

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра хімічної технології високомолекулярних сполук

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**  
зі спеціальності 6.050503 Обладнання хімічних виробництв і  
підприємств будівельних матеріалів

Тема проекту: Виробництво сульфату амонію. Двокорпусна випарна установка потужністю 18000 кг/годину по розчину сульфату амонію.

Виконав студент

Залікова книжка:

№ \_\_\_\_\_

Захищений з оцінкою:

Керівник проекту

Бугай О.О.

\_\_\_\_\_  
Банишевський В.В.

ШСумДУ 2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

Спеціальність 6.050503 Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**  
Зав. кафедрою ХТВМС  
\_\_\_\_\_ Лукашов В. К.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту: ПІБ \_\_\_\_\_

група ХМзт-51ш курс V

1. **Тема дипломної роботи:** Виробництво сульфату амонію. Двокорпусна випарна установка потужністю 18000 кг/годину по розчину сульфату амонію.

1.1. **Вихідні дані:** продуктивність двокорпусної випарної установки  
 $G_D = 18000 \text{ кг/год.}$

2. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)

3.1 Загальний вигляд 2хА1;

3.2 Технологічна схема А1;

3.3 Складальні креслення 2.5хА1.

3. Література та матеріали, які рекомендуються:

1. Плановский А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии. Москва, Химия, 1968, 848 с.

2. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Ленинград, Химия, 1987, 576 с.

Контрольні терміни виконання: травень

Етап і розділи комплексного курсового проекту	ТИ Ж Д Е Н Ь														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 Опис схеми, апарата	x	x													
2 Технологічна частина				x	x	x	x								
3 Розрахунки на міцність, герметичність та стійкість								x	x	x					
4 Розробка креслень											x	x	x	x	
5 Оформлення записки														x	
6 Захист проекту															x

6. Дата видачі завдання Березень 2020 р

7. Термін захисту бакалаврської роботи Червень 2020р

Керівник бакалаврської роботи Банишевський В.В.

## Зміст

### Вступ

#### 1 Технологічна частина

- 1.1 Опис технологічної схеми установки
- 1.2 Теоретичні основи процесу
- 1.3 Опис конструкції апарата та вибір основних конструкційних матеріалів

#### 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

- 2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу
- 2.2 Технологічні розрахунки
- 2.3 Конструктивні розрахунки
- 2.4 Гідравлічний опір апарата
- 2.5 Вибір допоміжного обладнання

#### 3 Розрахунки на міцність та герметичність апарата

- 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки
- 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання
- 3.3 Розрахунок опори апарата

#### 4 Монтаж та ремонт апарата

- 4.1 Монтаж апарата
- 4.2 Ремонт апарата

#### 5 Охорона праці

- 5.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей під час роботи
- 5.2 Загальні заходи безпеки
- 5.3 Охорона праці і техніка безпеки при монтажі і ремонті технологічного устаткування

### Список літератури

### Додатки

						Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## Вступ

Вибір схеми випарної установки і конструкції апарату для згущення розчинів визначається головним чином, властивостями цих розчинів: щільністю, в'язкістю, температурою кипіння, поверхневому натягу, коефіцієнтом розчинності, фізико-хімічної температурної депресією, схильністю до вспениванню і кристалізації. Властивості сумішей визначають основні вимоги до умов проведення процесу (вакуум-випарювання, прямо-і протівоточне, одно- і багатостадійні багатокорпусні випарні установки), а також до конструкцій випарних апаратів.

Хімічна активність розчину визначає вибір матеріалу, з якого повинні виготовлятися деталі і вузли апарату.

Проектування оптимальної для заданих умов випарної установки передбачає її максимальну оптимізацію принаймні трьома умовами:

1) відповідність схеми установки і конструкції апарату технологічним вимогам, т. е. упарений розчин повинен відповідати заданому якості, утрати в процесі виробництва повинні бути мінімальними, а параметри продукту, що гріє, і вторинного теплоносія повинні відповідати розрахунковим;

2) технологічності виготовлення апарату і зручності в обслуговуванні всієї установки: простоті виготовлення та монтажу, надійності в роботі, зручності очістки, ремонту та заміни деталей і вузлів;

3) оптимальним техніко - економічними показниками: компактності, невисокою вартістю  $1 \text{ м}^2$  поверхні нагрівання, високому коефіцієнту теплопередачі, мінімальним амортизаційним витратам і витрат енергії на випарування розчину.

Неможливо спроектувати випарної апарат і всю установку, яка одночасно задовольняє всім перерахованим умовам. Найчастіше досягнення одного високого показника можливо за рахунок зниження іншого. Наприклад, компактність і питома теплова потужність апарату завжди знаходяться в суперечки з гідравлічним опором руху розчину; довговічність і корозійна стійкість - з недостатністю і вартістю конструкційних матеріалів; простота схеми установки - з параметрами і витратою пари, що гріє і т. д.

Така різноманітність вимог викликає певні складнощі при правильному виборі схеми випарної установки, типу апарату, числа ступенів в багатокорпусної випарної установці. У загальному випадку такий вибір є задачею оптимального пошуку і виконується техніко-економічним порівнянням різних варіантів з використанням ЕОМ.

						Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

В сучасних випарних установках випаровуються дуже велика кількість води. Принцип дії її зводиться до багаторазового використання тепла пари, що гріє, що надходить в корпус установки, шляхом обігріву кожного наступного корпусу (крім першого) вторинним паром з попереднього корпусу. Застосовувані схеми багатокорпусних випарних установок розрізняються по тиску вторинної пари в останньому корпусі. У відповідності з цим признаком установки діляться на працюючі під розрідженням і під надлишковим тиском. Найбільш поширені випарні установки першої групи.

У промисловій практиці застосовують установки аналогічного типу, котрі володіють підвищеною економічністю за рахунок використання тепла пара низького потенціалу. Так, наприклад, іноді обігрів першого корпусу виробляють відпрацьованим паром з парових турбін, який є в даному випадку первинним паром.

При роботі під надлишковим тиском потрібно велика товщина стінок апаратів, але установка в цілому спрощується, так як відпадає необхідність в постійно діючому конденсаторі пари (невеликий конденсатор використовують лише в період пуску установки).

У випарних установках під тиском важче підтримувати постійний режим роботи, ніж в установках під вакуумом, і для цієї мети потрібно автоматичне регулювання тиску пара і щільності упареного розчину. Для спрощення стійкості режиму роботи установок під тиском використовують особисті схеми.

Багатокорпусні випарні установки розрізняються також за взаємною напрямку руху пари, що гріє і виспаріваемого розчину.

Крім найбільш широко поширених установок з прямоточним рухом пара і розчину застосовуються також протиточні випарні установки, в яких гріючий пар і розчин, що випарює, переміщуються з корпусу в корпус у взаємно протилежних напрямках.

В даному проекті розглядається двокорпусна прямоточная випарна установка для випарювання сульфату аммонію, представлена на малюнку 1.1. Така установка має найбільшого поширення, оскільки є найменш енергоємною.

Вихідний розчин з проміжної ємності 1 відцентровим насосом 2 подається в теплообмінник 3, де підігрівається до температури, близької до температурі кипіння, а потім - в перший корпус випарної установки 4. Попередній підігрів розчину підвищує інтенсивність кипіння в випарній апараті.

Перший корпус обігрівається свіжим водяною парою. Вторинний пар, утворений при концентруванні розчину в першому корпусі, направляється в качестве пара, що гріє, в другій корпус 6. Сюди ж надходить частково сконцентруєний розчин з 1-го корпусу.

									Лист
									5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

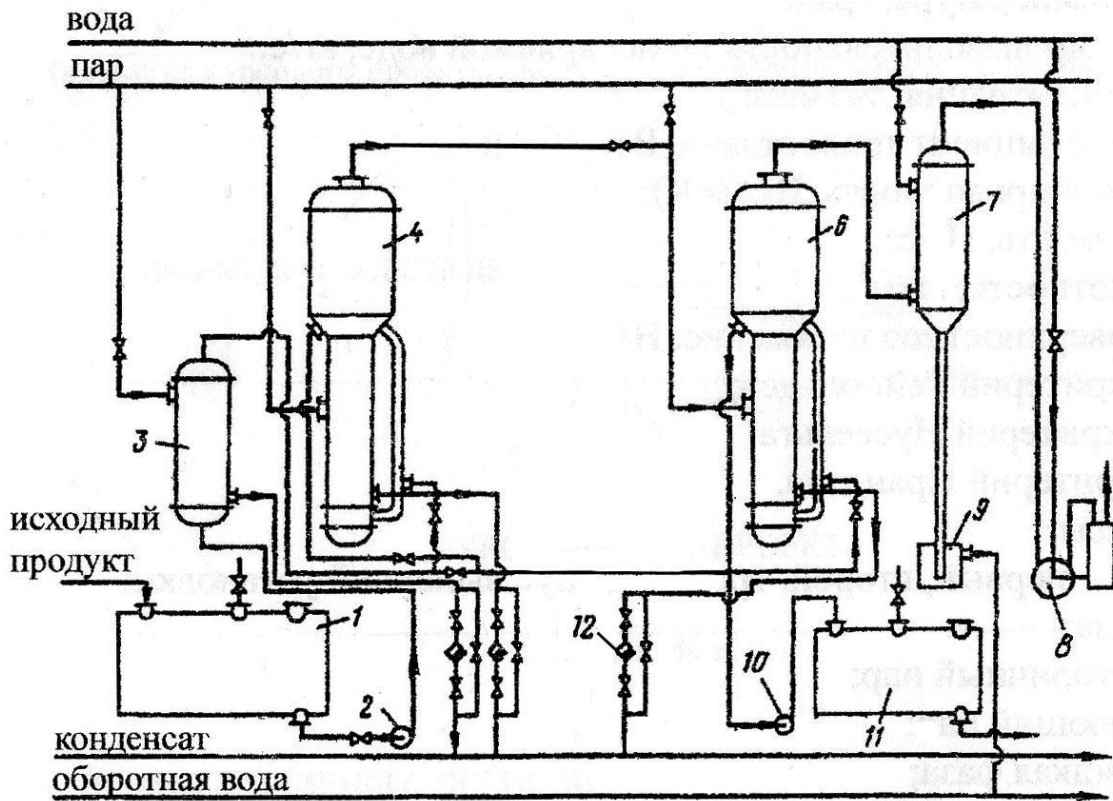


Рисунок 1.1 - Принципова схема двухкорпусной випарної установки

1 - ємність вихідного розчину; 2, 10 - насоси; 3 – теплообмінник - підігрівач; 4,6 – випарні апарати; 7 - барометричний конденсатор; 8 - вакуум-насос; 9 - гідрозатвор; 11 - ємність упареного розчину; 12 – конденсатор - відвідник

Самовільний перетік розчину і вторинної пари в наступні корпусу можливий завдяки загальному перепаду тисків, що виникає в результаті створення вакууму конденсацією вторинної пари останнього корпусу в барометричному конденсаторі змішання 7 (де заданий тиск підтримується подачею охолоджуючої води і відсмоктуванням газів, вакуум насосом 8).

Суміш охолоджуючої води і конденсату виводиться з конденсатора за допомогою барометричної труби з гідрозатвору 9.

Конденсат гріючих пари з випарних апаратів виводиться за допомогою конденсатовідвідників 12.

## 1.2 Теоретичні основи процесу

Тиск пари розчинника над розчином завжди нижче, ніж тиск над чистим розчинником. Внаслідок цього температура кипіння розчину вище температури кипіння чистого розчинника при тому ж тиску. Наприклад, вода кипить під атмосферним тиском при  $100^{\circ}\text{C}$ , так як тиск її пари при цій температурі дорівнює 1 ат; наприклад, для 30% розчину NaOH тиск водяного пара над розчином буде при  $100^{\circ}\text{C}$  нижче 1 ат, і розчин закипить при більш високій температурі ( $117^{\circ}\text{C}$ ), коли тиск пари над ним досягне 1 ат.

Лист

8

Різниця між температурами кипіння розчину ( $t$ ) і чистого розчинника ( $t_r$ ) називається температурної депресією

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

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

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

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

де  $T$  і  $r$  – абсолютна температура кипіння (в  $K^\circ$ ) і теплота випаровування (в Дж/кг) для води при даному тиску.

Підвищення температури кипіння розчину визначається не тільки температурною депресією, але також гідростатичної і гідравлічної депресіями.

Гідростатическая депресія  $\Delta''$  викликається тим, що нижні шари рідини в апараті закипають при більш високій температурі, ніж верхні (внаслідок гідростатичного тиску верхніх шарів). Якщо, наприклад, нагрівати при атмосферному тиску воду до температури кипіння в трубі заввишки 10 м, то верхній шар води закипить при температурі  $100^\circ\text{C}$ , а нижній шар, що знаходиться під тиском 2 ат, - при температурі  $\sim 120^\circ\text{C}$ . В даному випадку гідростатична депресія змінюється по висоті труби від  $0^\circ\text{C}$  (вгорі) до  $20^\circ\text{C}$  (внизу) і в середньому становить  $10^\circ\text{C}$ .

Розрахунок гідростатической депресії в випарних апаратів неможливий, так як рідина в них (в основному у вигляді парожидкостной суміші) зходить в русі. З підвищенням рівня рідини в апараті гідростатична депресія зростає. В середньому вона становить 1 -  $3^\circ\text{C}$ .

Гідравлічна депресія  $\Delta'''$  враховує підвищення тиску в апараті внаслідок гідравлічних втрат при проходженні вторинного пара через ловушка і вихідний трубопровід. При розрахунках приймають рівною  $1^\circ\text{C}$ .

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

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

						Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Температура кипіння розчину  $t$  визначається, в залежності від температури насичення вторинного пара  $t_r$ , по формулі

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

### 1.3 Опис конструкції апарата та вибір основних конструкційних матеріалів

Природна циркуляція виникає в замкнутій системі, що складається, з необігріваної опускної (циркуляційної) труби і, що обігріваються, підйомних (кіпятільних) труб. Якщо рідина в підйомних трубах нагріта до кипіння, то в результаті випаровування частини рідини в цій трубі, утворюється парожидкостна суміш, щільність якої менше щільності самої рідини. Таким чином, вага стовпа рідини в опускній трубі більше, ніж в підйомних трубах, в наслідок чого відбувається впорядкований рух (циркуляція) киплячої рідини по шляху: підйомні труби  $\rightarrow$  паровий простір  $\rightarrow$  опускна труба  $\rightarrow$  підйомні труби і т. д. При циркуляції підвищується коефіцієнт тепловіддачі з боку киплячої рідини і охороняється поверхнею труб від накипу.

Для природної циркуляції потрібні дві умови:

1) достатня висота рівня рідини в опускній трубі, щоб урівноважити стовп на парожидкостній суміші в кіпятільних трубах і додати цієї суміші необхідну швидкість;

2) достатня інтенсивність пароутворення в кіпятільних трубах, щоб парожидкостна суміш мала можливо малу щільність.

Випарний апарат з природною циркуляцією складається з сосною або висесенною грючою камери 1, сепаратора 2 і циркуляційної труби 3, зроблених зі стандартних або нормалізованих елементів.

Апарат - безперервної дії; свіжий розчин через штуцер 4 надходить в трубний простір грючої камери, де він підігрівается до температури кипіння за рахунок тепла пара, що подається через штуцер 5 в міжтрубний простір. Киплячий розчин з трубок потрапляє в конічну частину сепаратора, де від розчину відділяється вторинна пара. За циркуляційної трубі розчин опускається і, змішуючись з свіжим, знову проходить в трубний простір. Внаслідок різниці щільності упареного і свіжого розчинів відбувається його безперервна циркуляція. При досягненні необхідної концентрації упарений розчин безперервно виводиться через штуцер 6. Вторинний пар проходить через бризгоотдільник, де краплі розчину відокремлюються, і виводиться через штуцер 7. Для виводу конденсату з грючої камери служить штуцер 8. Для огляду, ремонту і чистки апарату є люк - лаз і оглядове вікно

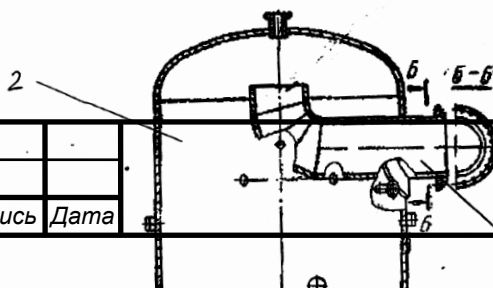




Рисунок 1.2 – Апарат випарний

1 – гриюча камера; 2 – сепаратор; 3 – труба циркуляційна;  
4, 5, 6, 7, 8 - штуцер

В якості конструкційних матеріалів для випарних апаратів застосовують вуглецеві кислотостойкі сталі і мідь. Випарні апарати працюють у важких умовах, так як при дії високої температури і розчинів високої концентрації прискорюються процеси корозії. У деяких випадках випарні апарати виготовляють з кислотійких матеріалів за умовами чистоти продукту.

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

Вибір конструкційного матеріалу, який визначається умовою експлуатації проєктованого елемента, вузла або апарата (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості

переробляемого продукту і т. д.), Слід виконувати так, щоб при низькій вартості

Лист

10

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію через виготовлених елементів (виробив).

Так як в апараті здійснюється технологічний процес з продуктом, що створює слабо кисле середовище, то для забезпечення умов роботи апарату прийнята корозійностойка сталь аустенітного класу 12X18H10T ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі - 256°C до + 525°C для корпусних елементів, до 600°C - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному і гарячому стані, добре обробляється всіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 12X18H10T

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

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

Матеріал зовнішньої оснастки, опори, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з переробляється середовищем, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низьку вартість, хорошу оброблюваність і досить високи фізико-механічними властивостями. Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 20

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

В якості прокладки, відповідно до цих же рекомендацій, приймаємо пароніт, що отримується з суміші азбестових волокон, розчинника, каучуку і наповнювачів.

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

			поглинання	води, не більше, %	14;	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		101

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

## 2 Технологічні розрахунки процесу та апарату

### 2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу

Для визначення теплових навантажень  $Q$ , коефіцієнтів тепловіддачі  $K$  і кориною різниці температур  $\Delta t_{\text{пол}}$  необхідно знати розподіл випарюєвამій води, концентрацій розчину і їх температур кипіння по корпусам установки. Ці величини знаходять методом послідовних наближень. Для проведення розрахунків приймемо початкову концентрацію сульфату амонію  $x_{\text{н}} = 18\%$ , кінцеву -  $x_{\text{к}} = 39\%$ .

Розглянемо перше наближення:

Загальна кількість випарованої води в випарної установці:

$$W = G_{\text{н}} \cdot \left(1 - \frac{x_{\text{н}}}{x_{\text{к}}}\right), \quad (2.1)$$

$$W = 5,00 \cdot \left(1 - \frac{18}{39}\right) = 2,69 \text{ кг/с}$$

						Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	НАЗВАНІЕ ДОКУМЕНТА	

де  $G_H = \frac{18000}{3600} = 5,0$  кг/с – продуктивність установки.

Попередній розподіл випарованої води по корпусам виконують на основі наступних рекомендацій:

$$W_1 : W_2 = 1,0 : 1,17 \quad (2.2)$$

Тоді кількість випарованої води:  
в першому корпусі:

$$W_1 = W \cdot \frac{1,0}{1,0 + 1,17} = 2,69 \cdot \frac{1,0}{1,0 + 1,17} = 1,24 \text{ кг/с,}$$

у другому корпусі:

$$W_2 = W \cdot \frac{1,17}{1,0 + 1,17} = 2,69 \cdot \frac{1,17}{1,0 + 1,17} = 1,45 \text{ кг/с}$$

Концентрація розчинів по корпусам:  
в першому корпусі:

$$x_1 = \frac{G_H \cdot x_H}{G_H - W_1}; \quad (2.3)$$

$$x_1 = \frac{5,0 \cdot 0,18}{5,0 - 1,24} = 0,24 = 24\%;$$

у другому корпусі:

$$x_2 = \frac{G_H \cdot x_H}{G_H - W_1 - W_2}, \quad (2.4)$$

$$x_2 = \frac{5,00 \cdot 0,18}{5,0 - 1,24 - 1,45} = 0,39 = 39\%,$$

що відповідає завданням.

Прийmemo тиск пари, що гріє  $p_p = 3,2$  ата, а тиск в останньому корпусі  $p = 0,4$  ата.

Загальний перепад тисків в установці:

$$\Delta p = p_{II} - p = 3,2 - 0,4 = 2,8 \text{ ата} \approx 0,28 \text{ МПа.}$$

Розподілимо загальний перепад тисків між корпусами порівну:

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \frac{\Delta p}{2} = \frac{0,28}{2} = 0,14 \text{ МПа.}$$

					Лист
					12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Абсолютні тиску по корпусах будуть рівні:

$$\Delta p_1 = p_{\Pi} - \Delta p_1 = 0,32 - 0,14 = 0,18 \text{ МПа,}$$

$$\Delta p_2 = p_{\Pi} - \Delta p_2 = 0,18 - 0,14 = 0,04 \text{ МПа.}$$

За тискам парів знаходимо їх температури і ентальпії.

Таблиця 2.1

Тиск, МПа	Температура, °С	Ентальпія, кДж/кг
$p_{r1} = 0,32$	$t_{r1} = 135,6$	$J_1 = 2159$
$p_{r2} = 0,18$	$t_{r2} = 116,8$	$J_2 = 2211$
$p_{бк} = 0,04$	$t_{r3} = 75,9$	$J_{бк} = 2319$

На підставі практичних рекомендацій приймаємо гідравлічну депресію для кожного корпусу  $\Delta''' = 1$ град, тоді температура вторинних парів, тиску і теплоти пароутворення їх в корпусах будуть рівні:

Таблиця 2.2

Температура, °С	Тиск, МПа	Теплота пароутворення, кДж/кг
$t_{ВП1} = 116,8 + 1 = 117,8$	$p_{ВП1} = 0,189$	$r_1 = 2213$
$t_{ВП2} = 75,9 + 1 = 76,9$	$p_{ВП2} = 0,043$	$r_2 = 2317$

Сума гідравлічних депресій:

$$\Sigma \Delta''' = 1 + 1 = 2 \text{ °С.}$$

Для вибору висоти труби необхідно орієнтовно визначити площу поверхні теплопередачі випарного апарату  $F_{op}$ , вибрати параметри апарату по ГОСТ 11987 - 81.

Площа поверхні теплопередачі орієнтовно визначається за формулі:

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

Приймаємо для апаратів з природною циркуляцією  $g = 35000 \text{ Вт/м}^2$  [4, с. 88].  
Тоді по корпусам (орієнтовно):

$$F_1 = \frac{W_1 \cdot r_1}{g}, \quad (2.6)$$

						Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F_1 = \frac{1,24 \cdot 2213 \cdot 10^3}{35000} = 78,4 \text{ м}^2,$$

$$F_2 = \frac{W_2 \cdot r_2}{g}, \quad (2.7)$$

$$F_2 = \frac{1,45 \cdot 2317 \cdot 10^3}{35000} = 96,0 \text{ м}^2$$

Приймаємо по ГОСТ 11987 - 81 випарної апарат з площею поверхні теплопередачі  $F = 100 \text{ м}^2$ , довжиною труб 4 м, діаметром труб  $38 \times 2 \text{ мм}$ . Таким чином, тиск в середньому шарі кипятильних труб корпусів:

$$p_{\text{ср}} = p_{\text{ВПі}} + \frac{\rho_i \cdot g \cdot H}{2} (1 - \varepsilon), \quad (2.8)$$

де  $\varepsilon = 0,4 - 0,6$  – паронаповнення при бульбашковму режимі кипіння [4],  $\rho_i$  – щільність водних розчинів при відповідних температурах і концентрацій [7];

$$p_{1\text{ср}} = 0,189 \cdot 10^6 + \frac{1077 \cdot 9,81 \cdot 4}{2} \cdot (1 - 0,6) = 0,197 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$p_{2\text{ср}} = 0,043 \cdot 10^6 + \frac{1191 \cdot 9,81 \cdot 4}{2} \cdot (1 - 0,6) = 0,52 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Отриманим тискам відповідають такі температури кипіння:

Таблиця 2.3

Тиск, МПа	Температура кипіння, °С	Теплота пароутворення, кДж/кг
$p_{1\text{ср}} = 0,197$	$t_{1\text{ср}} = 119,1$	$r_{\text{ВП}_1} = 2207$
$p_{2\text{ср}} = 0,052$	$t_{2\text{ср}} = 81,8$	$r_{\text{ВП}_2} = 2305$

Визначаємо гідростатичну депресію по корпусам:

$$\Delta_1'' = t_{1\text{ср}} - t_{\text{ВП}_1} = 119,1 - 117,8 = 1,3^\circ\text{С},$$

$$\Delta_2'' = t_{2\text{ср}} - t_{\text{ВП}_2} = 81,8 - 76,9 = 4,9^\circ\text{С}$$

Сума гідростатичних депресій:

$$\Sigma \Delta'' = 1,3 + 4,9 = 6,2^\circ\text{С}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		144

Температурна депресія  $\Delta'$  визначається за рівнянням [4, додаток V.4]:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \left( \frac{T^2}{r_{\text{ВП}}} \right) \cdot \Delta'_{\text{атм}} \quad (2.9)$$

де  $T$  – температурна депресія в середньому шарі кипятильних труб;  $\Delta'_{\text{атм}}$  – температурна депресія при атмосферному тиску [4, приложение V.4].

Знаходимо значення  $\Delta'$  по корпусам:

$$\Delta'_1 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(119,1 + 273)^2}{2207} \cdot 1,6 = 1,8^\circ\text{C},$$

$$\Delta'_2 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(81,8 + 273)^2}{2305} \cdot 4,7 = 4,2^\circ\text{C}$$

Температурна депресія при атмосферному тиску

$$\Sigma \Delta' = \Delta'_1 + \Delta'_2 = 1,8 + 4,2 = 6,0^\circ\text{C}$$

Температура кипіння розчинів по корпусам:

$$t_{\text{К}_1} = t_{r_2} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 116,8 + 1,8 + 1,3 + 1,0 = 120,9^\circ\text{C},$$

$$t_{\text{К}_2} = t_{r_3} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 75,9 + 4,2 + 4,9 + 1,0 = 86^\circ\text{C}$$

Температура кипіння розчинів по корпусам:

$$\Delta t_{\text{П}_1} = t_{r_1} - t_{\text{К}_1} = 135,6 - 120,9 = 14,7^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{\text{П}_2} = t_{r_2} - t_{\text{К}_2} = 116,8 - 86 = 30,8^\circ\text{C}$$

Загальна корисна різниця температур:

$$\Sigma \Delta t_{\text{П}} = 14,7 + 30,8 = 45,5^\circ\text{C}$$

Витрата, що гріє, пара в перший корпус, продуктивність кожного корпусу по випарованій воді і теплові навантаження визначимо шляхом спільного рішення рівнянь теплових балансів по корпусам та рівняння балансу по воді для всієї установки:

$$Q_1 = D \cdot (J_{r_1} - i_1) = 1,03 \cdot [G_{\text{Н}} \cdot C_{\text{Н}} \cdot (t_{\text{К}_1} - t_{\text{Н}}) + W_1 \cdot (J_{\text{ВП}_1} - C_{\text{В}} \cdot t_{\text{К}_1}) + Q_{1\text{конц}}], \quad (2.10)$$

						Лист
						155
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_2 = W_1 \cdot (J_{r_2} - i_2) = 1,03 \cdot [(G_H - W_1) \cdot C_1 \cdot (t_{K_2} - t_{K_1}) + W_2 \cdot (J_{ВП_2} - C_B \cdot t_{K_2}) + Q_{2\text{конц}}], \quad (2.11)$$

$$W = W_1 + W_2 \quad (2.12)$$

де 1,03 - коефіцієнт, що враховує 3% втрат тепла в навколишнє середовище.  
При вирішенні рівнянь можна прийняти:

$$J_{ВП_1} \approx J_{r_2}; \quad J_{ВП_2} \approx J_{Б.К.}; \quad (2.13)$$

$C_H, C_1$  – теплоємності розчинів відповідно вихідного, в першому корпусі, кДж/кг;

$Q_{1\text{конц}}; Q_{2\text{конц}}$  – теплота концентрування по корпусам, кВт;

$t_H$  – температура кипіння вихідного розчину, °С.

$$t_H = t_{ВП_1} + \Delta'_H = 117,8 + 1,6 = 119,4^\circ\text{С}.$$

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

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

Тоді отримаємо:

$$Q_1 = D(2733 - 567) = 1,03 \cdot [5,0 \cdot 3,39 \cdot (120,9 - 119,4) + W_1 \cdot (2709 - 4,19 \cdot 120,9)],$$

$$Q_2 = W_1(2709 - 484) = 1,03 \cdot [(5,0 - W_1) \cdot 3,19 \cdot (86 - 120,9) + W_2 \cdot (2632 - 4,19 \cdot 86)],$$

$$2,69 = W_1 + W_2.$$

Рішення системи рівнянь дає наступні результати:

$$W_1 = 1,22 \text{ кг/с}; \quad W_2 = 1,47 \text{ кг/с}; \quad D = 1,29 \text{ кг/с}; \quad Q_1 = 2794 \text{ кВт}; \quad Q_2 = 2715 \text{ кВт}$$

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

Таблиця 2.4 - Параметри розчинів і парів по корпусах

Параметр		Корпус			
		1	2		
Продуктивність по іспаряючій воді		$W, \text{ кг/с}$	1,22	1,47	
Концентрація розчинів		$x, \%$	24	39	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	166



Тиск гріючих парів	$p_r$ , МПа	0,32	0,18
Температура гріючих парів	$t_r$ , °С	135,6	116,8
Температурні втрати	$\Sigma\Delta$ , град	3,1	10,1
Температура кипіння розчину	$t_k$ , °С	120,9	86
Температура гріючих парів	$\Delta t_n$ , град	14,7	30,8

## 2.2 Технологічні розрахунки

Коефіцієнт теплопередачі для першого корпусу  $K_1$  визначимо по рівнянню адитивності термічних опорів

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.14)$$

Прийmemo, що сумарне термічний опір одно термічному опору стінки  $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$  та накипу  $\frac{\delta_n}{\lambda_n}$ . Термічний опір з боку пара не враховуємо.

Отримаємо

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

Коефіцієнт теплопередачі від пара, що конденсується, до стінки  $\alpha_1$

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{r_1 \cdot \rho_{ж}^2 \cdot \lambda_{ж}^3}{\mu_{ж} \cdot H \cdot \Delta t_1}}, \quad (2.15)$$

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

$$t_{пл} = t_{2_1} - \frac{\Delta t_1}{2}, \quad (2.16)$$

де  $\Delta t_1$  – різницю температур конденсації пари і стінки, град.

Розрахунок  $\alpha_1$  різницю температур конденсації пари і стінки, град.  $\Delta t_1 = 2,0$  град.

Тоді

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2165 \cdot 10^3 \cdot 931^2 \cdot 0,684^3}{0,191 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 2,0}} = 9707 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

						Лист
						177
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для усталеного процесу передачі тепла справедливе рівняння

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \frac{1}{\sum \frac{\delta}{\lambda}} \cdot \Delta t_{\text{ст}} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2, \quad (2.17)$$

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

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

$$\Delta t_{\text{ст}} = \Delta \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 9707 \cdot 2,0 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 5,6 \text{ град,}$$

тоді

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{п}} - \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t_1 = 14,9 - 5,6 - 2,0 = 7,1 \text{ град.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину для бульбашково-го кипіння у вертикальних кіпятільних трубках

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

Тут фізичні властивості розчину (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в умовах кипіння наведені в таблиці 2.5

Таблиця 2.5 Фізичні властивості киплячих розчинів (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> та їх парів.

Параметр	Корпус	
	1	2
Теплопровідність розчину $\lambda$ , Вт/м·К	0,644	0,661
Щільність розчину $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	1077	1191
Теплоємність розчину $c$ , кДж/кг·К	3,39	3,19
В'язкість розчину $\mu$ , Па·с	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$0,37 \cdot 10^{-3}$
Поверхневий натяг $\sigma$ , Н/м	0,0696	0,0619
Теплота пароутворення $r$ , кДж/кг	2207	2305
Щільність пару $\rho_{\text{п}}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,03	0,37

Тоді

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,644^{1,3} \cdot 1077^{0,5} \cdot 1,03^{0,06}}{0,0696^{0,5} \cdot (2207 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3390^{0,3} \cdot (0,32 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 11,63 \cdot q^{0,6}$$

$$\alpha_2 = 11,63 \cdot q^{0,6} = 11,63 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 11,63 \cdot (9707 \cdot 2,0)^{0,6} = 4350 \text{ Вт/м}^2$$

Перевіримо правильність першого наближення по рівності питомих теплових навантажень

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 9707 \cdot 2 = 19414 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 4350 \cdot 7,1 = 30885 \text{ Вт/м}^2.$$

Отже,

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

Для другого наближення приймемо  $\Delta t_1 = 3,0$  град. Нехтуючи зміною фізичних властивостей конденсату при зміні температури на  $1,0$  градус розраховуємо  $\alpha_1$  по співвідношенню [4, с.90]

$$\alpha_1 = 9707 \cdot 4 \sqrt[3]{\frac{2}{3}} = 8771 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Тоді маємо:

$$\Delta t_{\text{ст}} = 8771 \cdot 3 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 7,6 \text{ град}$$

$$\Delta t_2 = 14,7 - 7,6 - 3,0 = 4,1 \text{ град}$$

$$\alpha_2 = 11,63(8771 \cdot 3)^{0,6} = 5220 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

$$q' = 8771 \cdot 3 = 26313 \text{ Вт/м}^2$$

$$q'' = 5220 \cdot 4,1 = 21402 \text{ Вт/м}^2.$$

Отже,

$$q' \neq q''$$

Для розрахунку в третьому наближенні будемо графічну залежність питомого теплового навантаження  $q$  від різниці температур між парою і стінкою в першому корпусі і визначаємо  $\Delta t_1 = 2,7$  град.

Звідси отримаємо,

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		199

$$\alpha_1 = 9707 \cdot 4 \sqrt{\frac{2}{2,7}} = 9005 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 9005 \cdot 2,7 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 7,0 \text{ град}$$

$$\Delta t_2 = 14,7 - 7,0 - 2,7 = 5,0 \text{ град}$$

$$\alpha_2 = 11,63(9005 \cdot 2,7)^{0,6} = 4978 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

$$q' = 9005 \cdot 2,7 = 24314 \text{ Вт/м}^2$$

$$q'' = 4948 \cdot 5,0 = 24740 \text{ Вт/м}^2.$$

Як бачимо

$$q' \approx q''$$

Знайдемо  $K_1$

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{9005} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{4948}} = 1667 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі  $K_2$  для другого корпусу при  $\Delta t_1 = 5,0$  град

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot 4 \sqrt{\frac{2213 \cdot 10^3 \cdot 943^2 \cdot 0,59^3}{0,232 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 5,0}} = 6697 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 6697 \cdot 5,0 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 9,6 \text{ град};$$

$$\Delta t_2 = 30,8 - 5,0 - 9,6 = 16,2 \text{ град};$$

$$\alpha_2 = 780 \cdot (6697 \cdot 5)^{0,6} \cdot \frac{0,661^{1,3} \cdot 1191^{0,5} \cdot 0,37^{0,06}}{0,0619^{0,5} \cdot (2305 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3190^{0,3} \cdot (0,37 \cdot 10^{-3})^{0,3}} =$$

$$= 12,34(6697 \cdot 5)^{0,6} = 6403 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$q' = 6697 \cdot 5 = 33485 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 6403 \cdot 16,2 = 103729 \text{ Вт/м}^2.$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Маємо  $q' \neq q''$ .

Для другого наближення прийємо  $\Delta t_1 = 8,0$  град.

Тоді

$$\alpha_1 = 6697 \cdot 4 \sqrt{\frac{5}{8}} = 5954 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 5954 \cdot 8 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 13,7 \text{ град}$$

$$\Delta t_2 = 30,8 - 8 - 13,7 = 9,1 \text{ град}$$

$$\alpha_2 = 12,34(5954 \cdot 8)^{0,6} = 7908 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

$$q' = 5954 \cdot 8 = 47632 \text{ Вт/м}^2$$

$$q'' = 7908 \cdot 9,1 = 71963 \text{ Вт/м}^2.$$

Очевидно, що

$$q' \neq q''$$

Для розрахунку в третьому наближенні будемо графічну залежність  $q = f(\Delta t)$  і визначаємо  $\Delta t_1 = 9,2$  град.

Звідси отримаємо,

$$\alpha_1 = 6697 \cdot 4 \sqrt{\frac{5}{9,2}} = 5750 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 5750 \cdot 9,2 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 15,2 \text{ град}$$

$$\Delta t_2 = 30,8 - 9,2 - 15,2 = 6,4 \text{ град}$$

$$\alpha_2 = 12,34(5750 \cdot 9,2)^{0,6} = 8421 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

$$q' = 5750 \cdot 9,2 = 52900 \text{ Вт/м}^2$$

$$q'' = 8421 \cdot 6,4 = 53894 \text{ Вт/м}^2.$$

Як бачимо

$$q' \approx q''$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Знайдемо  $K_2$ .

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{5750} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{8421}} = 1724 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

### 2.3 Конструктивні розрахунки

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

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

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

$$\Delta t_{\pi_1} = 45,5 \cdot \frac{\frac{1213}{1667}}{\frac{1213}{1667} + \frac{1179}{1724}} = 45,5 \cdot \frac{0,728}{0,728 + 0,684} = 23,5 \text{ град};$$

$$\Delta t_{\pi_2} = 45,5 \cdot \frac{0,684}{1,412} = 22,0 \text{ град};$$

Перевіримо загальну корисну різницю температур установки

$$\sum \Delta t_{\pi} = 23,5 + 22 = 45,5 \text{ град}.$$

Тепер розрахуємо поверхню теплопередачі випарних апаратів

$$F_1 = \frac{2794 \cdot 10^3}{1667 \cdot 23,5} = 71,3 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{2715 \cdot 10^3}{1724 \cdot 22} = 71,6 \text{ м}^2$$

Знайдені значення відповідають раніше прийнятій поверхні  $F_{op}$  отже

немає необхідності виконувати корекцію розрахункових даних по корпусам.				Лист
<b>НАЗВАННЯ ДОКУМЕНТА</b>				22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Остаточно вибираємо по ГОСТ 11987-81 випарний апарат з природною циркуляцією і винесеною гріючою камерою (тип 1, виконання 2) виконаний з кипятильних труб довжиною 4 м, діаметра  $d_k = 38$  мм і товщиною стінки  $\delta_{ст} = 2$  мм і площею теплообміну  $F = 100$  м<sup>2</sup>.

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

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

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

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

Число труб гріючої камери

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

$$n = \frac{100}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 4} = 209,5,$$

приймаємо  $n = 210$ .

Тоді

$$D_k = \sqrt{\frac{1,27 \cdot \sin 60^\circ \cdot 0,048^2 \cdot 210}{0,7}} = 0,87 \text{ м},$$

приймаємо стандартне значення діаметра гріючої камери  $D_k = 1000$  мм.

Діаметр циркуляційної труби [4]

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

$$D_{ц} = \sqrt{1,2 \cdot 0,034^2 \cdot 210} = 0,54 \text{ м},$$

приймаємо стандартне значення діаметра циркуляційної труби  $D_{ц} = 600$  мм.

## 2.4 Гідравличний опір апарата

Об'ємна витрата розчину

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

де  $\rho$  – щільність розчину, кг/м<sup>3</sup>.

					Лист
					28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$V = \frac{5,0}{1077} = 4,64 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Рекомендована швидкість розчину

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

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

Величина критерію Re

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

$$Re = \frac{0,5 \cdot 0,034 \cdot 1077}{0,32 \cdot 10^{-3}} = 57216,$$

отже, режим руху - турбулентний.

Для турбулентного руху в круглих трубах коефіцієнт тертя

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

$$\lambda = \frac{0,316}{57216^{0,25}} = 0,0204$$

Для турбулентного руху в круглих трубах коефіцієнт тертя

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

$$\Delta p_{\text{тр}} = 0,0204 \cdot \frac{4}{0,034} \cdot \frac{0,5^2 \cdot 1077}{2} = 318 \text{ Па}$$

Коефіцієнти місцевих опорів:

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

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

Втрати тиску на місцевих опорах

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

$$\Delta p_{\text{м}} = (2 \cdot 1,0 + 1,0) \cdot \frac{0,5^2 \cdot 1077}{2} = 404 \text{ Па}$$

Загальна втрата тиску в трубному просторі

						Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} = 318 + 404 = 722 \text{ Па}$$

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

Для створення вакууму в випарних установках зазвичай застосовують конденсатори змішання з барометрической трубою. В якості охолоджувального агента використовують воду.

Витрата охолоджуючої води визначаємо з теплового балансу конденсатора

$$G_{\text{в}} = \frac{W_2 \cdot (i_{\text{бк}} - c_{\text{в}} \cdot t_{\text{к}})}{c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}})}, \quad (2.28)$$

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

Різниця температур між паром і рідиною на виході з конденсатора становить 3..5 град, тому кінцеву температуру води  $t_{\text{к}}$  приймають на 3 ... 5 град. нижче температури конденсації пари

$$t_{\text{к}} = t_{\text{бк}} - 3,9 = 75,9 - 3,9 = 72 \text{ °С}$$

Тоді

$$G_{\text{в}} = \frac{1,45 \cdot (2638 - 4,19 \cdot 72)}{4,19 \cdot (72 - 15)} = 14,19 \text{ кг/с}$$

Діаметр барометричного конденсатора визначаємо з рівняння витрати

$$d_{\text{бк}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W_2}{\rho_{\text{п}} \cdot \pi \cdot w_{\text{п}}}}, \quad (2.29)$$

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

$$d_{\text{бк}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,45}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 20}} = 0,61 \text{ м}$$

За ОСТ 26716-73 вибираємо конденсатор діаметром  $d_{\text{бк}} = 800$  мм и діаметром барометричної труби  $d_{\text{бт}} = 200$  мм.

Швидкість води в барометричній трубі

$$\omega = \frac{4 \cdot (G_{\text{в}} + W_2)}{\rho_{\text{в}} \cdot \pi \cdot d_{\text{бт}}^2}, \quad (2.30)$$

де  $\rho_{\text{в}} = 1000$  кг/м<sup>3</sup> щільність води.

					Лист
					27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

$$\omega = \frac{4 \cdot (14,19 + 1,47)}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2} = 0,5 \text{ м/с}$$

Висота барометричної труби

$$H_{\text{бт}} = \frac{B}{\rho_B \cdot g} + \left( 1 + \sum \zeta + \lambda \cdot \frac{H_{\text{бт}}}{d_{\text{бт}}} \right) \cdot \frac{w_{\text{бт}}^2}{2 \cdot g} + 0,5, \quad (2.31)$$

де  $B$  – вакуум в барометричному конденсаторі, Па;  $\sum \zeta$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів;  $\lambda$  – коефіцієнт тертя в барометричній трубі;  $H_{\text{бт}}$ ,  $d_{\text{бт}}$  – висота і діаметр барометричної труби, м; 0,5 – запас висоти на можливі зміни барометричного тиску, м.

$$B = P_{\text{атм}} - P_{\text{бк}} = (1 - 0,4) \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 5,9 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

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

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

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{бт}} \cdot \rho_B}{\mu_B}, \quad (2.32)$$

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

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{н}} + t_{\text{к}}}{2} = \frac{72 + 16}{2} = 44^\circ \text{C}$$

$$Re = \frac{0,5 \cdot 0,2 \cdot 1000}{0,632 \cdot 10^{-3}} = 158228$$

Для гладких труб при  $Re = 158228$  [2, рисунок 1.5]

$$\lambda = 0,0176$$

$$H_{\text{бт}} = \frac{5,9 \cdot 10^4}{9,8 \cdot 1000} + \left( 1 + 1,5 + 0,0165 \cdot \frac{H_{\text{бт}}}{0,125} \right) \cdot \frac{0,5^2}{2 \cdot 9,8} + 0,5,$$

отже

$$H_{\text{бт}} = 5,7 \text{ м}$$

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

						Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$G_k = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (W_2 + G_B) + 0,01 \cdot W_2, \quad (2.33)$$

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

$$G_k = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (1,47 + 14,19) + 0,01 \cdot 1,47 = 15,09 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Об'ємна продуктивність насоса

$$V_{\text{возд}} = \frac{R \cdot (273 + t_{\text{возд}}) \cdot G_k}{M_{\text{возд}} \cdot P_{\text{возд}}}, \quad (2.34)$$

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

Температура повітря [7]

$$t_{\text{возд}} = t_n + 4 + 0,1 \cdot (t_k - t_n) = 16 + 4 + 0,1 \cdot (72 - 16) = 25,6 \text{ °С}$$

Тиск повітря

$$P_{\text{возд}} = P_{\text{бк}} - P_{\text{п}}, \quad (2.35)$$

де  $P_{\text{п}}$  – тиск сухої насиченої пари при  $t_{\text{возд}} = 25,6 \text{ °С}$ ,  $P_{\text{п}} = 0,034 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$ .

$$P_{\text{возд}} = (0,4 - 0,034) \cdot 9,8 \cdot 10^4 = 35868 \text{ Па}$$

$$V_{\text{возд}} = \frac{8310 \cdot (273 + 25,6) \cdot 15,09 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 35868} = 0,036 \text{ м}^3/\text{с} = 2,16 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Знаючи об'ємну продуктивність повітря  $V_{\text{возд}}$  і залишковий тиск в конденсаторі  $P_{\text{бк}}$ , по ГОСТ 1867-87 підбираємо вакуум насос типу ВВН-3 потужністю на валу  $N_n = 6,5 \text{ кВт}$ .

Питома витрата енергії на тону води, що упарюється

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_n \cdot 1000}{W} \quad (2.36)$$

$$N_{\text{уд}} = \frac{6,5 \cdot 1000}{2,69 \cdot 3600} = 0,67 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$$

Далі здійснимо вибір підігрівача за основним рівнянням теплопередачі

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

$$F_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{K_{\text{п}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}}; \quad (2.37)$$

$$Q_{\text{п}} = G_{\text{н}} \cdot c_{\text{н}} \cdot (t_{2\text{к}} - t_{2\text{н}}), \quad (2.38)$$

де  $Q_{\text{п}}$  – теплове навантаження підігрівача, Вт;  $K_{\text{п}}$  – коефіцієнт теплопередачі,  $K = 120 \dots 340 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\Delta t_{\text{ср}}$  – середня різниця температур між паром і розчином, К;  $G_{\text{н}}$ ,  $c_{\text{н}}$  – кількість начального розчину, кг/с, и его теплоемкость, Дж/(кг·К);  $t_{2\text{н}}$ ,  $t_{2\text{к}}$  – початкова і кінцева температура розчину, °С.

$$Q_{\text{п}} = 5,0 \cdot 3,39 \cdot (119,4 - 25) = 1600 \text{ кВт};$$

$$t_{1\text{н}} = 135,6 \text{ °С} \rightarrow t_{1\text{к}} = 135,6 \text{ °С}$$

$$\begin{array}{l} t_{2\text{н}} = 119,4 \text{ °С} \rightarrow t_{2\text{к}} = 25 \text{ °С} \\ \hline \Delta t_{\text{м}} = 16,2 \qquad \Delta t_{\text{г}} = 110,6 \end{array}$$

Середня різниця температур

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (2.39)$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{110,6 - 16,2}{\ln \frac{110,6}{16,2}} = 49,1 \text{ К}$$

Тоді поверхня теплообміну

$$F_{\text{п}} = \frac{1600 \cdot 10^3}{300 \cdot 49,1} = 108,6 \text{ м}^2$$

Площа поверхні теплопередачі теплообмінника приймається на 10÷20% більше розрахункової величини, отже

$$F = (1,1 \div 1,2) \cdot F_{\text{п}} = 1,1 \cdot 108,6 = 119,4 \text{ м}^2. \quad (2.40)$$

На підставі знайденої поверхні по ГОСТ 15122-79 вибираємо кожухотрубчатий одноходовий теплообмінник з такими параметрами: площа поверхні теплопередачі  $F = 121 \text{ м}^2$ ; число труб  $n = 257$ ; довжина труб  $L = 6,0 \text{ м}$ ; діаметр труб  $d = 25 \times 2 \text{ мм}$ ; діаметр кожуха  $D = 600 \text{ мм}$ .

						Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,9$  (ручна дугова електрозварювання), напруга для сталі 08X18H10T при  $t = 135,6^\circ\text{C}$  [6]

$$\sigma = 134 \text{ МПа}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma \tag{3.1}$$

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

Розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p} \tag{3.2}$$

де  $p$  – тиск пара в міжтрубному просторі,  $p = 0,32 \text{ МПа}$ .

					НАЗВАНІЕ ДОКУМЕНТА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

$$s_p = \frac{0,32 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 134 - 0,32} = 1,3 \text{ мм}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при напруженнях, що дозволяються

$$p_n = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_n}{[\sigma]}, \quad (3.3)$$

де  $[\sigma]_n$  – пробне допустиме напруження

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

Тоді

$$p_n = 1,25 \cdot 0,32 \cdot \frac{191}{134} = 0,57 \text{ МПа}$$

З урахуванням гідростатичного тиску

$$p_r = H \cdot \rho \cdot g, \quad (3.4)$$

де  $H$  – висота кипятільних труб, м;

$$p_r = 4 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 392400 \text{ Па} = 0,04 \text{ МПа}.$$

$$p = p_n + p_r = 0,57 + 0,04 = 0,61 \text{ МПа}$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - p} \quad (3.5)$$

$$s_p = \frac{0,61 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,75} = 1,8 \text{ мм}.$$

Прийmemo надбавку до розрахункової товщині за весь термін служби апарату (10 років)

$$c = 10 \cdot 0,1 = 1,0 \text{ мм}$$

Тоді виконавча товщина стінки кожуха

$$s = s_p + c = 1,8 + 1,0 = 2,8 \text{ мм}$$

						Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

За ГОСТ 15121-79 мінімальна товщина обичайки для апаратів з  $D = 1000$  мм становить  $s = 5,0$  мм, з запасом приймаємо стандартне значення товщини стінки кожуха  $s = 6,0$  мм.

Тиск під кришкою

$$p_n = 0,189 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки при проведенні гідравлічних випробувань

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

$$s_p = \frac{0,61 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,5 \cdot 0,189} = 1,8 \text{ мм}$$

Виконавча товщина кришки

$$s_{кр} = s_p + c = 1,8 + 1,0 = 2,8 \text{ мм}$$

З метою уніфікації сортаменту приймаємо  $s_{кр} = 6,0$  мм.

### 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання кришки і корпусу апарату при  $D_{вн} = 1000$  мм і  $p = 0,32$  МПа вибирається по ОСТ 26-426-79 з плоскими приварними фланцями і ущільнювальною поверхнею типу «шип - паз».

Товщина втулки фланця [6]

$$s_0 \leq 1,35 \cdot s,$$

де  $s = 6$  мм – товщина обичайки апарату.

$$s_0 = 1,35 \cdot 6 = 7,5 \text{ мм,}$$

приймаємо  $s_0 = 8$  мм.

Перевіряємо виконання умови

$$s_0 - s \leq 5$$

$$8 - 6 = 2 \leq 5 \text{ – умови виконуються.}$$

Визначимо діаметр болтової окружності [6, с.263]

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

					Лист
					32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

де  $d_6 = 20$  мм – діаметр болтів при  $D_{вн} = 1000$  мм и  $h = 0,32$  МПа (табл. 1.40 [6]);  $u = 6$  мм – нормативний зазор між гайкою і втулкою ( $u = 4 \div 6$ , табл.9 [8]).

$$D_6 = 1,0 + 2 \cdot (2 \cdot 0,008 + 0,020 + 0,006) = 1,084 \text{ м,}$$

приймаємо  $D_6 = 1,1$  м. (см. с.263 [8]).

Зовнішній діаметр фланця [8, табл. 13.7]

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

де  $a = 40$  мм (табл.13.27 [8])

$$D_\phi = 1,1 + 0,04 = 1,14 \text{ м,}$$

приймаємо  $D_\phi = 1,15$  м (с.264 [8]).

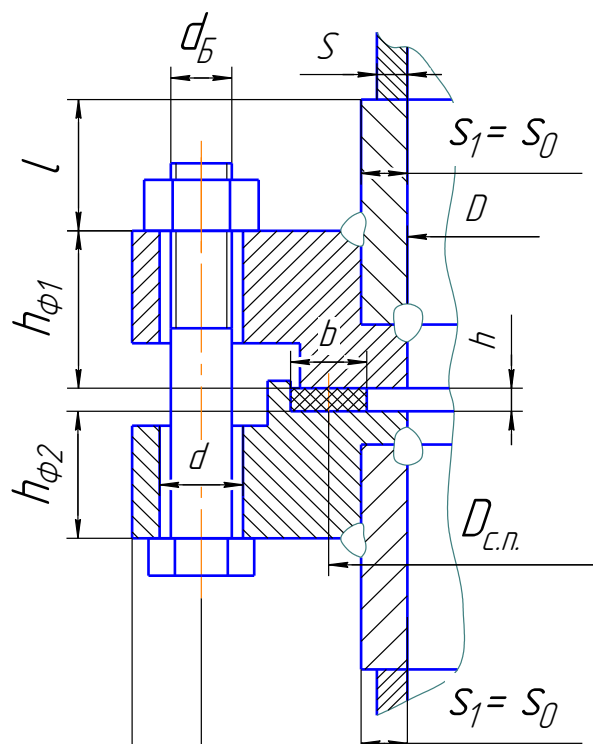
Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою [8]

$$D_{II} \geq D_6 - e,$$

де  $e = 30$  мм (табл.13,27 [8]);

$$D_{II} = 1,1 - 0,03 = 1,07 \text{ м}$$

приймаємо  $D_{II} = 1,07$  м



					$D_6$	Лист
					$D_\phi$	38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 3.1 - Схема з'єднання фланця

Середній діаметр прокладки [6, 1,122]

$$D_{\text{ср.п}} \geq D_{\text{п}} - b_{\text{п}},$$

де  $b_{\text{п}} = 20$  мм – ширина прокладки (табл.1.42 [8]);

$$D_{\text{ср.п}} = 1,07 - 0,02 = 1,05 \text{ м.}$$

Еквівалентна ширина прокладки

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

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

Застосовуємо матеріал прокладки – Пароніт по ГОСТ 481-80 товщиною 2 мм.

Кількість болтів, необхідна для забезпечення герметичності з'єднання, визначається за формулою [6, 1.123]

$$Z_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{б}}}, \quad (3.7)$$

де  $t_{\text{б}}$  – крок болтів,  $t_{\text{б}} = (4,2 \div 5) \cdot d_{\text{б}} = 4,5 \cdot 20 = 90$  мм (табл.13.20 [8])

$$Z_{\text{б}} = \frac{3,14 \cdot 1,1}{0,09} = 38.$$

Приймаємо найближче більше кратне чотирьом значення  $Z_{\text{б}} = 40$  мм.  
Висота фланця

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D_{\text{вп}} \cdot s_e}, \quad (3.8)$$

де  $\lambda = 0,38$  – коефіцієнт (рис.13.14 [8]);  $s_e$  – еквівалентна товщина втулки фланця

$$s_e = \alpha \cdot s_0.$$

						Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

$$s_e = 1,0 \cdot 8 = 8 \text{ мм};$$

$$h = 0,38 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 0,008} = 0,034 \text{ м},$$

приймаємо  $h = 40$  мм.

Розрахункова довжина болта між опорними поверхнями голівки болта і гайки

$$l_b = l_{b0} + 0,28 \cdot d_b;$$

$$l_{b0} = 2 \cdot (h_{cp} + s_{п});$$

$$l_{b0} = 2 \cdot (40 + 2) = 84 \text{ мм};$$

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

з урахуванням товщини трубної решітки приймаємо  $l_b = 140$  мм.

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання

$$Q_d = \frac{p_R \cdot \pi \cdot D_{cp.п}^2}{4}, \quad (3.9)$$

де  $p_R = 0,32$  МПа – внутрішній тиск в апараті;  $D_{cp.п} = 1,05$  м – середній діаметр прокладки

$$Q_d = \frac{0,27 \cdot 3,14 \cdot 0,9^2}{4} = 0,17 \text{ МН}.$$

Реакція прокладки за робочих умов [6, 1.128]

$$R_{п} = \pi \cdot D_{cp} \cdot b_e \cdot m \cdot p_R, \quad (3.10)$$

де  $m = 2,5$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу прокладки [8, табл. 13.28]

$$R_{п} = 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,00268 \cdot 2,5 \cdot 0,32 = 0,007 \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = \gamma \cdot Z_b \cdot f_b \cdot E_b \cdot (\alpha_{cp} \cdot t_{cp} - \alpha_b \cdot t_b), \quad (3.11)$$

					Лист
					36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

де  $\alpha_{cp} = 12,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця;  $\alpha_b = 12,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болтів;  $t_b = 0,96 \cdot t_p = 0,96 \cdot 135 = 130^\circ\text{C}$  – розрахункова температура неізолюваних болтів (6, табл. 1.37);  $\gamma$  – безрозмірний коефіцієнт;  $Z_b$  – кількість болтів;  $f_b = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  – розрахункова площа поперечного перерізу болта по зовнішньому діаметру;  $E_b = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  – модуль поздовжньої пружності стали 20к при  $t_b = 130^\circ\text{C}$ .

$$\gamma = A \cdot Y_b, \quad (3.12)$$

де  $Y_b$  – лінійна піддатливість болтів.

$$Y_b = \frac{l_b}{E_b \cdot f_b \cdot Z_b} \quad (3.13)$$

$$Y_b = \frac{0,14}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 40} = 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$$A = [Y_{\text{п}} + Y_b + 0,25 \cdot (Y_{\phi 1} + Y_{\phi 2}) \cdot (D_b - D_{\text{ср.п}})]^{-1}, \quad (3.14)$$

де  $Y_{\text{п}}$  – лінійна піддатливість прокладки;  $Y_{\text{ср}} = Y_{\phi 1} = Y_{\phi 2}$  – кутова піддатливість фланця;

$$Y_{\text{п}} = \frac{s_{\text{п}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\text{п}} \cdot E_{\text{п}}} \quad (3.15)$$

$$Y_{\text{п}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН};$$

$$Y_{\text{ср}} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E}, \quad (3.16)$$

де  $\omega$  – безрозмірний параметр;  $\psi_2$  – коефіцієнт, що визначається за рис.13.17[8].

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1}, \quad (3.17)$$

де  $\psi_1, j$  – коефіцієнти

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

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

						Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$K = \frac{1,15}{1,0} = 1,15;$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,15 = 6,6 \cdot 10^{-2},$$

$$\psi_2 = \frac{k+1}{k-1} = \frac{1,15+1}{1,15-1} = 14,3;$$

$$j = \frac{h}{s_e} = \frac{0,04}{0,008} = 5. \quad (\text{с.226 [8]})$$

Тоді

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,38 \cdot (1 + 6,6 \cdot 10^{-2} \cdot 5^2)]^{-1} = 0,52;$$

$$Y_\phi = \frac{[1 - 0,52 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 14,3}{0,04^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,353 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$$A = [15,2 \cdot 10^{-6} + 7,8 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,353 \cdot (1,1 - 1,05)^2]^{-1} = 1871 \text{ МН/м};$$

отже

$$\gamma = 1871 \cdot 7,8 \cdot 10^{-5} = 0,146;$$

Тоді

$$Q_t = 0,146 \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 72 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 71) = 0,0033 \text{ МН}.$$

Визначимо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$k_{ж} = \frac{Y_{\bar{6}} + 0,5Y_{cp} (D_{\bar{6}} - D - s_o) \cdot (D_{\bar{6}} - D_{cp.п})}{Y_{п} + Y_{\bar{6}} + Y_{\phi} (D_{\bar{6}} - D_{cp.п})^2} \quad (3.18)$$

$$k_{ж} = \frac{7,8 \cdot 10^{-5} + 0,353 \cdot 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot (1,1 - 1,0 - 0,008) \cdot (1,1 - 1,05)}{15,2 \cdot 10^{-6} + 7,8 \cdot 10^{-5} + 0,353 \cdot (1,1 - 1,05)^2} = 0,91.$$

Визначимо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$p_{\bar{6}1} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{ж} \cdot Q_d + R_n \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{cp.п} \cdot b_{п} \cdot p_{пр} \end{array} \right\}, \quad (3.19)$$

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

20 МПа.					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	38

$$P_{\sigma 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,91 \cdot 0,277 + 0,007 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \\ 0,66 \end{array} \right\} = 0,66 \text{ МН.}$$

За робочих умов [8]

$$P_{\sigma 2} = P_{\sigma 1} + (1 - k_{ж}) \cdot Q_d + Q_t \quad (3.20)$$

$$P_{\sigma 2} = 0,66 + (1 - 0,91) \cdot 0,277 + 0,0033 = 0,69 \text{ МН.}$$

Умова міцності болтів [6]

$$\frac{P_{\sigma 1}}{Z_{\sigma} \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma_{\sigma}]^{20}, \quad (3.21)$$

$$\frac{P_{\sigma 2}}{Z_{\sigma} \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma_{\sigma}]^t, \quad (3.22)$$

де  $[\sigma_{\sigma}]^{20} = 200$  МПа – для матеріалу болтів при температурі 20°C;  $[\sigma_{\sigma}] = 138$  МПа – для матеріалу болтів при температурі 130°C.

$$\frac{0,66}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 200 = 70,2 \leq 200 \text{ – умова виконується;}$$

$$\frac{0,69}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 138 = 73,4 \leq 138 \text{ – умова виконується}$$

Визначимо приведенний згинальний момент за формулою 1.145 [6]

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_{\sigma} - D_{\text{ср.п}}) \cdot P_{\sigma 1} \\ 0,5 \cdot (D_{\sigma} - D_{\text{ср.п}}) \cdot P_{\sigma 2} \end{array} \right\} \quad (3.23)$$

$$M_0 = \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (1,1 - 1,05) \cdot 0,66 \\ 0,5 \cdot (1,1 - 1,05) \cdot 0,69 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,017 \\ 0,018 \end{array} \right\} = 0,018 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Умова міцності для прокладки

$$\frac{P_{\sigma \text{max}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} \leq p_{\text{п.р}} \quad (3.24)$$

де  $p_{\text{п.р}}$  – для прокладки из паронита по табл. 1.44 [6]  $p_{\text{п.р}} = 130$  МПа;

$$P_{\sigma \text{max}} = \max \{P_{\sigma 1}; P_{\sigma 2}\} \quad (3.25)$$

Лист

39

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

$$p_{\text{бmax}} = \max\{0,66; 0,69\} = 0,69 \text{ МН.}$$

$$\frac{p_{\text{бmax}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} = \frac{0,69}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02} = 10,5 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа,}$$

умова міцності виконується.

Для перетину, обмеженого розміром  $s_0$  перевіряємо умова за формулою 1.147 [6]:

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \varphi \cdot [\sigma_0], \quad (3.26)$$

де  $\sigma_0$  – максимальна напруга в перетині, обмеженому розміром  $s_0$ , яка визначається за формулою 1.148 [6];  $\varphi = 0,95$  – коефіцієнт міцності зварних швів;  $[\sigma_0]$  – допустиме напруження для фланця в перерізі  $s$  при кількості навантажень з'єднання (складання-розбирання) не більше  $2 \cdot 10^3$ ;  $\sigma_t$  – тангенціальна напруга у втулці від внутрішнього тиску;  $\sigma_m$  – меридиальное напруга у втулці від внутрішнього тиску;  
за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_m = \frac{p_p \cdot D_{\text{вп}}}{4(s_0 - c)} \quad (3.27)$$

$$\sigma_m = \frac{0,32 \cdot 1,0}{4 \cdot (0,008 - 0,0003)} = 11 \text{ МПа;}$$

за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_t = \frac{p_p \cdot D_{\text{вп}}}{2 \cdot (s_0 - c)} \quad (3.28)$$

$$\sigma_t = \frac{0,32 \cdot 1,0}{2 \cdot (0,008 - 0,0003)} = 22 \text{ МПа;}$$

за формулами 1.143 и 1.148 [6]

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \frac{T_{\text{ср}} \cdot M_0 \cdot v}{D^* \cdot (s_0 - c)^2}, \quad (3.29)$$

де  $\psi_3 = 1$  – для плоских приварних фланців;  $T_{\text{ср}}$  – безрозмірний коефіцієнт;  
за формулою 1.144 [6]

						Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$T_{cp} = \frac{D_n^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_n}{D_{вп}}\right) - D_{вп}^2}{(1,05 \cdot D_{вп}^2 + 1,945 \cdot D_n^2) \cdot \left(\frac{D_n}{D_{вп}} - 1\right)} \quad (3.30)$$

де  $D_n = 1,07$  м – зовнішній діаметр прокладки;

$$T_{cp} = \frac{1,07^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{1,07}{1,0}\right) - 1,0^2}{(1,05 \cdot 1,0^2 + 1,945 \cdot 1,07^2) \cdot \left(\frac{1,07}{1,0} - 1\right)} = 1,7,$$

$$\sigma_0 = \frac{1 \cdot 1,7 \cdot 0,018 \cdot 0,52}{1,07 \cdot (0,008 - 0,0003)^2} = 251 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 1,9 \cdot 10^5 = 570 \text{ МПа}.$$

Умова міцності

$$\sqrt{(251+11)^2 + 22^2} - (251+11) \cdot 22 \leq 0,95 \cdot 570$$

252 < 542 – умова міцності виконана.

Окружна напруга в кільці фланця

$$\sigma_k = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{cp})] \cdot \psi_2}{(D_{вн} \cdot h_{\psi}^2)} \quad (3.31)$$

$$\sigma_k = \frac{0,018 \cdot 14,3 \cdot [1 - 0,52 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)]}{1,0 \cdot 0,04^2} = 49 \text{ МПа}.$$

Визначаємо кут повороту фланця за формулою 1.150 [6]

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D_{вн}}{E \cdot h_{cp}} \leq [\Theta], \quad (3.32)$$

де  $[\Theta] = 0,009$  рад – кут повороту фланця, що допускається

$$\Theta = \frac{49 \cdot 1,0}{1,9 \cdot 10^5} = 0,0064 < 0,009 \text{ рад},$$

тобто умова герметичності з'єднання виконується.

						Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3.3 Розрахунок опори

Маса обичайки сепаратора, корпусу і труби визначається за формулою

$$m = \pi \cdot D \cdot s \cdot H \cdot \rho \quad (3.41)$$

$$m_c = 3,14 \cdot 1,8 \cdot 0,008 \cdot 1,9 \cdot 7850 = 674 \text{ кг};$$

$$m_k = 3,14 \cdot 1,0 \cdot 0,008 \cdot 0,8 \cdot 7850 = 197 \text{ кг};$$

$$m_T = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,004 \cdot 1,3 \cdot 7850 = 77 \text{ кг}$$

Маса кришки сепаратора

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D_c^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (3.42)$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 1,8^2 \cdot 0,008 \cdot 7850 = 252 \text{ кг}$$

Маса штуцерів і оснащення в розмірі 10% від маси корпусу

$$m_{шт} = 0,1 \cdot m_k = 0,1 \cdot 948 = 95 \text{ кг}$$

Маса розчину в апараті

$$m_{сус} = V \cdot \rho_c = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot H_0 \cdot \rho_c \quad (3.43)$$

$$m_p = \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} \cdot 4,0 \cdot 1077 = 3382 \text{ кг}$$

Маса завантаженого апарату

$$m = 674 + 197 + 77 + 252 + 95 + 3382 = 4677 \text{ кг}$$

Вага апарату

$$G = m \cdot g = 4677 \cdot 9,81 = 45,9 \cdot 10^3 \text{ Н} = 45,9 \text{ кН}$$

Приймаємо кількість опор  $n = 3$  шт.

Навантаження на одну опору

$$Q = \frac{G}{n} = \frac{45,9}{3} = 15,3 \text{ кН}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42



Приймаємо опору-лапу типу 2 з допустимим навантаженням  $Q = 25$  кН.  
Позначення опори: Опора 2-2500 ОСТ 26-665-79.

## 4. Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж апарата

Випарні апарати, як правило, монтують групами. Особливістю приймання підстав для монтажу групи апаратів є перевірка їх осьових і висотних відміток, відхилення яких від проектних не повинні виходити за межі допусків, що наведені в СніП. Такі вимоги диктуються тим, що вмонтовується група апаратів послідовно пов'язана між собою короткими трубопроводами або патрубками, які повинні збігатися без зміщення і перекося.

Висотні позначки опорних підстав кожного апарату рекомендується перевіряти гидростатическим рівнем або нівеліром. Висотні позначки на основаниях з металоконструкцій вирівнюють шляхом укладання тонких металевих підкладок, які після установки і вивірки апарату прихоплюють до основи електрозварюванням.

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

Все випарні апарати перед їх установкою надходять на складальний майданчик для укрупненої сборки, гідравлічного випробування і нанесення ізоляції.

На підготовчому майданчику випарний апарат випробувають на герметичність і щільність при тиску, вказаного в робочому кресленні.

Випарні апарати з природною циркуляцією і сосною гріючої камерою надходять на місце установки в повністю зібраному вигляді з сепаратором і нижньою камерою, а сполучні труби з колінами поставляються окремо.

Гідравлічні випробування апарату проводять перед установкою його на фундамент. При виявленні будь-яких дефектів здійснюються дії по їх усуненню.

На гріють камерах і сепараторах випарних апаратів заводом-виготовлювачем повинні бути передбачені спеціальні захватні пристрої для установки їх в проектне положення.

Залежно від місця установки апаратів їх габаритних розмірів і маси підйом здійснюють із застосуванням вантажопідіймальних механізмів і пристосовування, передбачених проектом виконання робіт.

Під час вивірення установки випарних апаратів на фундаменти відхилення від проектних осей і відміток, а також горизонтальності і вертикальності не повинні перевищувати

$\pm 20$  мм; - головних осей апарату в плані:

$\pm 10$  мм; - фактичної висотної позначки встановленого апарату:

- вертикальної осі апарату від вертикальності: 3 мм на 1 м, але не більше 35

мм.					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	43

Вивірка правильності установки апаратів в проектне положення на фундаменті повинно здійснюватися:

- вертикальних апаратів за допомогою тахометричного теодоліта за двома образуючими, зсунутими в плані відносно один одного на 90°;
- осей опорних стійок каркасів - схилом;
- площин кронштейнів опорних стійок (несучої труби або секції) від розподілення їх в одній горизонтальній площині - по натягнутій струні.

Під час вивірення установки каркаса (опорної металоконструкції) апарату на фундаменті або інших підставах відхилення від проектних розмірів, а також горизонтальності і вертикальності не повинні перевищувати:

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

## 4.2 Ремонт апарата

У процесі тривалої роботи теплообмінні апарати піддаються забрудненню і зносу. Поверхня їх покривається накипом, відкладеннями солей, маслом і т.п. Зі збільшенням відкладень збільшується термічний опір стінки і погіршується теплообмін.

Знос теплообмінного апарату виражається в наступному:

- зменшення товщини стінки корпусу, трубних решіток, кришок;
- випучини і вм'ятини на корпусі і кришках;
- свищі, тріщини на корпусі, трубах і фланцях;
- збільшення діаметра отворів для труб в трубній решітці;
- прогин трубних решіток і деформація трубок;
- порушення гідро- і теплоізоляції.

Підготовка до ремонту включає в себе наступні заходи:

- знижується надлишковий тиск в апараті до атмосферного і апарат звільняється від продукту;
- відключається арматура, ставляться заглушки на всіх підвідних і відвідних трубопроводах;
- проводиться продування азотом або водяною парою з наступною промивкою водою і продувкою повітрям;
- складається план і виходить дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту;
- складається акт здачі в ремонт.

Далі виконуються наступні роботи:

- зняття кришок апарату, люків, демонтаж обв'язки і арматури;
- виявлення дефектів вальцювання і зварювання, а також цілісності трубок гідравлічним та пневматичним випробуваннями на робочий тиск;
- часткова зміна або відключення дефектних трубок, кріплення труб гнуття або зварюванням;
- ремонт футеровки і антикорозійних покриттів деталей з частковою заміною;
- ремонт або заміна зношеної арматури, трубопроводів, регулювання запобіжних

к	л	а	п	а	н	і	в					Лист
												44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								

- зміна ущільнень розбірних з'єднань;
- чистка внутрішньої поверхні корпусу апарату і теплообмінних трубок, зачистка отворів в трубних решітках, зачистка решт трубок;
- заміна частини корпусу, кришок і зношених деталей;
- монтаж трубного пучка і вальцювання труб в решітці;
- монтаж різьбових з'єднань;
- гідравлічне випробування міжтрубному і трубної частин апарату пробним тиском;
- пневматичне випробування апарату.

Найбільш трудомісткими операціями при ремонті теплообмінної апаратури є: демонтаж різьбових з'єднань; очищення теплообмінної апаратури; ремонт трубних пучків і їх установка; випробування теплообмінників.

Очищення трубок від відкладень включає обробку як внутрішніх, так і внутрішніх поверхонь. Використовуються такі методи очистки: хімічний, абразивний (для нерозчинних відкладень), спеціальний.

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

Абразивні методи очищення - механічні, гідропневматичні, гідромеханічні (струменем води високого тиску) і піскоструминний.

Механічна чистка здійснюється за допомогою шомполів, свердл, щіток, шарошок, різців, бурів з подачею води або повітря для видалення продуктів очищення. Найпростішим пристосуванням є сталевий пруток з ершом зі сталевого дроту, приварених до прутку.

Гідромеханічна очищення полягає в наступному. Насосом високого тиску по напірним шлангах вода подається в порожнисту штангу, на кінці якої встановлено сопло з декількома отворами. Струмінь води виходить з сопла під великим тиском, ріже і відриває відкладення від стінок очищаються поверхонь. Гідність такого методу - можливість очищення внутрішньої і зовнішньої поверхонь трубок, а також корпусу безпосередньо на місці установки апарату. При цьому досягається ступінь очищення значно вище, ніж при других методах.

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

Піскоструминне очищення дозволяє домогтися найбільш повного очищення труб, в результаті чого коефіцієнт теплопередачі відновлюється до значень, що відповідають відсутності термічних опорів обумовлених забрудненням. Сутність піскоструминного очищення полягає в обробці поверхні суспензією піску в повітрі або воді, яка подається з великою швидкістю. Засмоктування піску здійснюється ежекційними установками.

До спеціальних методів відноситься ультразвукове очищення. Ультразвукові перетворювачі за посередництвом головок з вібраторами, що встановлюються в

рідині (воді) в нутрі очищаного обсягу, дозволяє повністю видалити тверді				Лист
				46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

відкладення, що руйнуються під дією ультразвукових коливань і вимиваються звукопередаючим середовищем.

При ремонті трубного пучка допускається установка пробок на 15% трубок в кожному потоці пучка. При виході з ладу понад 15% трубок всі вони замінюються повністю. Вибір матеріалу трубок здійснюється з урахуванням характеристики середовища, її параметрів і відповідно до діючих норм.

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

Дефектні штуцери і трубні решітки при досягненні максимальних величин зносу і прогину підлягають заміні.

Свищі і тріщини усуваються шляхом заварки або постановкою накладок з попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають протяжність і положення решт тріщин, виявлених в корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюються свердлами діаметром 3-4 мм. Некрізні тріщини глибиною не більше 0,4 товщини стінки обробляється під заварку односторонньої вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям крайок під кутом 50-60°. При тріщині більше 100 мм зварювання ведуть обратноступенчатим методом. Наскрізні і нескрізні тріщини глибиною більше 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубкою зубилом або газорезкою. При появі гнездообразно тріщини пошкоджені місця вирізаються і закриваються латками, які не повинні мати гострих кутів. Латки вваривать врівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати одну третю площі листа апарату.

При частковій заміні корпусу апарату необхідно виконувати вимоги:

- матеріал для виготовлення нових частин корпусу повинен бути по механічним і хімічним властивостям однаковий з матеріалом ремонтується корпусу;
- товщиною листа заміної частини повинна бути не менше проектної;
- електроди повинні відповідати зварювального матеріалу;
- замикаючі обичайки повинні бать шириною не менше 400 мм;
- поздовжні шви в горизонтальних апаратах не повинні бути в нижній частині апарату;
- кромки поверхні обичайки і основного металу на ширині 10 мм повинні бути зачищені перед зварюванням до чистого металу;
- поздовжні шви в окремих обичайках циліндричної частини апарату, а також меридіональні або хордові шви днищ, що примикають до обичайок, повинні бути зміщені відносно один одного не менш ніж на 100 мм;
- відстань між поздовжніми швами в окремих обичайках має бути не менше 200 мм;
- при зварюванні стиків необхідно передбачити плавний перехід від одного елемента до іншого.

						Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 5 Охорона праці

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливостей під час роботи

У проектованому технологічному процесі можливі наступні небезпеки:

1. Теплові опіки.
2. Поразка струмом.

Для кожного хімічного виробництва складається нормативно-технічна документація, в якій вказується:

- 1) Характеристика властивостей переробляється продукту, вихідного продукту і допоміжних матеріалів.
- 2) Опис технологічного процесу зі схемою виробництва.
- 3) Норми технологічного режиму із зазначенням гранично допустимих відхилень.
- 4) Можливі неполадки технологічного процесу, їх причини та способи усунення.
- 5) Основні правила пуску, безпечного ведення процесу і зупинки обладнання.
- 6) Аналітичний і автоматичний контроль виробництва.
- 7) Правила аварійної зупинки виробництва.
- 8) Відходи виробництва, стічні води і викиди в атмосферу: їх склад, способи утилізації або очищення і порядок скидання.

	9) Перелік інструкцій, знання яких є обов'язковим для осіб, які ведуть				Лист
					48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

технологічний процес і які обслуговують дане виробництво.

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

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

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

На шкалах найпростіших приладів (манометри, термометри і т. д.) наносять червону риску, яка вказує гранично допустиме відхилення параметра. Процес випарування відноситься до процесу зі значним виділенням тепла. Температура нагрітих поверхонь обладнання і огорожень на робочих місцях не повинна перевищувати 45°C; для обладнання, всередині якого температура дорівнює або нижче 100 °, температура поверхні не повинна перевищувати 35°C.

## 5.2 Загальні заходи безпеки

Виробничі приміщення процесу випарки відносяться до категорії Г.

Евакуаційні шляхи забезпечують безпечну евакуацію усіх людей, які знаходяться в приміщенні, через наявні евакуаційні виходи, розташовані розсереджено. Ширина шляхів у просвіті не менше 1м, дверей не менше 0,8 м. Висота проходів на шляхах евакуації не менше 2м. Двері на шляхах евакуації відкриваються у напрямку виходу з будівлі. Клас приміщень П-ІІа.

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

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

Захист від статичної електрики включає в себе заземлення технологічного обладнання та комунікацій.

Джерелами шуму є вентилятори, та насос. Заходи по боротьбі з шумом включають в себе: розміщення вентиляторів в окремих ізольованих приміщеннях; обмеження швидкості обтікання деталей повітрям до 0,3 м / с; Поєднання повітропроводів до вентиляторів через гнучку, з прогумованої тканини, вставку; установка вентиляторів на окремих фундаментах, віброізольованих від статі та

					Лист
					49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

інших конструкцій будівлі.

Для обслугового персоналу за списками професій і нормам видається спецодяг і спецвзуття: х/б костюми або халати; тапочки, черевики, х/б білизна, берети або косинки, гумові рукавички. На місті роботи є аварійний запас спецодягу і спецвзуття в кількості 3-х комплектів, які зберігаються в спец. шафі.

У виробництві застосовується водяне опалення з температурою на поверхності нагрівальних приладів  $< 100^{\circ}\text{C}$ , а також повітряне опалення, совместне з припливною вентиляцією.

З метою запобігання можливих випадків ураження електричним струмом передбачені наступні заходи: повна ізоляція струмоведучих ліній; застосування для місцевого освітлення низьковольтної напруги (12 ... 36 В); корпусу всіх електродвигунів, обладнання, комунікацій - заземлення; місця парогазовиделеній обладнані відсмоктувальними приспособами, які під'єднані до витяжних ліній.

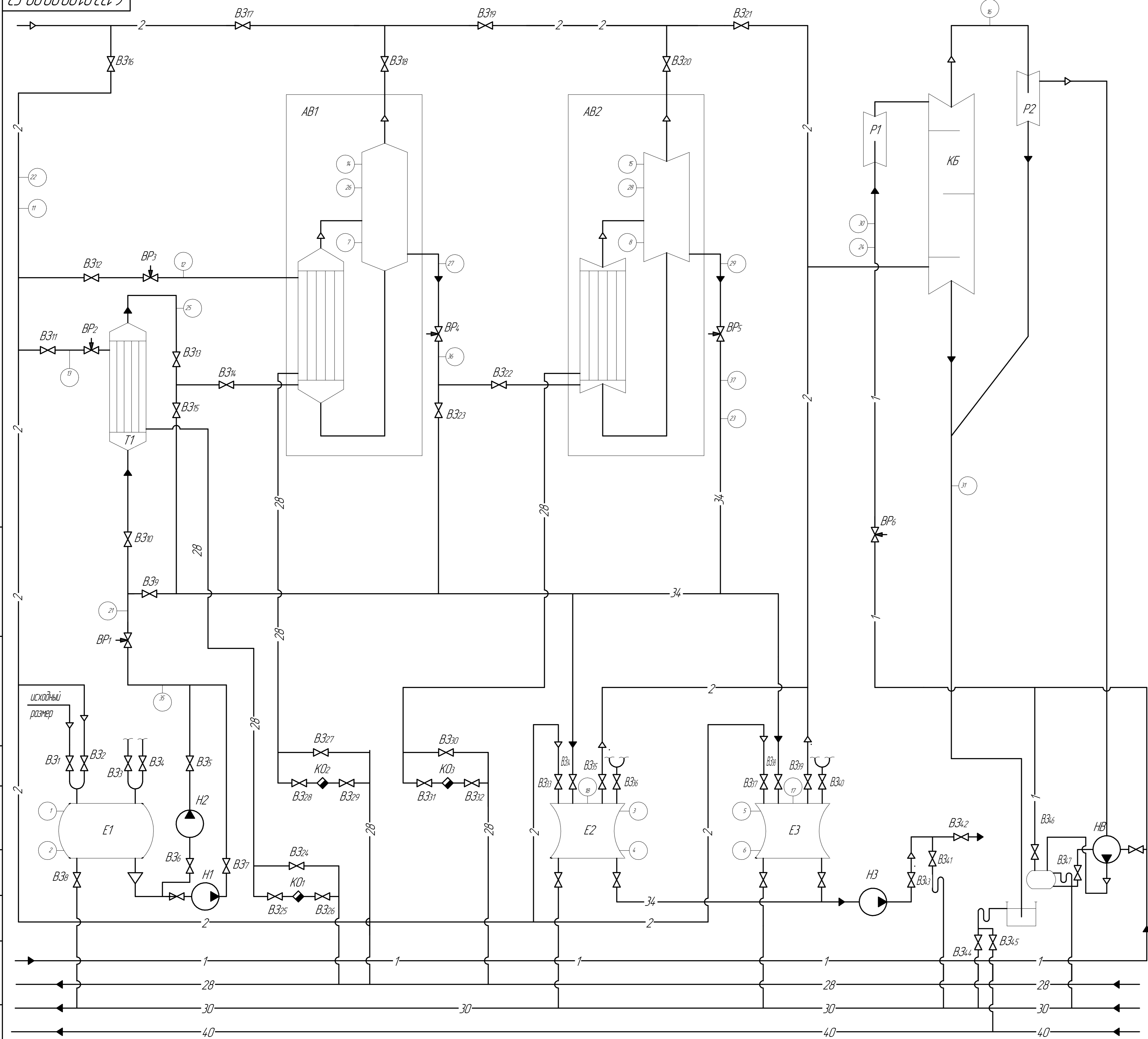
## Список литературы

1. Плановский А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии. Москва, Химия, 1968, 848 с.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Ленинград, Химия, 1987, 576 с.
3. Соколов В. Н. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1982, 384 с.
4. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Москва, Химия, 1983, 272 с.
5. Генкин А. Э. Оборудование химических заводов. Москва, Высшая школа, 1978, 272 с.
6. Михалев М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1984, 301 с.
7. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. Ленинград, Химия, 1991, 352 с.
8. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов, Справочник. Ленинград, Машиностроение, 1981, 382 с.
9. Стабников В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств. Москва, Легкая и пищевая промышленность, 1983, 328 с.
10. Бакластов А. М. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок. Москва, Энергия, 1970, 568 с.
11. Лазинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. Ленинград, Машиностроение, 1970, 7

						Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



ЕЗ 00000103ЕЕ1.9



Умовне позначення	Найменування середовища
1	Вода
2	Пара
29	Конденсат
30	В каналізацію
34	Упарений розчин
40	Оборотна вода

Точки заміру і контролю		
Познач.	Параметр, що контролюється	Примітка
1-9	Рівень	
11-19	Тиск	
21-24	Витрата	
25-33	Температура	
35-38	Концентрація	

Познач.	Найменування	Кільк.	Примітка
AB <sub>1-3</sub>	Апарат випарний		
B3 <sub>1-4,7</sub>	Вентиль запірний		
BP <sub>1-7</sub>	Вентиль регулюючий		
E <sub>1-3</sub>	Ємність		
T	Теплообмінник		
КБ	Конденсатор барометричний		
P <sub>1-2</sub>	Розширювач		
KO <sub>1-4</sub>	Конденсатовідвідник		
H <sub>1-3</sub>	Насос		
HВ	Насос вакуумний		

Лист № 1  
Лист № 2  
Лист № 3  
Лист № 4  
Лист № 5  
Лист № 6  
Лист № 7  
Лист № 8  
Лист № 9  
Лист № 10  
Лист № 11  
Лист № 12  
Лист № 13  
Лист № 14  
Лист № 15  
Лист № 16  
Лист № 17  
Лист № 18  
Лист № 19  
Лист № 20  
Лист № 21  
Лист № 22  
Лист № 23  
Лист № 24  
Лист № 25  
Лист № 26  
Лист № 27  
Лист № 28  
Лист № 29  
Лист № 30  
Лист № 31  
Лист № 32  
Лист № 33  
Лист № 34  
Лист № 35  
Лист № 36  
Лист № 37  
Лист № 38  
Лист № 39  
Лист № 40

6.133.01.00.00.00 СЗ

Установка випарна  
абдукорпусна  
Технологічна схема

Зм.	Арх.	№ док.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Бугай						
Перев.							
Т.контр.							
Н.контр.							
Затв.							

Архив 1  
СумДУ  
гр. ХМат-51ш  
Формат А1



