} \quad (2.18)$$

де  $\rho$  – густина парів,  $\text{кг/м}^3$ ;

$v$  – швидкість парі,  $v = 15\text{-}25 \text{ м/с}$ .

$$d_{\text{бк}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,76}{0,098 \cdot 3,14 \cdot 20}} = 0,7 \text{ м}$$

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

Обираємо барометричний конденсатор діаметром  $d_{\text{БК}} = 800$  мм [3].

За нормаллями [3] внутрішній діаметр барометричної труби дорівнює  $d_{\text{БТ}} = 300$  мм.

Швидкість води в барометричній трубі:

$$v = \frac{4 \cdot (G_6 + W_3)}{\rho \cdot \pi \cdot d_{\text{БТ}}^2}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.19)$$

$$v = \frac{4 \cdot (14,13 + 0,76)}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,3^2} = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Висота барометричної труби:

$$H_{\text{БТ}} = \frac{B}{\rho_6 \cdot g} + \left( 1 + \sum \xi + \lambda \cdot \frac{H_{\text{БТ}}}{d_{\text{БТ}}} \right) \cdot \frac{v_6^2}{2 \cdot g} + 0,5, \text{ м} \quad (2.20)$$

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

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

$\lambda$  – коефіцієнт тертя в барометричній трубі;

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

$$B = P_{\text{атм}} - P_{\text{БК}} = 9,8 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^4 = 8,3 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

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

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  $Re$ :

$$Re = \frac{v_6 \cdot d_{\text{БТ}} \cdot \rho_6}{\mu_6} \quad (2.21)$$

$$Re = \frac{0,2 \cdot 0,3 \cdot 1000}{0,54 \cdot 10^{-3}} = 111100$$

Для гладких труб при  $Re = 111100$   $\lambda = 0,013$  [4].

$$H_{\text{БТ}} = \frac{8,3 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9,81} + \left( 1 + 1,5 + 0,013 \cdot \frac{H_{\text{БТ}}}{0,3} \right) \cdot \frac{0,2^2}{2 \cdot 9,81} + 0,5$$

Знаходимо, що  $H_{\text{БТ}} = 8,96$  м.

										Лист
										29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

## 2.5 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  $Q=1082$  кВт.

Розрахункова поверхня теплопередачі теплообмінника:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}, \text{ м}^2 \quad (2.22)$$

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.

$$\Delta t = 50 - 30 = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$F_p = \frac{1082 \cdot 10^3}{500 \cdot 20} = 108,2 \text{ м}^2$$

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

Конструктивні дані по апарату:

Внутрішній діаметр кожуха $D$ , мм	600
Сортамент труб	$20 \times 2$
Площа прохідного перерізу одного ходу по трубах, $\text{м}^2 \cdot 10^3$	1,6
Число ходів у трубному просторі	4
Довжина труб $l$ , мм	6000
Поверхня теплообміну, $\text{м}^2$	126

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні підігрівача:

$$\beta = \frac{F - F_{\text{MAX}}}{F} \cdot 100, \% \quad (2.23)$$

$$\beta = \frac{126 - 108,2}{126} \cdot 100 = 14 \%$$

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:

$$V_{EP} = \frac{g \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \text{ м}^3 \quad (2.24)$$

де  $g$  — витрата вихідного розчину,  $g = 10200$  кг/ч;

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

$\rho$  — густина вихідного розчину  $\rho = 1220$  кг/м<sup>3</sup> [4].

$$V_{EP} = \frac{10200 \cdot 7}{0,82 \cdot 1220} = 71,4 \text{ м}^3$$

Задаємося діаметром ємності  $D = 4$  м, тоді її висота буде дорівнювати:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}, \text{ м} \quad (2.25)$$

$$H = \frac{71,4}{0,785 \cdot 4^2} = 7,03 \text{ м}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

### 3 Розрахунки на міцність апарата

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки обичайки і днища

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

Внутрішній діаметр обичайки  $D = 800$  мм.

Надлишковий тиск в гріючій камері  $P = 0,3$  МПа.

За розрахункову температуру приймаємо:  $t = 133^\circ\text{C}$

Матеріал апарата – сталь 12Х18Н10Т.

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

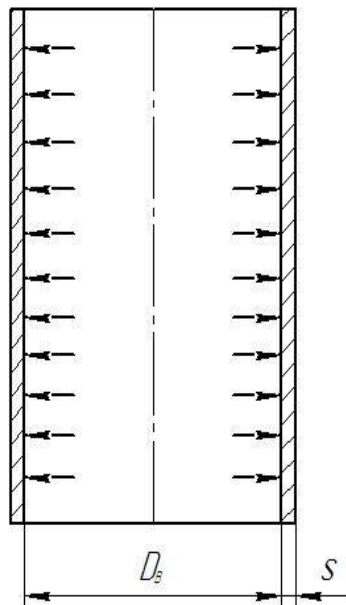


Рисунок 3 — Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском

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

$$P_p = 1,1 p = 1,1 * 0,3 = 0,33 \text{ МПа} \quad (3.1)$$

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [4] складе:

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

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

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



$[\sigma]_{20}=160$  МПа,  $[\sigma]=148$  МПа.

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,3 \cdot 160 / 148 \\ 0,33 + 0,3 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,49 \\ 0,63 \end{array} \right\} = 0,63 \text{ МПа}$$

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:

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

$$S_k = \frac{0,63 \cdot 0,8}{2 \cdot 148 \cdot 0,9 - 0,63} = 0,002 \text{ м}$$

Виконавча товщина стінки:

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

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

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

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

$\Pi = 0,4$  мм/год і терміні служби апарата  $\tau=10$  років складе

$$C_1=\Pi \tau=0,4 \cdot 10=4 \text{ мм};$$

$C_2$  – 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.

$$C = 4 + 0 + 0 = 4 \text{ мм}$$

										Лист
										33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$S = 0,002 + 0,004 = 0,006 \text{ м}$$

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

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot 148 \cdot 0,9 \cdot (0,008 - 0,004)}{0,8 + (0,008 - 0,004)} = 1,33 \text{ МПа}$$

Умова міцності має вигляд:

$P < [P]: 0,63 \text{ МПа} < 1,33 \text{ МПа}$ .

Умова міцності виконується.

Розрахунок товщини стінки днища

Розрахункова схема днища представлена на рис. 4.

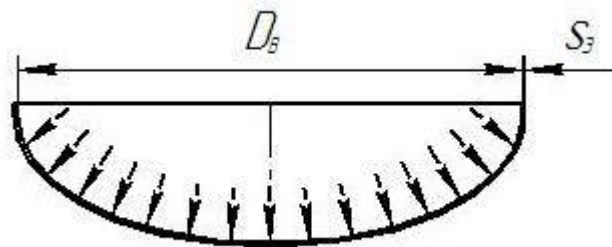


Рисунок 4 — Розрахункова схема днища апарата, навантаженого внутрішнім тиском

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  $R = D$

$$S_R = \frac{0,63 \cdot 0,8}{2 \cdot 148 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,63} = 0,002 \text{ м}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

Загальне значення прибавки до товщини стінки кришки, днища складе:

$$C = 4 + 0 + 0 = 4 \text{ мм}$$

$$S = 0,002 + 0,004 = 0,006 \text{ м}$$

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

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot (0,008 - 0,004) \cdot 0,9 \cdot 148}{0,8 + 0,5 \cdot (0,008 - 0,004)} = 1,33 \text{ МПа}$$

Що більше пробного, отже, умова міцності виконується.

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

## 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 монтажною зоною 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
											36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ

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

## 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 зачищають 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
										38
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 пневмомотора 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 розбризкуванню й окислюванню 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		39

## 5. Охорона праці

### Організація пожежної охорони промислових підприємств. Протипожежні вимоги щодо забезпечення вимушеної евакуації людей із будівель.

Враховуючи, що однією з найважливіших складових загальної безпеки будь-якого сучасного об'єкта є його надійний захист від пожеж, то і система управління пожежною безпекою має посісти відповідне місце у сфері загального управління [12].

Основними завданнями пожежної охорони є:

- здійснення контролю за дотриманням протипожежних вимог;
- запобігання пожежам і нещасним випадкам;
- гасіння пожеж, рятування людей та надання допомоги в ліквідації наслідків аварій, катастроф і стихійного лиха [13].

На жаль, у діючих нормативних актах з питань пожежної безпеки майже зовсім відсутні конкретні вимоги і практичні рекомендації щодо створення, впровадження та забезпечення функціонування систем управління пожежною безпекою для окремих галузей і різноманітних категорій об'єктів. Тому пропонується розглянути загальні питання стосовно системи управління пожежною безпекою (надалі - СУПБ) на прикладі підприємства.

Забезпечення пожежної безпеки на підприємствах здійснюється наступними основними компонентами виробництва:

- технічною системою, яка передбачає надійність обладнання, використання безпечних технологій, визначає обсяг вибухопожежонебезпечних речовин, проектні рішення, впровадження систем виявлення та гасіння пожеж тощо;

- персоналом, його підготовкою, забезпеченням регламентами і правилами роботи;

- системою управління.

Організація діяльності підприємств щодо забезпечення пожежної безпеки повинна стати невід'ємною складовою частиною і пріоритетним завданням функціонування управлінь, структурних підрозділів, служб пожежної безпеки, посадових осіб і забезпечити контроль за показниками пожежної небезпеки, виконання протипожежних вимог, дотримання протипожежного режиму, аналіз пожежної небезпеки і протипожежного стану об'єктів, спеціальну підготовку персоналу, розробку, прийняття і реалізацію рішень щодо запобігання, обмеження розповсюдження та ліквідації пожеж, забезпечення безпеки людей і навколишнього середовища.

Рівень деталізації та складності СУПБ, обсяг необхідної документації та ресурсів визначаються в залежності від рівня пожежної небезпеки, масштабу та характеру діяльності підприємства.

Державне управління системою пожежної безпеки здійснюється Державною пожежною охороною та іншими органами державної виконавчої влади.

					ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



Підприємство повинно гарантувати забезпечення функціонування СУПБ і надати людські, матеріальні та фінансові ресурси, необхідні для реалізації завдань щодо забезпечення пожежної безпеки.

Управління пожежною безпекою досягається зміною стану підприємства (об'єкта) шляхом переведення його у менш небезпечний стан.

До основних функцій СУПБ відносяться:

1. Кількісна оцінка ризику (ймовірності виникнення пожежі).

Математичний розрахунок ризику, урахування його значення у планах локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, пожежогасіння, сертифікатах підприємств, деклараціях безпеки небезпечних промислових об'єктів, оцінках впливу на довкілля.

2. Регламентування пожежної безпеки.

Розробка, впровадження, нагляд за виконанням загальнодержавних, відомчих нормативних актів, інструкцій, положень, інших документів з питань пожежної безпеки, визначення та встановлення протипожежного режиму.

3. Забезпечення пожежної безпеки технологічних процесів, виробничого обладнання, будівель і споруд.

Систематичне проведення аналізу пожежної небезпеки, розробка і впровадження відповідних протипожежних заходів. Повне і своєчасне виконання приписів Держпожнадзора, служб пожежної безпеки, актів пожежно-технічних комісій.

4. Розробка і реалізація програм запобігання пожежам і зниження втрат від них.

Збалансоване покращення протипожежного стану та технічної системи підприємства, включаючи системи протипожежного захисту, підвищення кваліфікації і підготовки персоналу, вдосконалення правил і систем пожежної безпеки. Підготовка плану протипожежних заходів на основі передового досвіду споріднених підприємств, досліджень і розробок, вимог Державного пожежного нагляду, їхнє фінансування та контроль за виконанням.

5. Створення пожежної охорони, служби пожежної безпеки, забезпечення та організація їх діяльності.

Розробка та затвердження відповідних положень, планувальної та робочої документації. Визначення функцій, створення і впровадження механізму їх реалізації. Фінансове, матеріально-технічне та кадрове забезпечення.

6. Створення та організація роботи добровільних пожежних дружин і пожежно-технічних комісій.

Підготовка та прийняття рішення щодо створення ДПД і ПТК. Визначення та затвердження їх складу. Розробка, реалізація і контроль за виконанням обов'язків членів і планів роботи.

7. Організація вивчення правил пожежної безпеки, протипожежна пропаганда.

Визначення рівнів вивчення правил пожежної безпеки (хто має проходити протипожежні інструктажі, а хто і пожежно-технічний мінімум) для

										Лист
										41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

кожної посадової особи та працівника. Розробка і затвердження програм. Планування, організація і проведення навчання з питань пожежної безпеки і заходів протипожежної пропаганди.

#### 8. Дії при пожежах і надзвичайних ситуаціях.

Використання попередньо сформованих і підготовлених сил та засобів щодо захисту людей, локалізації і ліквідації пожеж і надзвичайних ситуацій, яке засноване на заздалегідь розроблених планах.

#### 9. Вдосконалення.

Розробка і чітке виконання планів, створення системи мотивації дій щодо забезпечення пожежної безпеки на усіх ділянках роботи, забезпечення контролю за прийняттям рішень і поточних дій усіх учасників процесу.

Органами управління СУПБ є:

- керівники підприємств;
- керівники структурних підрозділів та служб;
- фахівці служби пожежної безпеки;
- особи, призначені відповідальними за пожежну безпеку;
- добровільні пожежні дружини (команди);
- диспетчерські служби;
- охорона.

Об'єктами управління СУПБ є:

- керівники, посадові особи, персонал апаратів управління;
- власники, керівники, посадові особи та персонал підприємств;
- виробнича діяльність підприємств;
- пожежна безпека технологічних процесів, виробничого обладнання, будівель, споруд, речовин і матеріалів;
- виробниче та прилегле середовище.

Для введення в дію СУПБ підприємства:

- створюють служби пожежної безпеки або вводять посади для фахівців служби пожежної безпеки;
- визначають обов'язки керівників і посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки;
- встановлюють порядок взаємодії апаратів управління, окремих служб і структурних підрозділів щодо запобігання пожежам і їх гасінням.

Основні напрями і заходи щодо впровадження і забезпечення ефективного функціонування СУПБ:

#### 1. Організація та координація робіт в галузі пожежної безпеки.

Формування органів управління пожежною безпекою, визначення та встановлення прав і обов'язків посадових осіб, служб, підрозділів, відповідальних за пожежну безпеку.

#### 2. Планування роботи.

Розробка і формування комплексних, перспективних і поточних планів. Вибір оптимальних і пріоритетних напрямів здійснення протипожежних заходів, вкладення відповідних інвестицій.

						ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			42

### 3. Кадрове і професійне забезпечення.

Відбір спеціалістів і працівників, якісне комплектування служби пожежної безпеки, спеціальна підготовка, постановка завдань щодо забезпечення пожежної безпеки. Забезпечення потреби підприємства у кваліфікованих кадрах, спроможних забезпечити ефективне функціонування СУПБ.

### 4. Проектно-конструкторське забезпечення.

Розробка проектної та технічної документації на об'єкти та технологічні процеси, які створюються, будуються або реконструюються. Врахування у проектній технічній документації усіх вимог діючих нормативних актів з питань пожежної безпеки.

### 5. Технологічне забезпечення.

Приведення діючих технологічних процесів у відповідність до діючих стандартів з метою забезпечення необхідного рівня протипожежного захисту виробничих об'єктів нормативним, зниження пожежної небезпеки.

### 6. Технічне забезпечення.

Підтримання справності, безвідмовності, пожежної безпеки технологічного, інженерного, виробничого та допоміжного устаткування і обладнання. Зниження пожежної небезпеки за рахунок своєчасного та якісного обслуговування, проведення регламентів і планово-попереджувальних ремонтів устаткування та обладнання.

### 7. Енергетичне забезпечення.

Безперебійне забезпечення підприємства та відповідних систем протипожежного захисту потрібними енергетичними ресурсами. Звести до мінімуму, унеможливити виникнення аварійних ситуацій, перебоїв у роботі технічних систем протипожежного захисту.

### 8. Метрологічне забезпечення.

Підтримання у працездатному стані засобів вимірювань з метою одержання точної інформації. Отримання точної та оперативної інформації, визначення необхідних контрольних параметрів технологічних процесів, середовища тощо.

### 9. Матеріально-технічне забезпечення підприємств.

Придбання пожежної техніки, обладнання, первинних засобів пожежогасіння, фінансування монтажу та експлуатації систем протипожежного захисту, спеціального навчання та підготовки персоналу, програм управління та забезпечення пожежної безпеки, інших протипожежних заходів. Повне задоволення потреб підприємства у впровадженні необхідних заходів пожежної безпеки, виконанні приписів Держпожнагляду.

### 10. Правове забезпечення.

Створення умов для ефективного функціонування СУПБ на основі правового регулювання. Неприпустимість прийняття управлінських рішень і введення в дію документів, що не відповідають правовим нормам.

### 11. Інформаційне забезпечення.

					ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Формування інформаційного поля, в якому функціонує СУПБ. Накопичення необхідної маси інформації для прийняття вірних рішень щодо забезпечення пожежної безпеки.

12. Контроль за станом пожежної безпеки.

Організація контрольно-інспекційної діяльності щодо виконання всього комплексу протипожежних заходів. Запобігання діям персоналу, проектним, інженерним, технологічним, виробничим рішенням, що суперечать вимогам нормативних актів з питань пожежної безпеки.

13. Облік, аналіз та оцінка показників стану пожежної безпеки та функціонування СУПБ.

Одержання відповідної інформації для прийняття управлінських рішень на всіх рівнях СУПБ. Розробка прогнозів, перспективних планів, поліпшення загальних характеристик пожежної безпеки.

СУПБ має бути організаційною структурою, яка шляхом постійного моніторингу і періодичного аналізу повинна підтримувати ефективність функціонування з урахуванням змін внутрішніх і зовнішніх чинників.

Впровадження СУПБ повинно забезпечити сумісне виконання планових завдань у галузі пожежної безпеки всіма функціональними ланками підприємства. До участі у впровадженні СУПБ повинні залучатись всі працівники, починаючи з найвищих рівнів управління [1].

Керівники підприємств, а також уповноважені ними особи повинні суворо слідкувати за дотриманням протипожежного режиму, підготовкою планів евакуації та їх практичним відпрацюванням, утриманням евакуаційних шляхів і виходів у належному стані, щоб унеможливити нещасні випадки та затримку під час евакуації людей у разі виникнення пожеж.

Проведення організованої евакуації з виробничих та інших приміщень і будівель, запобігання проявам паніки і недопущення загибелі людей забезпечується шляхом:

- планування евакуації людей (складання плану евакуації з приміщення з розробленням схеми евакуаційних шляхів та виходів);
- визначення зон, придатних для розміщення евакуйованих з потенційно небезпечних зон;
- організації управління евакуацією;
- навчання людей діям під час проведення евакуації.

Працівники охорони в разі виявлення пожежі, спрацювання засобів пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння повинні діяти за заздалегідь розробленою інструкцією, в якій визначаються їхні обов'язки з контролю за додержанням протипожежного режиму. Заступаючи на чергування, вони зобов'язані пересвідчитися в тому, що шляхи евакуації не захарашено, а двері евакуаційних виходів у разі потреби без перешкод відчиняються.

На підприємстві має бути встановлено порядок оповіщення людей про пожежу, з яким необхідно ознайомити всіх працівників.

Після оповіщення про пожежу до початку евакуації проходить певна затримка залежно від того, яку із систем оповіщення було використано для повідомлення про надзвичайну ситуацію.

До всіх будівель і споруд необхідно забезпечити вільний доступ.

Противопожежні розриви між будинками, спорудами, відкритими майданчиками повинні відповідати вимогам будівельних норм. Їх не дозволяється захаращувати, використовувати для складування матеріалів, устаткування, стоянок транспорту, індивідуальних гаражів, будівництва тощо.

Територія підприємств та інших об'єктів повинна мати зовнішнє освітлення, яке забезпечує швидке знаходження пожежних драбин, протипожежного обладнання, евакуаційних виходів будинків та споруд.

На території промислових будівель чи споруд на видних місцях мають розміщуватися плани евакуації, таблички із зазначенням порядку виклику пожежної охорони, знаки місць розміщення первинних засобів пожежогасіння.

У разі перепланування приміщень, зміни їх функціонального призначення, застосування нового технологічного устаткування необхідно дотримуватися протипожежних вимог чинних нормативних документів будівельного та технологічного проектування. Не дозволяється зниження проектних меж вогнестійкості конструкцій та погіршення умов евакуації людей.

Стаціонарні зовнішні пожежні сходи, сходи на перепадах висот і огорожі на дахах будівель та споруд повинні утримуватися постійно справними та бути пофарбованими.

У разі необхідності встановлення на вікнах приміщень, де перебувають люди, ґрат, останні повинні розкриватися, розсуватися або зніматися. Під час перебування в цих приміщеннях людей ґрати має бути відчинено (знято).

Установлювати незнімні ґрати дозволяється у квартирах, банках, касах, складах, коморах, кімнатах для зберігання зброї і боєприпасів, на об'єктах торгівлі, розрахованих на одночасне перебування до 50 осіб, та в інших випадках, передбачених нормами і правилами, затвердженими в установленому порядку.

Як евакуаційні виходи можуть використовуватись дверні отвори, якщо вони ведуть з приміщень:

- безпосередньо назовні;
- на сходовий майданчик з виходом назовні безпосередньо або через вестибюль;
- у прохід або коридор з безпосереднім виходом назовні або на сходову майданчик;
- у сусідні приміщення того ж поверху з вогнестійкістю не нижче III ступеня, що не містять виробництв, які належать за вибухопожежною та пожежною небезпекою до категорій А, Б і В і мають безпосередній вихід назовні або на сходовий майданчик.

							ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				45

У разі потреби при вимушеній евакуації можуть використовуватися виходи, якими не користуються при звичайному русі (так звані запасні виходи).

До евакуаційних шляхів відносять такі, які ведуть до евакуаційного виходу і забезпечують рух протягом певного часу.

Найпоширенішими шляхами евакуації є проходи, коридори, сходи, тамбури, фойє, холи, вестибюлі.

Наявність та напрямок руху до евакуаційних шляхів та виходів має бути позначено відповідними знаками безпеки згідно з ГОСТ 12.4.026-76 та змінами, внесеними в нього ДСТУ ISO 6309:2007.

Для безпечної евакуації шляхи та виходи мають відповідати таким вимогам:

- евакуаційні шляхи і виходи повинні утримуватися вільними, не захаращуватися та у разі потреби забезпечувати евакуацію всіх людей, які перебувають у приміщеннях;
- кількість та розміри евакуаційних виходів, їх конструктивні рішення, умови освітленості, забезпечення незадимленості, протяжність шляхів евакуації, їх оздоблення повинні відповідати протипожежним вимогам будівельних норм;
- якщо евакуаційні виходи і шляхи евакуації з будівель, які є пам'ятками архітектури та історії, неможливо привести у відповідність до вимог будівельних норм, то їх експлуатація дозволяється за наявності проектної документації, узгодженої з органами державного пожежного нагляду відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів;
- у разі розміщення технологічного, експозиційного та іншого обладнання у приміщеннях повинні забезпечуватися евакуаційні проходи до сходових майданчиків та інших шляхів евакуації відповідно до будівельних норм;
- розміщення крісел в актових і конференц-залах, залах зборів і нарад та в інших подібних приміщеннях повинно відповідати протипожежним вимогам будівельних норм;
- у приміщенні, яке має один евакуаційний вихід, дозволяється одночасно розміщувати не більше 50 осіб. При перебуванні в приміщенні понад 50 осіб, в ньому повинно бути щонайменше два виходи, які відповідають вимогам будівельних норм;
- двері на шляхах евакуації повинні відчинятися в напрямку виходу з будівель (приміщень). Допускається влаштування дверей з відчиненням усередину приміщення у разі одночасного перебування в ньому щонайбільше 15 осіб, а також у санвузлах, з балконів, лоджій, майданчиків зовнішніх евакуаційних сходів (за винятком дверей, що ведуть у повітряну зону незадимлюваного сходового майданчика);
- за наявності людей у приміщенні двері евакуаційних виходів можуть замикатися лише на внутрішні запори, які легко відмикаються;

					ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

- килими, килимові доріжки й інше покриття підлоги у приміщеннях з масовим перебуванням людей повинні надійно кріпитися до підлоги і бути помірно небезпечними щодо токсичності продуктів горіння, мати помірну димоутворювальну здатність;
- сходові марші та майданчики повинні мати справні огорожі із поруччям, які не повинні зменшувати їх ширину, встановлену будівельними нормами.

На сходових майданчиках (за винятком незадимлюваних) дозволяється встановлювати прилади опалення, сміттепроводи, поверхові сумісні електрощити, поштові скриньки та пожежні крани за умови, що це обладнання не зменшує нормативної ширини проходу сходовими майданчиками та маршами.

На незадимлюваних сходових майданчиках допускається встановлювати лише прилади опалення.

Сходові майданчики, внутрішні відкриті та зовнішні сходи, коридори, проходи та інші шляхи евакуації мають забезпечуватися евакуаційним освітленням відповідно до вимог будівельних норм та правил улаштування електроустановок. Світильники евакуаційного освітлення повинні вмикатися з настанням сутінків у разі перебування в будівлі людей.

Шляхи евакуації, які не мають природного освітлення, повинні постійно освітлюватися електричним світлом (у разі наявності людей).

У готелях, лікувальних закладах, приміщеннях інших громадських і допоміжних будівель, де можуть перебувати одночасно більше 100 осіб, у виробничих приміщеннях без природного освітлення за наявності більше 50 працівників (або якщо площа перевищує 150 кв. м), а також в інших випадках, зазначених у нормативно-правових документах, евакуаційні виходи повинні позначатися світловими покажчиками з написом «Вихід» білого кольору на зеленому фоні, підключеними до джерела живлення евакуаційного (аварійного) освітлення, або такими, що переключаються на нього автоматично у разі зникнення живлення на основних джерелах живлення.

Світлові покажчики «Вихід» повинні постійно бути справними. У залах для глядачів, виставкових, актових залах та інших подібних приміщеннях їх слід вмикати на весь час перебування людей.

На випадок відключення електроенергії персонал будівель, де у вечірній та нічний час можливе масове перебування людей (кінотеатри, готелі, гуртожитки, ресторани, лікарні, інтернати, дитячі дошкільні заклади тощо), повинен мати електричні ліхтарі. Кількість ліхтарів визначається адміністрацією, з огляду на особливості об'єкта, наявність чергового персоналу, кількість людей у будівлі (але не менше одного ліхтаря на кожного працівника, який чергує на об'єкті у вечірній або нічний час).

При влаштуванні евакуаційних шляхів та виходів не допускається:

- улаштовувати на шляхах евакуації пороги, виступи, турнікети, двері розсувні, підйомні, такі, що обертаються;

- захищати шляхи евакуації меблями, обладнанням, різними матеріалами та готовою продукцією, навіть якщо вони не зменшують нормативну ширину;
- забивати, заварювати, замикати на навісні замки, болтові з'єднання та інші запори, що важко відчиняються зсередини, зовнішні евакуаційні двері будівель;
- застосовувати на шляхах евакуації (крім будівель V ступеня вогнестійкості) горючі матеріали для облицювання стін і стель, а також сходів та сходових майданчиків;
- розташовувати у тамбурах виходів, за винятком квартир та індивідуальних житлових будинків, гардероби, вішалки для одягу, сушарні, пристосовувати їх для торгівлі, а також зберігання, у тому числі тимчасового, будь-якого інвентарю та матеріалу;
- захищати меблями, устаткуванням та іншими предметами двері, люки на балконах і лоджіях, переходи в суміжні секції та виходи на зовнішні евакуаційні драбини;
- знімати встановлені на балконах (лоджіях) драбини;
- улаштовувати на сходових майданчиках приміщення будь-якого призначення, у т.ч. кіоски, ятки, а також виходи з вантажних ліфтів (підйомників), прокладати газопроводи, трубопроводи з ЛЗР та ГР, повітроводи;
- улаштовувати у загальних коридорах комори і вбудовані шафи, за винятком шаф для інженерних комунікацій;
- зберігати в шафах (нішах) для інженерних комунікацій горючі матеріали, а також інші сторонні предмети;
- розташовувати в ліфтових холах комори, кіоски, ятки тощо;
- установлювати телекамери в проходах таким чином, щоб вони перешкоджали евакуації людей;
- робити засклення або закладання жалюзі і отворів повітряних зон на незадимлюваних сходових майданчиках;
- знімати передбачені проектом двері вестибюлів, холів, тамбурів і сходових майданчиків;
- замінити армоване скло на звичайне у дверях та фрамугах всупереч передбаченому за проектом;
- знімати пристрої для самозачинення дверей сходових майданчиків, коридорів, холів, тамбурів тощо, а також фіксувати самозакривні двері у відчиненому положенні;
- розвішувати на сходових майданчиках на стінах стенди, панно тощо;
- улаштовувати слизьку підлогу на шляхах евакуації [14].



## Література

1. Лазинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А.А. Лазинский, А.Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
2. Лазинский 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 втузов / 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. Фармазов С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С.А. Фармазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
12. Організація пожежної охорони промислових підприємств [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/3270560/page:4/>
13. Білим П.А. Основи пожежної безпеки : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 – Цивільна безпека / П.А. Білим. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 45 с.

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

14. Вимоги пожежної безпеки до утримання евакуаційних шляхів і виходів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://korosten-rada.gov.ua/news/upravlinnya-z-nadzvichaynih-situatsiy/pamyatka-vimogi-pozhezhnoyi-bezpeki-do-utrimannya-evakuatsiynih-shlyahiv-i-vihodiv.html>
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
						50
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		