

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 05050315
"Обладнання хімічних виробництв
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Виробництво нітрату калію. Розробити
випарний апарат з примусовою циркуляцією розчину

Виконав:
студент групи ХМдн-51р
Мазепа Олег Сергійович

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 05050315

"Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"

Курс 5 Група ХМдн-51р Семестр 10

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Мазепа Олег Сергійович

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

2 Вихідні дані: Розробити випарний апарат з примусовою циркуляцією розчину продуктивністю 4,3 кг/с. Температура вихідного розчину становить 32°C. Початкова концентрація розчину – 15 % мас., а кінцева – 54 % мас. Кількість корпусів – 3. Тиск грючої пари у першому корпусі 0,35 МПа.

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

- | | |
|---|------------|
| 1. <u>Технологічна схема випарної установки</u> | – 1,0 арк. |
| 2. <u>Складальний кресленик апарата</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Кресленики складальних одиниць</u> | – 1,0 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: 51 с., 5 рис., 1 додаток, 18 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема випарної установки, складальний кресленник апарата, складальний кресленник циркуляційної труби, складальний кресленник люка – усього 4 аркуша графічної частини (3×А1).

Тема кваліфікаційної роботи: «Виробництво нітрату калію. Розробити випарний апарат з примусовою 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» розглянуто параметри, що визначають пожежну небезпеку горючих газів, рідин та твердих речовин, а також поняття про процеси горіння та вибуху.

Ключові слова: НІТРАТ КАЛІЮ, УСТАНОВКА, ВИПАРНИЙ АПАРАТ, ПРИМУСОВА ЦИРКУЛЯЦІЯ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ, РОЗРАХУНОК.

Зміст

Вступ	С. 5
1 Технологічна частина	6
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
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	12
2.1 Матеріальні баланси і технологічні розрахунки	12
2.2 Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки	18
2.3 Конструктивні розрахунки	25
2.4 Гідравлічні розрахунки	27
2.5 Вибір допоміжного обладнання	30
3 Розрахунки на міцність апарата	33
3.1 Розрахунок товщини стінки обичайки і днища	33
4 Монтаж і ремонт апарата	37
4.1 Монтаж випарного апарата	37
4.2 Ремонт випарного апарата	38
5 Охорона праці	40
Література	50
<i>Додаток – Специфікації до складальних креслеників</i>	

					ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Мазепа			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Яхненко				4	51
Реценз.					СумДУ, ХМдн – 51р		
Н. Контр.							
Затверд.		Склабінський					
Випарний апарат у виробництві KNO₃							
Пояснювальна записка							

Вступ

Нітрат калію (калійна селітра) – сіль азотної кислоти. Білий кристалічний порошок, без запаху. У природі утворює мінерал, який називають калійною (або індійською) селітрою. У харчовій промисловості зареєстрований як консервант E252.

За фізичними властивостями – це безбарвні ромбічні або тригональні кристали, щільність яких дорівнює 2,109 г/см³. Розчинний у воді й мало розчинний у спирті й етері. Молярна електропровідність при нескінченному розведенні при 25 °С дорівнює 144,96 См·см²/моль.

При нагріванні виявляє окиснювальні властивості. Є активним реактивом, при температурі вище 400 °С розкладається на нітрит калію і кисень, тому в лабораторіях використовують для отримання кисню. Також використовують для отримання манганатів.

В основному KNO₃ використовується як добриво. Із давніх-давен використовувався в піротехніці, зокрема, як основний компонент чорного пороху. Також використовують як окислювач. Використовується у деяких зубних пастах.

Нітрат калію отримують методом випарювання розчину зі збільшенням концентрації кінцевого продукту. У нашому випадку використовується трьохкорпусна випарна установка з примусовою циркуляцією розчину.

Фізична сутність процесу випарювання полягає у перетворенні частини розчинника на пару. Слід розрізняти випарювання та випаровування – випарювання на відміну від випаровування відбувається з усієї маси рідини за температури, що відповідає точці кипіння за певного тиску. У процесі кипіння перетворення рідини на пару відбувається не лише з поверхні, а й у середині парових пухирців, що утворюються в самій рідині.

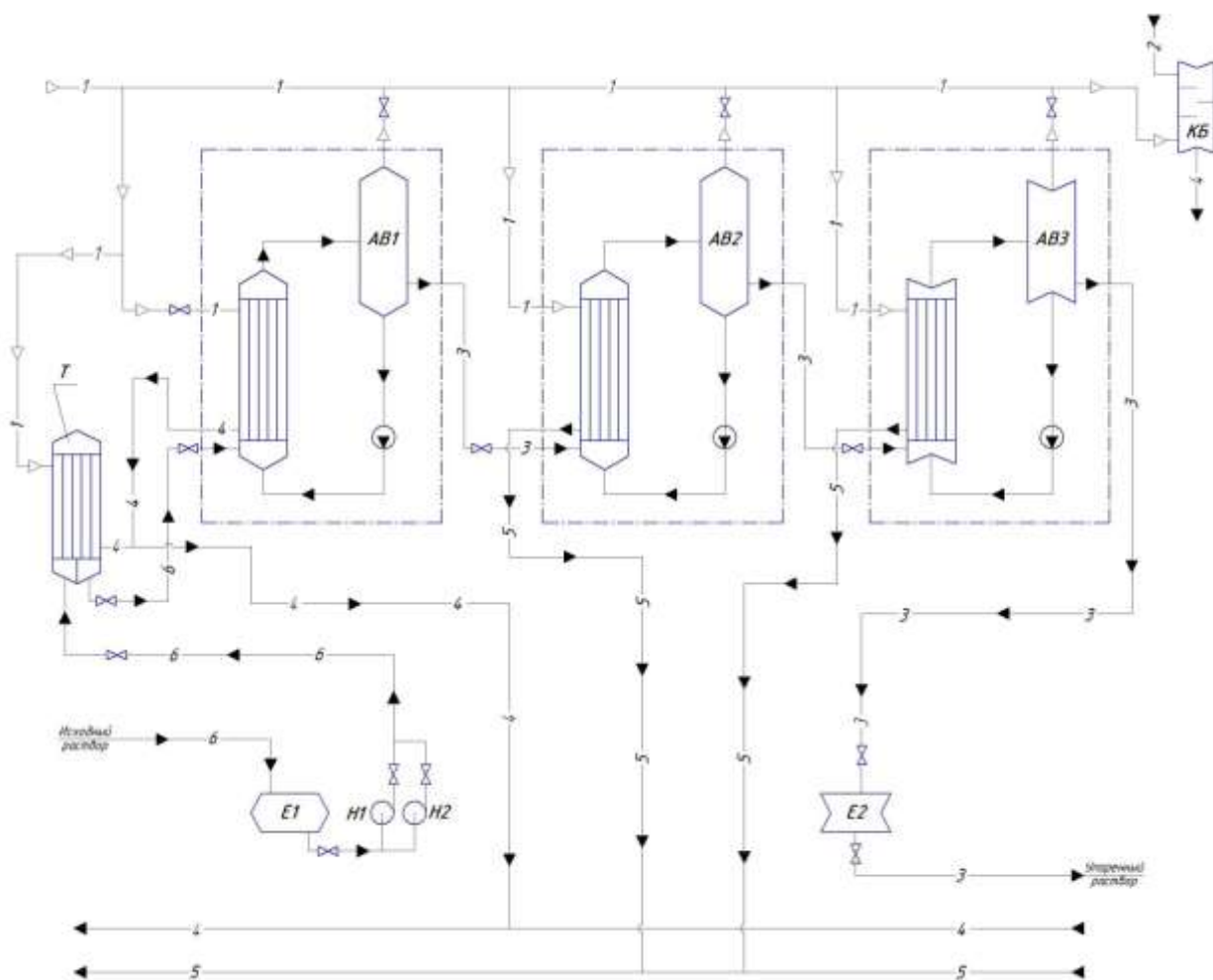
Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до розроблених методичних вказівок із застосуванням комп'ютерної техніки.

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

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Багаторазове випарювання проводять в декількох послідовних 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 призводить до значної економії гріючої пари.



AB₁₋₃ - випарний апарат; *KB* – барометричний конденсатор;
H – насос; *T* – теплообмінник; *E₁₋₂* – ємність

Рисунок 1 – Багатокорпусна випарна установка з примусовою циркуляцією

Залежно від взаємного напрямку руху розчину і гріючої пари з корпусу в корпус розрізняють прямоточні і протиточні випарні установки, а також установки з паралельною та зі змішаною подачею розчину в апарати.

Найбільшого поширення в промислових умовах отримали прямоточні випарні установки (рисунок 1), в яких гріюча пара і випарений 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 нітрату калію в підігрівачі вихідного розчину б підігрівається гріючою парою до температури 32 °С. Далі він надходить в перший корпус 3-х корпусної випарної установки, в якій відбувається процес випаровування вихідного розчину. Далі цей частково упарений розчин самопливом перетікає в другий корпус випарної установки, а вторинна пара першого корпусу направляється в якості гріючої пари в другий корпус. Після другого корпусу частково упарений розчин самопливом перетікає в третій корпус випарної установки, а вторинна пара другого корпусу направляється 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 об'язки, технологічних трубопроводів і регулюванню;
- знижена витрата гріючої пари (3-х кратне його використання);
- перетікання розчину з корпусу в корпус завдяки різниці тисків йде самопливом.

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

Для матеріального виконання комплектуючого установку устаткування застосовані сталі 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 концентрування розчинів практично нелетучих або малолетучих речовин в рідких летючих розчинниках.

При випаровуванні зазвичай здійснюється часткове видалення розчинника з усього обсягу розчину при його температурі кипіння. Основним завданням випарних установок є концентрування розчинів, виділення з розчинів розчинника у чистому вигляді.

Попутно з цими основними завданнями випарні установки постачають завод гарячою парою за рахунок відібраних вторинних парів, а також забезпечують котельні установки і інші технологічні потреби виробництва гарячими конденсаційними водами.

Випарні апарати бувають періодичної і безперервної дії.

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

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.*

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. Природна циркуляція може здійснюватися в обсязі апарату, або забезпечуватися спеціальними циркуляційними трубами. Примусова циркуляція організовується за допомогою насосів, мішалок або подачі пари (газу).

За кратності 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 донизу. Апарати зі спадаючої 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 концентрування - на апарати невеликих концентрацій і апарати високих концентрацій, які використовуються в однокорпусних установках і в останніх щаблях установки.

Найбільш поширеним теплоносієм в випарній техніці є водяна пара, тому в більшості випадків основний процес в гріючій камері - конденсація пари.

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

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

$$G_H = G_K + W$$

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

$$\frac{G_H \cdot b_H}{100} = \frac{G_K \cdot b_K}{100}$$

Для складання теплового балансу введемо позначення:

D – витрата гріючої пари;

I, I_2, i_H, i – ентальпія вторинної гріючої пари вихідного і упареного розчинів відповідно;

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

где c' – питома теплоємність, θ – 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 та випареної вологи, можна записати наступне приватна рівняння теплового балансу змішання 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 апарату;

K – коефіцієнт тепловіддачі;

F – поверхня нагріву;

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

Тоді поверхня нагріву дорівнює:

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

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

Корисна різниця температур в випарному апараті $\Delta t_{\text{пол}}$ являє собою різницю температури конденсації T , °С гріючої пари і температури кипіння t_k , °С випареного розчину.

$$\Delta t_{\text{пол}} = T - t_k$$

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

У верхній частині апарата розташований краплевідділювач. Днище сепаратора 2 пов'язане з трубою 3, яка за допомогою коліна перехідною камери підключена до нижньої трубної решітці гріючої камери 1.

Циркуляція розчину в апараті здійснюється по замкненому контуру: сепаратор 2 - циркуляційна труба 3 - гріюча камера 1 - сепаратор 2.

Кипіння розчину відбувається в трубі скипання при виході розчину в сепаратор. Кипіння в трубах запобігає за рахунок гідростатичного тиску стовпа рідини в трубі скипання.

Дійсну робочу висоту труби скипання 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 парожидкостної суміші в сепараторі.

Розчин, піднімаючись по трубах, перегрівається і при виході з труби скипання в сепаратор закипає. Новоутворена парорідинна суміш направляє тангенціально в сепаратор, де розділяється на рідку і парову фазу. Вторинний пар, проходячи сепаратор і краплевловлювач, звільняється від крапель і виходить з апарату через штуцер.

Для спостереження за роботою апарату передбачені оглядові вікна.

Апарат розрахований на безперервну роботу.

Конструкцією апарату передбачена можливість механічного чищення внутрішньої поверхні гріючих труб.

Конструкція апарату показана на рис. 2.

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

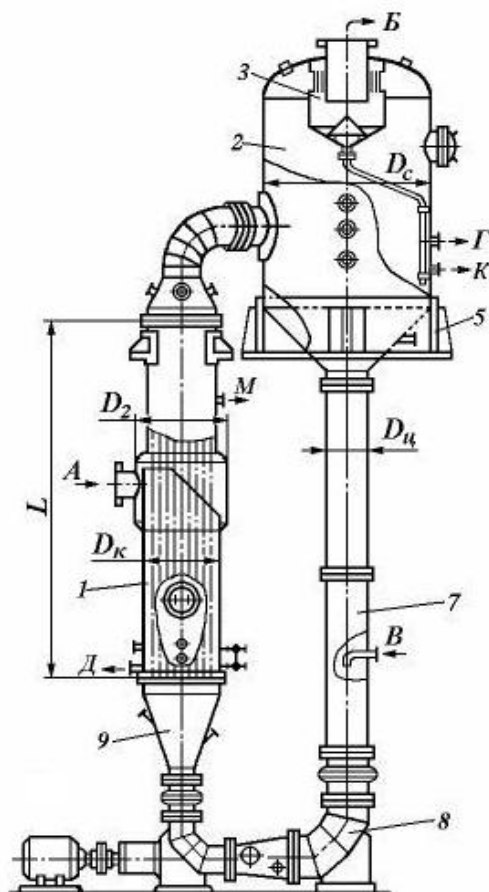
а) достатня загальна хімічна і корозійна стійкість в агресивному середовищі;

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

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

г) низька вартість матеріалу і освоєність його промисловістю.

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



1 – гріюча камера; 2 – сепаратор; 3 – краплевловлювач; 4 – труба скипання;
 5 – опора; 6 – коліно; 7 – циркуляційна труба; 8 – насос циркуляційний; 9 – камера нижня
 А – вхід гріючої пари; Б – вихід вторинної пари; В – вхід розчину;
 Г – вихід упареного розчину; Д – вихід конденсату; К – відбір проби; М – сдув
 несконденсованих газів

Рисунок 2 - Схема випарного апарата з примусовою циркуляцією і винесеною гріючою камерою

За рекомендацією [1] для водного розчину нітрату калію рекомендується корозійна сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72.

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

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ

Лист

11

2 Технологічні розрахунки процесу і 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 Δt_n , необхідно знати розподіл упареної 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 упареного розчину.

Визначаємо продуктивність установки по випареній воді:

$$W = G_H \cdot \left(1 - \frac{X_H}{X_K}\right), \text{ кг/с} \quad (2.2)$$

де G_H – кількість вихідного розчину, кг/с;

x_H, x_K – відповідно початкова і кінцева концентрації розчину, мас. частки.

$$W = \frac{15500}{3600} \cdot \left(1 - \frac{15}{54}\right) = 3,11 \text{ кг/с}$$

На підставі практичних даних приймають, що випарена вода розподіляється між корпусами у співвідношенні:

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

$$W_1 = \frac{1,0 \cdot W}{1,0 + 1,1 + 1,2} = \frac{1,0 \cdot W}{3,3} = \frac{1,0 \cdot 3,11}{3,3} = 0,94 \text{ кг/с}$$

$$W_2 = \frac{1,1 \cdot W}{3,3} = \frac{1,1 \cdot 3,11}{3,3} = 1,04 \text{ кг/с}$$

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

$$W_3 = \frac{1,2 \cdot W}{3,3} = \frac{1,2 \cdot 3,11}{3,3} = 1,13 \text{ кг/с}$$

Перевірка $W = W_1 + W_2 + W_3 = 0,94 + 1,04 + 1,13 = 3,11 \text{ кг/с}$

Розраховуємо концентрації розчинів в корпусах:

$$X_1 = \frac{G_n \cdot X_n}{G_n - W_1} = \frac{4,31 \cdot 0,15}{4,31 - 0,94} = 0,19 \text{ кг/кг (19\%)}$$

$$X_2 = \frac{G_n \cdot X_n}{G_n - W_1 - W_2} = \frac{4,31 \cdot 0,15}{4,31 - 0,94 - 1,04} = 0,28 \text{ кг/кг (28\%)}$$

$$X_3 = \frac{G_n \cdot X_n}{G_n - W_1 - W_2 - W_3} = \frac{4,31 \cdot 0,15}{4,31 - 0,94 - 1,04 - 1,13} = 0,54 \text{ кг/кг (54\%)}$$

Концентрація в 3-му корпусі відповідає заданій X_k .

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

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

Визначення температур гріючої пари.

Прийmemo, що перепад тиску в установці ΔP розподіляється між корпусами порівну:

$$\Delta P = \frac{P_{21} - P_{\text{б.к.}}}{3} = \frac{0,35 - 0,04}{3} = 0,103 \text{ МПа}$$

де P_{21} – тиск гріючої пари в 1-му корпусі, $P_{21} = 0,35 \text{ МПа}$;

$P_{\text{б.к.}}$ – тиск пара в барометричному конденсаторі, МПа.

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

Тоді тиск гріючих парів, МПа, в корпусах становить:

$$\Delta P = P_{Г1} - P_{\text{бк}} = 0,35 - 0,04 = 0,31 \text{ МПа}$$

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

$$P_{\Gamma 2} = P_{\Gamma 1} - \frac{\Delta P}{3} = 0,35 - \frac{0,31}{3} = 0,247 \text{ МПа}$$

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
$P_{21} = 0,35$	$t_{21} = 137,9$	$I_1 = 2737$
$P_{22} = 0,247$	$t_{22} = 125,9$	$I_2 = 2720$
$P_{23} = 0,04$	$t_{23} = 75,4$	$I_3 = 2632$

Визначення температурних втрат.

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

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

Прийmemo $\Delta''' = 1$ град.

Тоді температура вторинних парів в корпусах рівні:

$$t_{ВП1} = t_{\Gamma 2} + \Delta''' = 125,9 + 1 = 126,9 \text{ град}$$

$$t_{ВП2} = t_{\Gamma 3} + \Delta''' = 75,4 + 1 = 76,4 \text{ град}$$

$$t_{ВП3} = t_{\Gamma 3} + \Delta''' = 75,4 + 1 = 76,4 \text{ град}$$

Сума гідродинамічних депресій:

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

За температур вторинних парів визначимо їх тиск [4]:

$$P_{ен1} = 0,25 \text{ МПа}; P_{ен2} = 0,042 \text{ МПа}, P_{ен3} = 0,042 \text{ МПа}.$$

б) Гідростатична депресія Δ'' обумовлюється наявністю гідростатичного ефекту, що полягає в тому, що внаслідок гідростатичного тиску стовпа рідини в трубах випарного апарата температура кипіння по висоті труб неоднакова. Величина Δ'' не може бути точно розрахована з огляду на те, того що розчин в трубах знаходиться в русі, причому величина Δ'' залежить від інтенсивності циркуляції і змінюється густина

парорідинної емульсії, що заповнює більшу частину висоти кип'ятильних труб.

Приблизно розрахунок Δ'' можливий на підставі визначення температури кипіння в середньому шарі труб. Величина Δ'' визначається як різниця температури кипіння в середньому шарі труб (t_{cp}) і температури вторинного пара ($t_{вп}$) і знаходиться за формулою:

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

Для того, щоб визначити t_{cp} , потрібно знайти тиск в середньому шарі (P_{cp}) і по цьому тиску визначити температуру в середньому шарі кип'ятильних труб. Щільність 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 (ΔP_{cp}) в цьому перерізі труб довжиною H :

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

де ρ - густина розчину [4], кг/м³;

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

ε – паронаповнення (об'ємна частка пара 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 примусовою циркуляцією $q = 40000-80000 \text{ Вт/м}^2$ [3].

Приймаємо $q = 40000 \text{ Вт/м}^2$ [3].

Поверхня теплопередачі 1-го корпусу орієнтовно буде дорівнює:

$$F_{op} = \frac{W_1 \cdot r_{вп1}}{q} = \frac{0,94 \cdot 2180 \cdot 10^3}{40000} = 51,2 \text{ м}^2$$

де $r_{вп1}$ – теплота паротворення вторинної пари, $r_{вп1} = 2180 \text{ кДж/кг}$ [4].

По ГОСТ 11987-81 для випарного апарату з примусовою циркуляцією і винесеною гріючою камерою велика поверхня – 63 м², при діаметрі труб $\text{Ø}38 \times 2 \text{ мм}$ і довжині труб $H = 6000 \text{ мм}$.

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

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

$$P_{1cp} = 0,25 + \frac{1130 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot (1 - 0,5)}{2 \cdot 9,8 \cdot 10^5} = 0,261 \text{ МПа}$$

$$P_{2cp} = 0,042 + \frac{1156 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot (1 - 0,5)}{2 \cdot 9,8 \cdot 10^5} = 0,054 \text{ МПа}$$

$$P_{3cp} = 0,042 + \frac{1235 \cdot 9,81 \cdot 4 \cdot (1 - 0,5)}{2 \cdot 9,8 \cdot 10^5} = 0,054 \text{ МПа}$$

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
$P_{1cp} = 0,261$	$t_{1cp} = 127,7$	$r_{ен1} = 2185$
$P_{2cp} = 0,054$	$t_{2cp} = 83,2$	$r_{ен2} = 2302$
$P_{3cp} = 0,054$	$t_{3cp} = 83,2$	$r_{ен3} = 2302$

Визначимо гідростатичну депресію по корпусам (формула 2.4):

$$\Delta_1'' = t_{1cp} - t_{ен1} = 127,7 - 126,9 = 0,8 \text{ град}$$

$$\Delta_2'' = t_{2cp} - t_{ен2} = 83,2 - 76,4 = 6,8 \text{ град}$$

$$\Delta_3'' = t_{3cp} - t_{ен3} = 83,2 - 76,4 = 6,8 \text{ град}$$

Сума гідростатичних депресій становить:

$$\sum \Delta'' = \Delta_1'' + \Delta_2'' + \Delta_3'' = 0,8 + 6,8 + 6,8 = 14,4 \text{ град}$$

Температурна депресія Δ' визначається за рівнянням:

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

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

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

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

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

$\Delta'_{атм1} = 1,7$ градус – для 1-го корпуса при $X_1 = 19\%$

$\Delta'_{атм2} = 2,6$ градус – для 2-го корпуса при $X_2 = 28\%$

$\Delta'_{атм3} = 6,5$ градус – для 3-го корпуса при $X_3 = 54\%$

Знаходимо значення Δ' по корпусах:

$$\Delta'_1 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(127,7 + 273)^2}{2185} \cdot 1,7 = 2,02 \text{ градус}$$

$$\Delta'_2 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(83,2 + 273)^2}{2302} \cdot 2,6 = 2,32 \text{ градус}$$

$$\Delta'_3 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(83,2 + 273)^2}{2302} \cdot 6,5 = 5,8 \text{ градус}$$

Сума температурних депресій дорівнює:

$$\sum \Delta' = \Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 = 2,02 + 2,32 + 5,8 = 10,14 \text{ градус}$$

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

$$t_{к1} = t_{c2} + \Delta'_1 + \Delta''_1 + \Delta'''_1 = 125,9 + 2,02 + 0,8 + 1 = 129,72 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{к2} = t_{c3} + \Delta'_2 + \Delta''_2 + \Delta'''_2 = 75,4 + 2,32 + 6,8 + 1 = 85,52 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{к3} = t_{c3} + \Delta'_3 + \Delta''_3 + \Delta'''_3 = 75,4 + 5,8 + 6,8 + 1 = 89 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Розрахунок корисної різниці температур.

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

Корисні різниці температур по корпусах рівні:

$$\Delta t_{n1} = t_{c1} - t_{к1} = 137,9 - 129,72 = 8,18 \text{ градус}$$

$$\Delta t_{n2} = t_{c2} - t_{к2} = 125,9 - 85,52 = 40,38 \text{ градус}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

$$\Delta t_{n3} = t_{z3} - t_{к3} = 89 - 75,4 = 13,6 \text{ град}$$

Загальна корисна різниця температур:

$$\sum \Delta t = \Delta t_{n1} + \Delta t_{n2} + \Delta t_{n3} = 8,18 + 40,38 + 13,6 = 62,16 \text{ град}$$

2.2 Теплові (енергетичні) баланси і розрахунки

Визначення теплових навантажень.

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

$$Q_1 = D \cdot I_{r1} = 1,03 \cdot \left[G_H \cdot c_H \cdot (t_{к1} - t'_H) + W_1 \cdot (I_{ен1} - c_\theta \cdot t_{к1}) \pm Q_{1\text{конц}} \right] \quad (2.7)$$

$$Q_2 = W_1 \cdot I_{r2} = 1,03 \cdot \left[(G_H - W_1) \cdot c_1 \cdot (t_{к2} - t_{к1}) + W_2 \cdot (I_{ен2} - c_\theta \cdot t_{к2}) \pm Q_{2\text{конц}} \right] \quad (2.8)$$

$$Q_3 = W_2 \cdot I_{r3} = 1,03 \cdot \left[(G_H - W_1 - W_2) \cdot c_2 \cdot (t_{к3} - t_{к2}) + W_3 \cdot (I_{ен3} - c_\theta \cdot t_{к3}) \pm Q_{3\text{конц}} \right] \quad (2.9)$$

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

$$I_{ен1} \approx I_{22}; I_{ен2} \approx I_{23}; I_{ен3} \approx I_{23}$$

Отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} Q_1 = D \cdot 2737 = 1,03 \cdot \left[4,5 \cdot 3,55 \cdot (129,72 - 127,9) + W_1 \cdot (2720 - 4,19 \cdot 129,72) \right] \\ Q_2 = W_1 \cdot 2720 = 1,03 \cdot \left[(4,5 - W_1) \cdot 3,04 \cdot (129,72 - 85,52) + W_2 \cdot (2632 - 4,19 \cdot 85,52) \right] \\ Q_3 = W_2 \cdot 2632 = 1,03 \cdot \left[(4,5 - W_1 - W_2) \cdot 3,024 \cdot (89 - 85,52) + W_3 \cdot (2632 - 4,19 \cdot 89) \right] \\ W = W_1 + W_2 + W_3 \end{cases}$$

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 концентрування 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.

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

$$t'_H = t_{\text{en1}} + \Delta'_H = 126,9 + 1 = 127,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$\Delta'_H = 1 \text{ град}$ – температурна депресія вихідного розчину при $X_H = 10\%$

Вирішуємо систему рівнянь:

$$D = 1,135 \text{ кг/с}$$

$$\text{Тоді } W_1 = 0,95 \text{ кг/с}; W_2 = 1,06 \text{ кг/с}; W_3 = 1,1 \text{ кг/с}$$

$$\text{Перевірка } W = 0,95 + 1,06 + 1,1 = 3,11 \text{ кг/с.}$$

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

Визначимо теплові навантаження:

$$Q_1 = 709 \text{ кВт}; Q_2 = 3465 \text{ кВт}; Q_3 = 1065 \text{ кВт}$$

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	0,95	1,06	1,1
Концентрація розчинів X , %	19	28	54
Тиск гріючих парів P_g , МПа	0,35	0,247	0,04
Температура гріючих парів t_{gn} , $^\circ\text{C}$	137,9	125,9	75,4
Температурні втрати, $\sum \Delta$, град	3,82	10,12	13,6
Температура кипіння розчину $t_{\text{кип}}$, $^\circ\text{C}$	129,72	89	85,52
Теплове навантаження Q , кВт	3106	2747	2895

Розрахунок коефіцієнтів теплопередачі.

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 α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від сконденсованої пари до стінки і від стінки до киплячого розчину відповідно, $Вт/м^2 \cdot К$;

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

Δt_1 – різницю температур між гріючою парою і стінкою з боку пари в першому корпусі, $^{\circ}С$.

Коефіцієнт тепловіддачі розраховуємо за рівнянням:

$$\alpha_1 = 2,04 \sqrt[4]{\frac{r_{г1} \cdot \rho_{ж1}^2 \cdot \lambda_{ж1}^3}{\mu_{ж1} \cdot H \cdot \Delta t_1}} \quad (2.12)$$

де $r_{г1}$ – питома теплота пароутворення,

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

Спершу приймемо $\Delta t_1 = 1 \text{ } ^{\circ}С$

$$t_{нп1} = t_{сп1} - \frac{\Delta t_1}{2} = 137,9 - \frac{1}{2} = 137,15 \text{ } ^{\circ}С$$

Значення фізичних величин конденсату [4]:

$$\rho_{ж1} = 990 \text{ } кг/м^3, \lambda_{ж1} = 0,68 \text{ } Вт/м \cdot К, \mu_{ж1} = 0,09 \cdot 10^{-3} \text{ } Па \cdot с$$

Коефіцієнт тепловіддачі обчислюємо за формулою (2.12):

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2156 \cdot 10^3 \cdot 990^2 \cdot 0,68^3}{0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 1}} = 12162 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

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

Припустимо, що сумарний термічний опір дорівнює сумарній термічних опорів 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 $\lambda_{ст} = 25,1$ $Вт/м \cdot К$, товщина накипу $\delta_{н} = 0,5$ мм, теплопровідність накипу $\lambda_{н} = 2$ $Вт/м \cdot К$.

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

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

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

Перепад температур на стінці:

$$\Delta t_{cm} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 12162 \cdot 1 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 4,01 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n1} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 8,18 - 4,01 - 1 = 3,17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину 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 KNO₃, 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):

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{0,584^{1,3} \cdot 1130^{0,5} \cdot 1,87^{0,06}}{0,06^{0,5} \cdot (2185 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3376^{0,3} \cdot (0,81 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = \\ &= 13,2 \cdot (12162 \cdot 1)^{0,6} = 3729 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 12162 \cdot 1 = 12162 \text{ Вт/м}^2$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 3729 \cdot 3,17 = 11821 \text{ Вт/м}^2$$

Як видно $q_1 \approx q_2$

Так як розбіжність між тепловими навантаженнями не перевищує 3%, то розрахунок коефіцієнтів α_1 та α_2 закінчуємо.

Таблиця 2.4 - Фізичні властивості розчинів KNO_3

Параметр	Корпус		
	1	2	3
Густина розчину $\rho, \text{кг/м}^3$	1130	1156	1235
В'язкість розчину $\mu \cdot 10^3, \text{Па} \cdot \text{с}$	0,81	0,61	0,57
Теплопровідність розчину $\lambda, \text{Вт/м} \cdot \text{К}$	0,584	0,611	0,652
Поверхневий натяг $\sigma \cdot 10^3 \text{ Н/м}$	60	67	90
Теплоємність розчину $c, \text{Дж/кг} \cdot \text{К}$	3376	3033	2965
Густина пари $\rho_n, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	1,87	1,62	0,246
Питома теплота пароутворення $r_2, \text{кДж/кг}$	2156	2168	2320
Питома теплота пароутворення $r_6, \text{кДж/кг}$	2185	2302	2302

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 1-го корпусу за формулою (2.11):

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{12162} + 3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{3729}} = 1470 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі для другого корпусу K_2 .
Спочатку приймемо $\Delta t_1 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_{н2} = t_{с2} - \frac{\Delta t_1}{2} = 128,9 - \frac{10}{2} = 123,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

Значення фізичних величин конденсату [4]:

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

$$\rho_{ж1} = 998 \text{ кг/м}^3, \lambda_{ж1} = 0,67 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \mu_{ж1} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі обчислюємо за формулою (2.12):

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2168 \cdot 10^3 \cdot 998^2 \cdot 0,67^3}{0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10}} = 6580 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перепад температур на стінці:

$$\Delta t_{cm} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 6580 \cdot 10 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 21,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n2} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 40,38 - 21,7 - 10 = 8,68 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{0,611^{1,3} \cdot 1156^{0,5} \cdot 1,62^{0,06}}{0,067^{0,5} \cdot (2336 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3033^{0,3} \cdot (0,61 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = \\ &= 9,48 \cdot (6580 \cdot 10)^{0,6} = 7374 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 6580 \cdot 10 = 65800 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 7374 \cdot 8,68 = 64006 \text{ Вт/м}^2$$

Як видно $q_1 \approx q_2$

Так як розбіжність між тепловими навантаженнями не перевищує 3%, то розрахунок коефіцієнтів α_1 та α_2 закінчуємо.

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 2-го корпусу за формулою (2.11):

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{6580} + 3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{7374}} = 1619 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

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

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі для третього корпусу K_3 .
Спочатку прийmemo $\Delta t_1 = 2 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_{n3} = t_{сн3} - \frac{\Delta t_1}{2} = 75,4 - \frac{2}{2} = 74,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Значення фізичних величин конденсату [4]:

$$\rho_{жс1} = 1075 \text{ кг/м}^3, \lambda_{жс1} = 0,66 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \mu_{жс1} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі обчислюємо за формулою (2.12):

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2320 \cdot 10^3 \cdot 1075^2 \cdot 0,66^3}{0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 2}} = 9280 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перепад температур на стінці:

$$\Delta t_{cm} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 9280 \cdot 2 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 6,12 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n3} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 13,6 - 6,12 - 2 = 5,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 780 \cdot q_1^{0,6} \cdot \frac{0,652^{1,3} \cdot 1235^{0,5} \cdot 0,246^{0,06}}{0,09^{0,5} \cdot (2302 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 2965^{0,3} \cdot (0,57 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = \\ &= 9,07 \cdot (9280 \cdot 2)^{0,6} = 3301 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \end{aligned}$$

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень:

$$q_1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 9280 \cdot 2 = 18560 \text{ Вт/м}^2$$

$$q_2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 3301 \cdot 5,48 = 18089 \text{ Вт/м}^2$$

Як видно $q_1 \approx q_2$

Так як розбіжність між тепловими навантаженнями не перевищує 3%, то розрахунок коефіцієнтів α_1 та α_2 закінчуємо.

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

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі для 3-го корпусу за формулою (2.11):

$$K_3 = \frac{1}{280 + 3,3 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{3301}} = 1350 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

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

$$F_1 = \frac{709 \cdot 10^3}{1470 \cdot 8,18} = 59 \text{ м}^2$$

$$F_2 = \frac{3465 \cdot 10^3}{1619 \cdot 40,38} = 53 \text{ м}^2$$

$$F_3 = \frac{1065 \cdot 10^3}{1350 \cdot 13,6} = 58 \text{ м}^2$$

Отримані поверхні порівнюємо з певною ранньою $F = 54 \text{ м}^2$.

Різниця не перевищує 10%.

По ГОСТ 11987 – 81 вибираємо випарної апарат з поверхнею теплообміну $F = 63 \text{ м}^2$ і довжиною труб $l = 6 \text{ м}$. Виписемо технічні характеристики випарного апарата (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 - Технічна характеристика випарного апарата

Номінальна поверхню теплообміну, F_H	63 м ²
Сортамент труб $d \times s$	38×2 мм
Висота труб l	6000 мм
Діаметр гріючої камери D	600 мм
Діаметр сепаратора D_1	1400 мм
Діаметр циркуляційної труби D_2	400 мм
Загальна висота апарата H	14000 мм
Маса апарата M	8300 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;

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

- 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, $G = G_H = 4,31$ кг/с;

$\rho_H = 1098$ кг/м³ – густина розчину при початковій концентрації [4];

$w_H = 1$ м/с – середня швидкість розчину.

$$d_H = \sqrt{\frac{4,31}{1098 \cdot 0,785 \cdot 1}} = 0,071 \text{ м}$$

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 $G = G_H - W_1 = 4,31 - 0,95 = 3,36$ кг/с

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

$\rho_K = 1133$ кг/м³ – густина упареного розчину на виході з 1-го корпусу

[4].

$$d_K = \sqrt{\frac{3,36}{1133 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,09 \text{ м}$$

Приймаємо $d_K = 100$ мм.

Діаметр штуцера для введення гріючої пари:

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

де $\rho_{II} = 0,2456$ кг/м³ – щільність пари в 3-му корпусі [4].

$$d_{II} = \sqrt{\frac{1,135}{0,2456 \cdot 0,785 \cdot 25}} = 0,485 \text{ м}$$

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

Приймаємо $d_n = 500$ мм.

Приймаємо діаметр штуцера для виведення гріючої пари $d_n = 500$ мм.

2.4 Гідравлічні розрахунки

Розрахунок продуктивності вакуум - насоса.

Продуктивність вакуумного насоса $G_{\text{возд}}$ визначається кількістю повітря, який необхідно видаляти з барометричного конденсатора:

$$G_{\text{возд}} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (W_4 + G_B) + 0,01 \cdot W_4, \text{ кг/с} \quad (2.17)$$

де $2,5 \cdot 10^5$ – кількість газу, що виділяється з 1-го кг води;

0,01 – кількість газу, що підсмоктується в конденсатор через нещільності на 1 кг пари.

Витрата охолоджуючої води визначають з теплового балансу конденсатора:

$$G_6 = \frac{W_3 \cdot (I_{\text{ок}} - c_6 \cdot t_k)}{c_6 \cdot (t_k - t_n)}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2.18)$$

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 парою та рідиною на виході з конденсатора приймаємо на 3 град. нище температури конденсації парів.

$$t_k = t_{\text{ок}} - 3,0 = 75,4 - 3,0 = 72,4 \text{ °С.}$$

$$G_6 = \frac{1,1 \cdot (2632000 - 4,19 \cdot 10^3 \cdot 72,4)}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (72,4 - 20)} = 11,67 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

За формулою (2.17) обчислюємо продуктивність вакуум-насоса:

$$G_{\text{возд}} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (1,1 + 11,67) + 0,01 \cdot 1,1 = 11,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Об'ємна продуктивність вакуум-насоса дорівнює:

$$V_{\text{возд}} = \frac{R \cdot (273 + t_{\text{возд}}) \cdot G_{\text{возд}}}{M_{\text{возд}} \cdot P_{\text{возд}}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.19)$$

де $R = 8310$ Дж/кмоль·К – універсальна газова стала;

$M = 29$ кг/кмоль – молекулярна маса повітря;

$t_{\text{возд}}$ – температура повітря, °С;

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

$P_{\text{возд}}$ – парціальний тиск сухого повітря в барометричному конденсаторі, Па.

Температура повітря:

$$t_{\text{возд}} = t_n + 4 + 0,1 \cdot (t_k - t_n) = 20 + 4 + 0,1 \cdot (89 - 20) = 30,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тиск повітря:

$$P_{\text{ВОЗД}} = P_{\text{БК}} - P_{\text{П}}, \text{ Па} \quad (2.20)$$

де P_n – тиск сухої насиченої пари при $t_{\text{возд}}$, Па.

При $t_{\text{возд}} = 30,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ $P_n = 0,005 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ [4].

$$P_{\text{возд}} = (0,04 - 0,005) \cdot 9,8 \cdot 10^4 = 0,035 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$V_{\text{возд}} = \frac{8310 \cdot (273 + 30,9) \cdot 11,73 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 0,035 \cdot 9,8 \cdot 10^4} = 0,3 \text{ м}^3 / \text{с} = 17,9 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Знаючи об'ємну продуктивність повітря $V_{\text{возд}}$ і залишковий тиск в конденсаторі $P_{\text{БК}}$ [4], підбираємо циркуляційний насос типу ВВН – 50 з потужністю на валу $N_n = 94 \text{ кВт}$.

Розрахунок насоса.

Потужність на валу насоса, кВт:

$$N_n = \frac{Q \cdot \rho_n \cdot g \cdot H}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_{\text{пер}}}, \text{ кВт} \quad (2.21)$$

де Q – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

H – напір, що розвивається насосом, м;

η_n – ККД насоса, $\eta_n = 0,4 - 0,9$.

$\eta_{\text{пер}}$ – ККД передачі, для відцентрового насоса $\eta_{\text{пер}} = 1,0$.

Напір насоса:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_n \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{\text{П}}, \text{ м} \quad (2.22)$$

де P_1 – тиск в ємності для вихідного розчину (атмосферний), Па;

P_2 – тиск вторинної пари в 1-му корпусі, Па;

H_{Γ} – геометрична висота підйому розчину, м, $H_{\Gamma} = 8 - 15 \text{ м}$;

h_n – напір, що втрачається на подолання гідравлічних опорів (тертя і місцевих опорів) в трубопроводі і теплообміннику, м.

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

Втрати напору:

$$h_{\Pi} = h'_{\Pi} + h''_{\Pi} = \frac{W^2}{2 \cdot g} \cdot \left(1 + \frac{\lambda \cdot l}{d} + \Sigma \xi \right) + h''_{\Pi}, \text{ м} \quad (2.23)$$

де h'_{Π} и h''_{Π} – втрати напору відповідно в трубопроводі і в теплообміннику, м. Приймаємо згідно рекомендацій [7];

$$h''_{\Pi} = 0,2 \div 1,5 \text{ м};$$

W – швидкість розчину, м/с, $W = 0,5 \div 1,5$ м/с;

l, d – довжина і діаметр трубопроводу, м; $l = 10 \div 20$ м;

λ – коефіцієнт тертя;

$\Sigma \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

Діаметр трубопроводу з основного рівняння витрати:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0,785 \cdot W}} \quad (2.24)$$

$$d = \sqrt{\frac{0,004}{0,785 \cdot 1}} = 0,07 \text{ м}$$

$$Q = \frac{G_H}{3600 \cdot \rho_H} = \frac{15500}{3600 \cdot 1090} = 0,004 \text{ м}^3/\text{с}$$

Приймаємо $d = 100$ мм.

Для визначення коефіцієнта тертя λ розрахуємо величину Re :

$$Re = \frac{W \cdot d \cdot \rho_H}{\mu_H} \quad (2.25)$$

де ρ_H, μ_H – густина, $\text{кг}/\text{м}^3$ та в'язкість, $\text{Па} \cdot \text{с}$, вихідного розчину;
 $\rho_H = 1090 \text{ кг}/\text{м}^3$ [6];

W – швидкість розчину, м/с, $W = 0,5 \div 1,5$ м/с;

l, d – довжина і діаметр трубопроводу, м; $l = 10 \div 20$ м;

λ – коефіцієнт тертя;

$\Sigma \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів.

$$Re = \frac{1 \cdot 0,1 \cdot 1090}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 136250$$

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

Для гладких труб при $Re = 208700$ $\lambda = 0,009$ [4].

Сума коефіцієнтів місцевих опорів $\Sigma\xi$:

$$\Sigma\xi = \xi_{\text{ВХ}} + \xi_{\text{ВЫХ}} + \Sigma\xi_{\text{КОЛЕН}} + \Sigma\xi_{\text{ВЕНТ}} \quad (2.26)$$

Коефіцієнти місцевих опорів дорівнюють [4]:

ξ входу в трубопровід = 0,5;

ξ виходу з трубопроводу = 1,0;

ξ коліна з кутом $90^\circ = 0,55$ (для труби $d = 100$ мм);

ξ вентиля прямогоного $0,4 \cdot 0,93 = 0,372$ (для труби $d = 100$ мм).

$$\Sigma\xi = 0,5 + 1,0 + 3 \cdot 0,55 + 1 \cdot 0,372 = 3,522$$

Прийmemo втрати напору в теплообміннику

$$h''_{\text{П}} = 0,4 \text{ м}$$

$$H_{\text{Г}} = 1/2 \cdot H_{\text{аппарата}} + 2 \text{ м} = 9,5 + 2 = 11,5 \text{ м}$$

$$h_{\text{П}} = \frac{1^2}{2 \cdot 9,8} \cdot \left(\frac{0,016 \cdot 20}{0,1} + 3,522 + 1 \right) + 0,4 = 0,794 \text{ м}$$

Напір насоса розраховуємо за формулою (2.22):

$$H = \frac{(2,47 - 1) \cdot 9,8 \cdot 10^4}{1090 \cdot 9,8} + 11,5 + 0,794 = 25,78 \text{ м}$$

Розраховуємо потужність на валу насоса за формулою (2.18):

$$N_{\text{Н}} = \frac{4,1 \cdot 10^{-3} \cdot 1210,3 \cdot 9,8 \cdot 65,088}{1000 \cdot 0,65} = 36,8 \text{ кВт}$$

За [11] встановлюємо, що даними подачі і напору найбільше відповідає насос марки ЦНС 5-70, для якого в оптимальних умовах роботи $Q = 5 \cdot 10^{-2}$ м³/с, $H = 70$ м, $\eta = 0,74$.

Насос забезпечений електродвигуном А0-91-2 номінальною потужністю $N_{\delta} = 120$ кВт.

2.5 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір теплообмінника-підігрівача

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

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 $Q=3106$ кВт.

Розрахункова поверхню теплопередачі теплообмінника:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t}, \text{ м}^2 \quad (2.27)$$

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

Δt — різницю між температурами розчину і гріючої пари.

$\Delta t = 50 - 30 = 20$ °C.

$$F_p = \frac{3106 \cdot 10^3}{500 \cdot 20} = 310,6 \text{ м}^2$$

Вибираємо стандартний кожухотрубний теплообмінник з нерухомими трубними решітками [10].

Конструктивні дані по апарату:

Внутрішній діаметр кожуха D , мм	1000
Сортамент труб	25 × 2
Площа прохідного перерізу одного ходу по трубах, $\text{м}^2 \cdot 10^3$	25,9
Число ходів в трубному просторі	1
Довжина труб l , мм	6000
Поверхня теплообміну, м^2	352

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні підігрівача:

$$\beta = \frac{F - F_{\text{MAX}}}{F} \cdot 100, \% \quad (2.28)$$

$$\beta = \frac{352 - 310,6}{352} \cdot 100 = 12 \%$$

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 обсяг ємності:

$$V_{EP} = \frac{g \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \text{ м}^3 \quad (2.29)$$

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

де g — витрата вихідного розчину, $g = 15500$ кг/ч;
 τ — резерв робочого часу, $\tau = 7$ ч;
 ρ — густина вихідного розчину $\rho = 1232$ кг/м³ [4].

$$V_{EP} = \frac{15500 \cdot 7}{0,82 \cdot 1232} = 107,4 \text{ м}^3$$

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

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}, \text{ м} \quad (2.30)$$

$$H = \frac{107,4}{0,785 \cdot 4^2} = 8,6 \text{ м}$$

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

3 Розрахунки на міцність апарата

3.1 Розрахунок товщини стінки обичайки і днища

Для розрахунків виберемо перший корпус випарної установки через найбільший тиск в апараті.

Внутрішній діаметр обичайки $D = 600$ мм.

Надлишковий тиск в гріючій камері $P = 0,35$ МПа.

За розрахункову температуру приймаємо: $t = 150^\circ\text{C}$

Матеріал апарата – сталь 12Х18Н10Т.

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

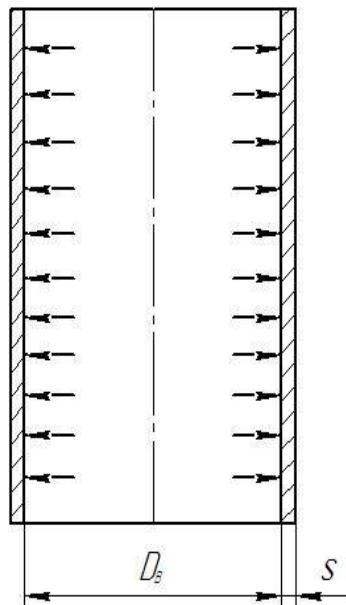


Рисунок 3 — Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском

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

$$P_p = 1,1p = 1,1 * 0,35 = 0,39 \text{ МПа} \quad (3.1)$$

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°C , згідно [8]:

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

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

$$P_{np} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,385 \cdot 160}{0,33 + 0,3}, \frac{160}{148} \right\} = \max \left\{ 0,62, 0,63 \right\} = 0,63 \text{ МПа}$$

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 проточності зварного шва згідно [4] складе: $\varphi = 1$.

Розрахунок товщини стінки обичайки корпусу

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

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

$$S_k = \frac{0,63 \cdot 0,6}{2 \cdot 146 \cdot 1 - 0,63} = 0,001 \text{ м}$$

Виконавча товщина стінки:

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

де c – загальне значення прибавки, яка складається зі складових збільшень:

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

де c_1 – прибавка на корозію і ерозію, при проникності

$\Pi = 0,4 \text{ мм/год}$ і терміні служби апарату $\tau = 15$ років складе

$$c_1 = \Pi \cdot \tau = 0,4 \cdot 15 = 6 \text{ мм};$$

c_2 – прибавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа, мм;

c_3 – технологічна надбавка, 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.

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

$$C = 6 + 0 + 0 = 6 \text{ мм}$$

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

Приймаємо $S = 0,010 \text{ м} = 10 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot 146 \cdot 1 \cdot (0,010 - 0,006)}{0,6 + (0,010 - 0,006)} = 1,93 \text{ МПа}$$

Умова міцності має вигляд:

$$P < [P]: 0,63 \text{ МПа} < 1,93 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок товщини стінки днища

Розрахункова схема днища представлена на рис. 4.

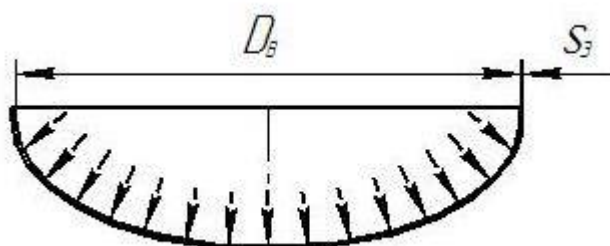


Рисунок 4 — Розрахункова схема днища апарата, навантаженого внутрішнім тиском

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, $R = D$

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

$$S_R = \frac{0,63 \cdot 0,6}{2 \cdot 149 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,63} = 0,001 \text{ м}$$

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 $S = 0,010 \text{ м} = 10 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

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

$$[p] = \frac{2 \cdot (0,010 - 0,006) \cdot 1 \cdot 146}{0,6 + 0,5 \cdot (0,010 - 0,006)} = 1,94 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$P < [P]: 0,63 \text{ МПа} < 1,94 \text{ МПа}$.

Умова міцності виконується.

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

4 Монтаж і ремонт апарата

4.1 Монтаж випарного апарата

Випарний апарат з примусовою циркуляцією має великі габарити і вага і поставляються на монтажний майданчик окремими вузлами або блоками: корпус гріючої камери; гріє камера; сепаратор; циркуляційні труби; циркуляційний насос; об'язувальні трубопроводи.

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

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 апарата.

Далі монтаж проводиться в такому порядку:

- проводиться підгонка і приєднання гріючої камери до встановленого корпусу гріючої камери;
- встановлюються циркуляційні труби;
- встановлюється циркуляційний насос;
- встановлюються засувки на всмоктуючий і напірний патрубку насоса і компенсатори;
- встановлюється сепаратор;
- монтуються об'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 апарату з виносної гріючої камерою в першу чергу ведеться монтаж сепаратора. Після закріплення корпусу апарату 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 греющую камеру з корпусом.

При монтажі випарних апаратів необхідно домагатися суворого збігу 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.

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

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

Сварка апарату повинна проводитися зварником, які мають право зварювати посудини, 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 штуцерів, призначеним для під'єднання трубопроводів, що зв'язують апарати між собою.

По закінченню монтажу апарат і обов'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 апарату.

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

4.2 Ремонт випарного апарата

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.

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

Після засверловки тріщину обробляють під зварювання за допомогою пневмомолотка і зубила або спеціального газового різачка. Ненаскрізнi тріщини обробляють односторонньої вирубкою країв на максимальну глибину під кутом 50-60°С. Наскрізнi 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.

Наскрізнi тріщини при значному розходженні країв, а також ділянки значного зносу, що утворилися в результаті корозії і ерозії, вирізають і на їх місці 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 апарата на внутрішній поверхні трубок гріючої камери утворюються тверді відкладення.

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, які 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, нерасплавлений флюс використовують вдруге.

					ПОХНВ.В 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

5. Охорона праці

Параметри, що визначають пожежну небезпеку горючих газів, рідин та твердих речовин. Поняття про процеси горіння та вибуху.

Із метою одержання початкових даних для розробки заходів щодо забезпечення пожежної та вибухової безпеки, при визначенні категорії та класу приміщень і будівель відповідно до вимог норм технологічного проектування, стандартів ССБТ, будівельних норм і правил, правил будови електроустановок встановлена номенклатура показників пожежо-вибухонебезпечності речовин і матеріалів.

У ГОСТ 12.1.044-89 «Пожежовибухонебезпека речовин і матеріалів. Номенклатура показників та методи їх визначення» наведено 20 показників, перелік яких за необхідності може бути розширений. Вибір показників, необхідних і достатніх для характеристики пожежовибухонебезпечності тих або інших речовин і матеріалів, залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу) та умов її застосування. Деякі найбільш важливі з них та їх застосовність для характеристики речовин у різних агрегатних станах наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники пожежо-вибухонебезпечності речовин і матеріалів

Показники	Агрегатний стан речовин і матеріалів			
	Гази	Рідини	Тверді	Пил
1. Горючість	+	+	+	+
2. Температура спалаху	-	+	-	-
3. Температура спалахування	-	+	+	+
4. Температура самоспалахування	+	+	+	+
5. Концентраційні межі поширення полум'я(спалахування)	+	+	-	+
6. Температурні межі поширення полум'я(спалахування)	-	+	-	-

7. Температурні умови теплового самозаймання	-	-	+	+
8. Здатність вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами	+	+	+	+
Примітка: Знак "+" означає застосування, а знак "-" – незастосування показника.				

Група горючості є кваліфікаційною характеристикою здатності речовин і матеріалів до горіння і застосовується для таких потреб:

- кваліфікації речовин і матеріалів за горючістю;
- визначення категорії і класу приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпечністю;
- при розробці заходів щодо забезпечення пожежної безпеки.

За горючістю речовини і матеріали поділяють на негорючі, важкогорючі та горючі.

Негорючі – це речовини і матеріали, які не здатні горіти у повітрі. Проте серед них можуть бути пожежонебезпечні, наприклад, окислювачі і речовини, що виділяють горючі продукти при взаємодії з водою, киснем повітря або з іншими речовинами. До негорючих речовин належать усі мінеральні та більшість штучних неорганічних матеріалів.

Важкогорючі – речовини і матеріали, що здатні горіти в повітрі при дії джерела запалювання, але не здатні самостійно горіти після його вилучення. Це можуть бути композиції, що складаються з органічного матеріалу і мінерального наповнювача.

Горючі – речовини і матеріали, що здатні займатися при дії джерела запалювання і самостійно горіти після його вилучення.

Температура спалаху – це найменша температура конденсованої речовини, при якій в умовах спеціальних випробувань над її поверхнею утворюються пари, що здатні спалахувати від джерела запалювання, але швидкість їх утворення при цьому недостатня для стійкого горіння.

Температура спалаху характеризує умови, за яких речовина стає пожежонебезпечною. Цей показник застосовується при класифікації рідин за ступенем пожежної небезпечності, при категоризуванні та класифікації приміщень і зон за пожежовибуховою небезпечністю, а також при розробці заходів пожежовибухобезпеки.

Температура спалахування – це найменша температура речовини, при якій в умовах спеціальних випробувань речовина виділяє горючі пари і гази з такою швидкістю, що при дії на них джерела запалювання спостерігається займання (тобто виникає стійке полум'яне горіння).

Температура спалахування характеризує здатність речовин до самостійного горіння і завжди буває вищою за температуру спалаху. Чим меншою є різниця між температурами спалаху і спалахування речовини, тим більш пожежонебезпечною є ця речовина.

Температура спалахування застосовується при встановленні групи горючості речовин, при оцінці пожежної небезпечності обладнання і технологічних процесів, при розробці заходів щодо забезпечення пожежовибухобезпеки.

***Концентраційні межі поширення полум'я.** Нижня (верхня) концентраційна межа поширення полум'я – це мінімальний (максимальний) вміст горючої речовини в однорідній суміші в окислювальному середовищі, при якому можливе поширення полум'я по суміші на будь-яку відстань від джерела запалювання.*

Концентраційні межі поширення полум'я застосовують при визначенні категорії та класу приміщень за вибухопожежонебезпечністю; при розрахунках вибухобезпечних концентрацій газів, парів і пилу всередині технологічного обладнання, а також у повітрі робочої зони з потенційними джерелами запалювання; при проектуванні вентиляційних систем; при розробці заходів з забезпечення пожежної безпеки.

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

Температурні межі поширення полум'я. Відомо, що концентрація насичених парів рідини перебуває у певному взаємозв'язку з її температурою. Використовуючи цю властивість, можна концентраційні межі насичених парів виражати через температуру рідини, при якій утворюються ці пари. Такі температури мають назву температурних меж поширення полум'я.

Температурні межі поширення полум'я – це такі температури речовини, при яких її насичена пара утворює в окислювальному середовищі концентрації, що дорівнюють, відповідно, нижній (нижня температурна межа) і верхній (верхня температурна межа) концентраційним межам поширення полум'я.

Температурні межі спалахування застосовуються при розрахунку пожежовибухонебезпечних температурних режимів роботи технологічного обладнання; оцінці аварійних ситуацій, пов'язаних з розлиттям горючих рідин; розрахунку концентраційних меж спалахування; а також для характеристики пожежної небезпечності рідин.

Температурні умови теплового самозаймання – це залежність між температурою оточуючого середовища, кількістю речовини (матеріалу) і часом до її самозаймання.

Мінімальну температуру середовища, при якій можливе самозаймання матеріалу, враховують при виборі безпечних умов зберігання та переробки самозаймистих речовин.

Здатність вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря та іншими речовинами (тобто при взаємному контакті речовин) – якісний показник, що характеризує особливу пожежну небезпечність речовин.

Дані про небезпечність взаємного контакту речовин наводять у стандартах і технічних умовах на речовину; їх використовують при категоризуванні приміщень за вибухопожежонебезпечністю; при виборі безпечних умов проведення технологічних процесів та умов спільного зберігання і транспортування речовин і матеріалів [12].

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

Для кращого розуміння умов утворення горючого середовища, джерел запалювання, оцінки та попередження вибухопожежонебезпеки, а також вибору ефективних заходів і засобів систем пожежної безпеки, потрібно мати уявлення про природу процесу горіння, його форми та види.

Горіння – екзотермічний процес, який охоплює окисно-відновні перетворення речовин і (або) матеріалів і характеризується наявністю летких продуктів і (або) світлового випромінювання. Для виникнення горіння необхідна одночасна наявність трьох чинників: горючої речовини, окисника та джерела запалювання. При цьому горюча речовина й окисник мають перебувати в необхідному співвідношенні один до одного й утворювати таким чином горючу суміш, а джерело запалювання мусить мати певну енергію та температуру, яка достатня для початку реакції.

Горючу суміш визначають терміном "горюче середовище". Це – середовище, здатне самостійно горіти після видалення джерела запалювання. Для повного згорання необхідна присутність достатньої кількості кисню, щоб забезпечити повне перетворення речовини на насичені оксиди. За недостатньої кількості повітря окислюється тільки частина горючої речовини. Залишок розкладається з виділенням великої кількості диму. У цих умовах також утворюються токсичні речовини, серед яких найбільш розповсюджений продукт неповного згорання – оксид вуглецю (СО), який може призвести до отруєння людей.

Слід зазначити, що горіння деяких речовин (ацетилену, оксиду етилену), які здатні при розкладанні виділяти велику кількість тепла, можливе й за відсутності окисника.

Горіння може бути гомогенним та гетерогенним. При гомогенному горінні речовини, що вступають у реакцію окислення, мають однаковий агрегатний стан – газо- чи пароподібний. Якщо початкові речовини перебувають у різних агрегатних станах і наявна межа поділу фаз у горючій системі, то таке горіння називають гетерогенним.

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

Пожежі переважно характеризуються гетерогенним горінням. У всіх випадках для горіння характерні три стадії: виникнення, поширення та згасання полум'я. Найбільш загальними властивостями горіння є здатність осередку полум'я пересуватися всією горючою сумішшю шляхом передачі тепла або дифузії активних часток із зони горіння у свіжу суміш. Звідси виникає й механізм поширення полум'я, відповідно – тепловий та дифузійний. Горіння здебільшого проходить за комбінованим теплодифузійним механізмом.

За швидкістю поширення полум'я горіння поділяють на:

- кінетичне (вибухове) – надзвичайно швидке хімічне перетворення, що супроводжується виділенням енергії й утворенням стиснених газів, здатних виконувати механічну роботу. Ця робота може призводити до руйнувань, які виникають під час вибуху у зв'язку з утворенням ударної хвилі – раптового стрибкоподібного зростання тиску. При цьому швидкість полум'я досягає сотень метрів за секунду;*
- дефлаграційне – кінетичне горіння, за якого швидкість поширення горіння не перевищує швидкості звуку (у межах декількох метрів за секунду);*
- детонаційне – це горіння, яке поширюється із надзвуковою швидкістю, що сягає кількох тисяч метрів за секунду.*

Виникнення детонацій пояснюється стисненням, нагріванням та переміщенням незгорілої суміші перед фронтом полум'я, що призводить до прискорення поширення полум'я та виникнення в суміші ударної хвилі, завдяки якій і здійснюється передача теплоти в суміші.

За походженням та деякими зовнішніми особливостями розрізняють такі форми горіння:

- спалах – короткочасне полум'я горіння, яке не супроводжується виникненням ударної хвилі;*
- загоряння – горіння, яке виникає під впливом джерела запалювання;*
- займання – займання, що супроводжується появою полум'я;*

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

– самозагоряння – загоряння внаслідок самонагрівання;
– самозаймання – займання внаслідок самонагрівання;
– тління – горіння без видимого світлового випромінювання, що зазвичай розпізнається за появою диму [13].

Вибух – окремий випадок горіння, який відбувається внаслідок раптового розкладу або згорання речовини і супроводжується короточасним виділенням великої кількості теплоти, світла, газів або пари, які створюють великий тиск на навколишнє природне середовище, що призводить до руйнувань. Вибухи, що виникають внаслідок хімічних процесів, пояснюються величезною швидкістю реакції розкладу, яку вимірюють у кілометрах в секунду.

Під час горіння газу й пароповітряних сумішей температура звичайно не перевищує 1400°C. Під час вибуху суміші протягом кількох секунд температура досягає 2000°C. Ступінь вибухонебезпечності сумішей неоднаковий. Він залежить від кількості, тобто концентрації, суміші в повітрі.

Вибухи та їх наслідки – пожежі, виникають на об'єктах, які виробляють вибухонебезпечні та хімічні речовини. Найбільш вибухо- та пожежонебезпечні суміші з повітрям утворюються під час витоку газоподібних та зріджених вуглеводних продуктів метану, пропану, бутану, етилену, пропилену тощо[14].

Вибухи класифікують за походженням виділеної енергії на:

- хімічні;
- фізичні: вибухи посудин під внутрішнім тиском, вулканічні вибухи, електромагнітні, кінетичні;
- ядерні - вибухи, викликані гравітаційним колапсом

Хімічним вибухом називають надзвичайно швидко хімічне перетворення речовини (системи речовин), що самопоширюється і перебігає з виділенням великої кількості теплоти й утворенням газоподібних продуктів. З цього

визначення впливають чотири основні умови, які має задовольняти хімічна реакція, щоб вважатися вибухом:

- виділення тепла (екзотермічність);
- утворення газів або пари;
- велика швидкість;
- здатність до самопоширення.

До хімічних вибухів належать вибухи вибухових речовин, горючих газів, вугільного або іншого органічного пилу.

Хімічний вибух відрізняється від горіння наявністю ударної хвилі. Під час вибуху згорання вибухової речовини мусить мати детонаційний характер, тобто залучення нових порцій вибухової речовини до хімічної реакції відбувається на фронті ударної хвилі (а не шляхом теплопровідності і дифузії як під час горіння). З цієї умови випливає, що для хімічного вибуху, що є окисно-відновною реакцією (згоранням), паливо і окисник мають бути перемішані, інакше швидкість реакції буде обмежена швидкістю надходження окисника, що зазвичай відбувається завдяки дифузії. Наприклад, природний газ поволі горить в пальниках домашніх кухонних плит, бо окисник (кисень з повітря) поволі надходить в область горіння шляхом дифузії. Та якщо перемішати газ із повітрям, він вибухне від невеликої іскри.

Під час фізичних вибухів відбуваються лише фізичні перетворення без зміни хімічного складу речовин (вибухи парових котлів, балонів із скрапленим газом, електричні вибухи). Фізичні вибухи звичайно є наслідком фазового переходу речовини або надшвидкої дезінтеграції.

Спричинити електромагнітний вибух можна швидким пропусканням великого електричного заряду (наприклад з конденсатора) через тонкий дріт, що спричиняє миттєве плавлення й випарування металу. До електромагнітних вибухів також належить вибух поверхневого шару речовини від час нагрівання лазером.

					ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		47

У природі фізичні вибухи спостерігаються при виверженнях вулканів, що фактично є вибухом посудини під внутрішнім тиском.

Можна також виокремити кінетичні вибухи, що є наслідком зіткнення тіл, що рухаються із великою швидкістю, та (або) мають велику масу. Яскравий приклад кінетичних вибухів – зіткнення метеоритів (комет, астероїдів тощо) із поверхнею планети або іншим небесним тілом.

Енергія кінетичного вибуху пропорційна масі і квадрату швидкості зіткнення тіл. Наприклад, зіткнення метеориту масою 1 кг із поверхнею Землі на швидкості 60 км/с тотожне вибуху 400 кг тротилу.

Найпотужний із кінетичних вибухів, що спостерігала людина, відбувся у 1994 році, коли із Юпітером зіткнулась комета Шумейкерів-Леві. З 16 по 22 липня 1994 року на Юпітер впало 25 великих уламків декілька кілометрів завбільшки зі швидкістю близько 60 км/с. Розмір області впливу вибухів сягав тисяч кілометрів; сліди від ударів були помітні декілька тижнів. Енергія вибухів – близько 1022 Дж або декілька мільйонів мегатон.

Енерговиділення Тунгуського метеориту оцінюється в 10 Мт [15].

Ядерний або атомний вибух – некерований процес вивільнення великої кількості теплової і променевої енергії в результаті ланцюгової ядерної реакції ділення за дуже малий проміжок часу. Атомний вибух супроводжується звуком, що нагадує грозивий розряд. Сила атомного вибуху залежить від кількості енергії, виділеної в результаті ядерної реакції, і може становити 10⁹ – 10¹² ккал і більше. В момент вибуху, внаслідок надзвичайно високої температури (300 000°), утворюється сліпучо-яскрава вогняна зона (бл. 15 – 150 м), яка складається з розжарених пари і газів.

За своїм виникненням ядерні вибухи є або продуктом діяльності людини на Землі, або природними процесами на деяких видах зірок.

Енергія ядерного вибуху може досягати десятків мегатонн тротилового еквівалента. До ядерних реакцій, які супроводжуються таким виділенням енергії, належить розподіл важких ядер (²³⁵U або ²³⁹Pu), що призводить до

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

ядерного вибуху, або синтез легких ядер, який призводить до термоядерного вибуху. При ядерному і термоядерному вибухах виділяється в мільйони раз більше тепла на одиницю вибухового матеріалу, ніж при хімічному вибуху (6,8 – 1010 кДж/кг при ядерному і 4,19 – 1011 кДж/кг при термоядерному).

Ядерний вибух – джерело різноманітних випромінювань. Це випромінювання (що називається проникаючою радіацією) викликає ряд характерних тільки для ядерного вибуху наслідків. Нейтрони і високоенергетичні гамма-промені, взаємодіючи з атомами навколишнього середовища, видозмінюють їх стабільні ізотопи в радіоактивні – це явище називається «наведена радіація». При ядерному вибуху утворюється велика кількість нестабільних ізотопів, тому забруднення місцевості, на якій відбувся вибух, може тривати тисячоліттями, хоча інтенсивність випромінювання з часом зменшується. Також уражаюча дія ядерного вибуху визначається повітряною ударною хвилею, світловим випромінюванням, електромагнітним імпульсом [16].

В Україні є понад 1500 великих вибухо- та пожежонебезпечних об'єктів, на яких знаходиться понад 13,6 млн.т твердих і рідких вибухо- та пожежонебезпечних речовин. Ці об'єкти розташовані в центральних, східних і південних областях країни, де сконцентровані хімічні, нафто- і газопереробні, коксохімічні, металургійні та машинобудівні підприємства, розгалужена мережа нафто-, газо-, аміакопроводів, експлуатуються нафтогазопромисли і вугільні шахти.

За певних умов, у процесі виробництва стають небезпечними і легко спалахують деревний, вугільний, борошняний, зерновий, амонієвий, торф'яний, льняний та пил бавовни. Вибухи і пожежі трапляються на об'єктах, які виробляють або зберігають вибухонебезпечні та хімічні речовини в системах і агрегатах під великим тиском (до 100 атм), а також на газо- і нафтопроводах [14].

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

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.*

					ПОХНВ.В.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

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. *Основи пожежної профілактики на виробничих об'єктах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dut.edu.ua/uploads/l_1333_88163531.pdf*
13. *Основи пожежної профілактики на виробничих об'єктах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.dut.edu.ua/uploads/l_1333_88163531.pdf*
14. Фесенко Г.В. *Конспект лекцій з дисципліни «Основи пожежної безпеки» (для студентів 4 курсу денної форми навчання за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво» спеціалізації «Охорона праці в будівництві») / Г.В. Фесенко; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 2013. – 62 с.*
15. *Вибухо- та пожежонебезпека на виробництві. Рекомендації щодо дій під час виникнення пожежі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_Tender/Admin_diyalnist/Tema_1.5_CZ.pdf*
16. Вікіпедія. *Вибух [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Вибух>*
17. Вікіпедія. *Ядерний вибух [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ядерний_вибух*
18. *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
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51