

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

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

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

Виконав:

студент групи ХМ-91/3кі-1

Бондар Олександр Віталійович

підпис

Залікова книжка

№ 21510012

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Керівник:

Михайловський

Яків Емануїлович

підпис, дата

Підпис голови

(заступника голови) комісії

СУМИ 2023

Зміст

Вступ.....	5
1 Технологічна частина.....	6
1.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	6
1.2 Теоретичні основи процесу.....	9
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів.....	10
2 Технологічні розрахунки процесу і апарату.....	14
2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу.....	14
2.2 Технологічні розрахунки.....	21
2.3 Конструктивні розрахунки.....	26
2.4 Гідравлічний опір апарату.....	30
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	31
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність.....	36
3.1 Визначення товщини стінки корпусу та кришки апарату.....	36
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання апарату.....	39
3.3 Розрахунок опори апарату.....	46
4 Монтаж та ремонт апарату.....	48
4.1 Монтаж апарату.....	48
4.2 Ремонт апарату.....	50
5 Охорона праці.....	55
Список літератури.....	60
Додаток – Специфікації до креслень	

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Бондар</i>			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Михайловський</i>			4		63
<i>Реценз.</i>					<i>Пояснювальна записка</i> <i>СумДУ ХМ-91/Зкі-1</i>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>							

Вступ

У сфері хімії та пов'язаних з нею галузях промисловості, рідкі суміші, які випаровуються для досягнення певної концентрації, мають велике розмаїття фізичних параметрів, таких як в'язкість, густина, температура кипіння, величина критичного теплового потоку і так далі, а також інші характеристики, наприклад кристалізація, спінювання, термостійкість розчинів тощо.

Нітрат натрію, або як його ще називають азотнокислий натрій, натрієва селітра, чилійська селітра, натронна селітра — натрієва сіль азотної кислоти з формулою NaNO_3 , яка має безбарвні прозорі кристали з ромбоєдричними або тригональними кристалами без запаху та з різко солоним смаком. Застосовується як добрива у харчовій, скляній, металообробній промисловості; для отримання вибухових речовин, ракетного палива та піротехнічних сумішей для надання вогню жовтого кольору.

Нітрат натрію виходить із природних покладів вилуговуванням гарячою водою та кристалізацією; абсорбцією розчином соди оксидів азоту; обмінним розкладанням кальцієвої або аміачної селітри із сульфатом, хлоридом або карбонатом натрію. Однією із ключових стадій виробництва нітрату натрію є концентрування шляхом випарювання. [11]

Властивості сумішей визначають основні вимоги до умов проведення процесу (вакуум-випарювання, прямо- та протитечійні, одно- та багатостадійні багатокорпусні випарні установки), а також до конструкцій випарних апаратів.

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

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тепла конденсації гріючої пари, що подається в міжтрубний простір гріючої камери, конденсат гріючої пари відводиться і повертається на ТЕЦ. Нагрітий розчин випаровується у корпусі 4 під тиском P_1 , вторинна (сокова) пара, яка утворилася в першому корпусі, після відділення від крапель розчину під тиском P_1 надходить у гріючу камеру другого корпусу 5 та використовується в ній як гріюча. Конденсат сокової пари відводиться з гріючої камери у збірник конденсату і використовується на технологічні потреби виробництва.

Випарений до певної концентрації розчин з нижньої частини корпусу 4 під дією різниці тисків у корпусах самоплином надходить у розчинний простір корпусу 5, у якому тиск у сепараційній зоні дорівнює P_2 та він менше тиску сокової пари першого корпусу. В результаті зниження тиску в корпусі 5 температура кипіння розчину в ньому також знижується, і це дозволяє в другому корпусі використати сокову пару першого корпусу як гріючої для другого корпусу.

Подібним чином процес проходить в третьому корпусі 6, у якому сокова пара корпусу 5 є гріючою парою для третього корпусу 6, процес випарювання розчину в ньому відбувається під вакуумом (при тиску P_2). Сокова пара із третього корпусу виходить із низькими енергетичними параметрами і тому не використовується, а спрямовується в барометричний конденсатор 9, де відбувається її конденсація за рахунок контакту з холодною водою, що подається на полиці конденсатора. Після конденсації суміш води і конденсату відводиться з барометричного ящика 10 у систему водоохолоджувального циклу.

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

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

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнт тепловиділення з боку киплячої рідини, що допомагає уникнути утворення накипу на поверхні труб.

Для природної циркуляції потрібні дві умови:

1) достатня висота рівня рідини в опускній трубі, щоб врівноважити стовп на породі кісткової суміші в кип'ятільних трубах і повідомити цю суміш необхідну швидкість;

2) достатня інтенсивність пароутворення в кип'ятільних трубах, щоб пародидкостна суміш мала можливо малу густину.

Випарний апарат з природною циркуляцією складається з винесеної гріючої камери 1, сепаратора 2 та циркуляційної труби 3, що виготовляються з стандартних або нормалізованих елементів.

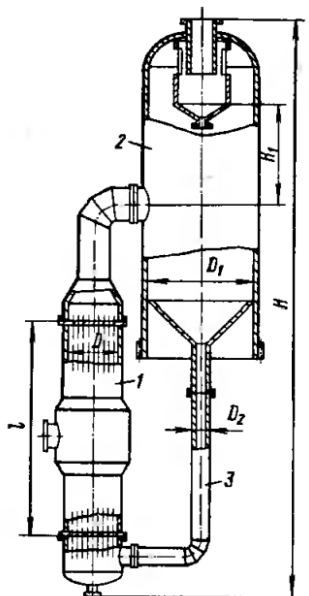


Рисунок 1.2 - Основні конструктивні розміри випарного апарата:

1 - гріюча камера; 2 - сепараційна камера; 3 – циркуляційна труба

Апарат працює у безперервному режимі. Свіжий розчин подається у гріючу камеру через штуцер і підігрівається до кипіння за рахунок поступального нагрівання паром, що постачається у міжтрубний простір через

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

інший штуцер. Киплячий розчин з трубок потрапляє в конічну частину сепаратора, де відокремлюється вторинна пара від розчину. Через циркуляційну трубу розчин спускається вниз і, змішуючись зі свіжим розчином, знову прокручується через трубний простір. Це безперервне перемішування відбувається завдяки різниці густини між випареним розчином і свіжим розчином. При досягненні необхідної концентрації, упарений розчин виводиться з системи безперервно. Вторинна пара проходить через бризковідділювач, де краплі розчину відділяються і виводяться.

Для виготовлення випарних апаратів використовуються вуглецеві кислотостійкі сталі і мідь як конструкційні матеріали. Ці апарати працюють у важких умовах, де процеси корозії прискорюються при високих температурах та високій концентрації розчинів. В деяких випадках для забезпечення чистоти продукту випарні апарати виготовляються з кислотостійких матеріалів.

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

При виборі конструкційного матеріалу для проектування елемента, вузла або апарату, необхідно враховувати умови експлуатації, такі як температура, тиск, навантаження, агресивність середовища, вимоги до якості продукту тощо. Головна мета - забезпечити ефективну технологію виготовлення елемента або виробу, при цьому використовуючи матеріал, який є доступним та вартісно ефективним, без необхідності його дефіцитних аналогів.

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням продукту, що має кисле середовище, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято корозійностійку сталь аустенітного класу 12X18H10T ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі - 256° С до + 525° С для корпусних елементів, до 600 ° С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному та гарячому стані, добре обробляється усіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 1.1.

										Арк.
										12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

XI.B.00.00.00.ПЗ

Таблиця 1.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 12Х18Н10Т

З, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	E·10 ⁵ 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

Один з недоліків цієї сталі полягає у великій в'язкості, що ускладнює її механічну обробку. Однак, враховуючи, що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється лише на місцях з'єднання зварювання, цей фактор не має суттєвого впливу на загальну вартість виготовлення апарату. У якості матеріалу зовнішнього оснащення, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з середовищем, що переробляється, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності та досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 20

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

Концентрація розчинів по корпусах:

у першому корпусі:

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

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

у другому корпусі:

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

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

у третьому корпусі:

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

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

що відповідає завданню.

2.1.2 Тепловий баланс

Загальний перепад тиску в установці:

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

Розподілимо загальний перепад тисків між корпусами порівну:

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

Абсолютні тиски по корпусах будуть дорівнювати:

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

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

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

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

По тиску пари знаходимо їх температури та ентальпії.

Таблиця 2.1 Ентальпія на кожному етапі випарювання

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

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

Таблиця 2.2 Теплота пароутворення в кожному корпусі

Температура, °С	Тиск, МПа	Теплота пароутворення, кДж/кг
$t_{ВП1}=130+1=131$	0,278	2170
$t_{ВП2}=109,7+1=110,7$	0,148	2226
$t_{ВП3}=45,8+1=46,8$	0,011	2390

Сума гідравлічних депресій:

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

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

Площа поверхні теплопередачі орієнтовно визначається за формулою:

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

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Тоді по корпусах (орієнтовно):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Отриманим тиском відповідають наступні температури кипіння:

Таблиця 2.3 Температури кипіння по корпусам установки

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

Загальна корисна різниця температур по корпусах:

$$\Delta t_{\Pi_1} = t_{r_1} - t_{k_1} = 146,3 - 134,1 = 12,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\Pi_2} = t_{r_2} - t_{k_2} = 130 - 115,7 = 14,3 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\Pi_3} = t_{r_3} - t_{k_3} = 109,3 - 72,1 = 37,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Загальна корисна різниця температур:

$$\Sigma \Delta t_{\Pi} = 12,2 + 14,3 + 37,2 = 63,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Витрата пари, що гріє, в перший корпус, продуктивність кожного корпусу по випареній воді і теплові навантаження визначимо шляхом спільного вирішення рівнянь теплових балансів по корпусах і рівняння балансу по воді для всієї установки:

$$Q_1 = D \cdot (J_{r_1} - i_1) = 1,03 \cdot [G_H \cdot C_H \cdot (t_{k_1} - t_H) + W_1 \cdot (J_{\text{ВП}_1} - C_B \cdot t_{k_1}) + Q_{1\text{конц}}]; \quad (2.8)$$

$$Q_2 = W_1 \cdot (J_{r_2} - i_2) = 1,03 \cdot [(G_H - W_1) \cdot C_1 \cdot (t_{k_2} - t_{k_1}) + W_2 \cdot (J_{\text{ВП}_2} - C_B \cdot t_{k_2}) + Q_{2\text{конц}}];$$

$$Q_3 = W_2 \cdot (J_{r_3} - i_3) = 1,03 \cdot [(G_H - W_1 - W_2) \cdot C_2 \cdot (t_{k_3} - t_{k_2}) + W_3 \cdot (J_{\text{ВП}_3} - C_B \cdot t_{k_3}) + Q_{3\text{конц}}];$$

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

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

При розв'язанні рівнянь можна прийняти:

$$J_{\text{ВП}_1} \approx J_{r_2}; J_{\text{ВП}_2} \approx J_{r_2}; J_{\text{ВП}_3} \approx J_{r_3};$$

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

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

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

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_H = t_{\text{ВП}_1} + \Delta'_H = 131 + 1,7 = 132,7 \text{ }^\circ\text{C},$$

де Δ'_H – температурна депресія для початкового розчину.

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

Тоді отримаємо:

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

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

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

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

Вирішення системи рівнянь дає такі результати:

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

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

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

Таблиця 2.4 Параметри розчинів та пари по корпусах.

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

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Технологічні розрахунки

Коефіцієнт теплопередачі для першого корпусу K_1 визначимо за рівнянням адитивності термічних опорів:

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

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

Отримаємо:

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

Коефіцієнт теплопередачі від пари, що конденсується, до стінки α_1 дорівнює:

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

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

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

де Δt_1 - різниця температур конденсації пари та стінки, град.

Розрахунок α_1 ведуть методом послідовних наближень. У першому наближенні прийmemo $t_1 = 2,0$ град.

Тоді

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2167 \cdot 10^3 \cdot 926^2 \cdot 0,684^3}{0,177 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 2}} = 7791 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Для процесу передачі тепла, що встановився, справедливим є рівняння:

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

										Арк.
										21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	XI.B.00.00.00.ПЗ					

де q – питоме теплове навантаження, Вт/м²; $\Delta t_{ст}$ – перепад температур на стінці, град; Δt_2 – різниця між температурою стінки з боку розчину та температурою кипіння розчину, град.

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

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

тоді

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n_1} - \Delta t_{ст} - \Delta t_1 = 12,2 - 3,8 - 2,0 = 6,4 \text{ град.}$$

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

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

Фізичні властивості розчину NaNO₃ в умовах кипіння наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 Фізичні властивості киплячих розчинів NaNO₃ та їхньої пари [3].

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

Тоді

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,664^{1,3} \cdot 1090^{0,5} \cdot 1,49^{0,06}}{69,6^{0,5} \cdot (2170 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3850^{0,3} \cdot (0,32 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 22,79 \cdot q^{0,6}.$$

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

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

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

Отже:

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

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

Тоді

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

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

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

тоді

$$\Delta t_2 = \Delta t_{n_1} - \Delta t_{cm} - \Delta t_1 = 12,2 - 7 - 3 = 2,2 \text{ град.}$$

Тоді

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,664^{1,3} \cdot 1090^{0,5} \cdot 1,49^{0,06}}{69,6^{0,5} \cdot (2170 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3850^{0,3} \cdot (0,32 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 22,79 \cdot q^{0,6}.$$

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

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 8345 \cdot 3,0 = 25030 \text{ Вт/м}^2;$$

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

Отже:

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

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Тоді

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,664^{1,3} \cdot 1090^{0,5} \cdot 1,49^{0,06}}{69,6^{0,5} \cdot (2170 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3850^{0,3} \cdot (0,32 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 22,79 \cdot q^{0,6}.$$

$$\alpha_2 = 22,79 \cdot q^{0,6} = 22,79 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 22,79 \cdot (6558 \cdot 4)^{0,6} = 10210 \text{ Вт/м}^2.$$

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 6558 \cdot 4 = 26232 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 10210 \cdot 2,8 = 28588 \text{ Вт/м}^2.$$

Отже: $q' \approx q''$.

Знайдемо K_2 :

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{6558} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{10210}} = 1861 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі K_3 для третього корпусу:

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2230 \cdot 10^3 \cdot 978^2 \cdot 0,657^3}{0,441 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 8}} = 4717 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 4717 \cdot 8 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 10,8 \text{ град};$$

$$\Delta t_2 = 37,2 - 10,8 - 8 = 18,4 \text{ град};$$

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,664^{1,3} \cdot 1090^{0,5} \cdot 1,49^{0,06}}{69,6^{0,5} \cdot (2170 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3850^{0,3} \cdot (0,32 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 22,79 \cdot q^{0,6}.$$

$$\alpha_2 = 22,79 \cdot q^{0,6} = 22,79 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 22,79 \cdot (4717 \cdot 8)^{0,6} = 12700 \text{ Вт/м}^2.$$

$$q' = 4717 \cdot 8 = 37736 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 12700 \cdot 18,4 = 233680 \text{ Вт/м}^2.$$

Маємо $q' \neq q''$.

У другому наближенні прийmemo $t_1 = 11,0$ град.

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$F_2 = \frac{1451 \cdot 10^3}{1861 \cdot 14,6} = 53,4 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = \frac{1587 \cdot 10^3}{1420 \cdot 21} = 53,2 \text{ м}^2;$$

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

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

Внутрішній діаметр гріючої камери при розміщенні труб по вершинах рівносторонніх трикутників [7]:

$$D_k = \sqrt{\frac{1,27 \cdot \sin \alpha \cdot t^2 \cdot n}{\varphi}}, \quad (2.16)$$

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

Стандартний крок розбивання труб на ґратах [7]: $t = 48 \text{ мм}$.

Число труб гріючої камери:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot L} = \frac{53,4}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 4} = 112,$$

приймаємо $n=120$.

Тоді

$$D_k = \sqrt{\frac{1,27 \cdot \sin 60^\circ \cdot 0,048^2 \cdot 120}{0,7}} = 0,66 \text{ м},$$

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

Діаметр циркуляційної труби [7]:

$$D_{ц} = \sqrt{(0,9 \div 1,5) \cdot d_{вн}^2 \cdot n} = \sqrt{1,5 \cdot 0,034^2 \cdot 120} = 0,456 \text{ м},$$

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймаємо стандартне значення діаметра циркуляційної труби $D_{ц} = 500$ мм.

Розрахунок штуцерів [1,6]:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785 \cdot \omega \cdot \rho}}, \quad (2.17)$$

де G – масова витрата теплоносія, кг/с; ρ – густина теплоносія, кг/м³ ;

ω – швидкість руху теплоносія, м/с.

Діаметр вхідного штуцера для гріючої пари:

$$D_{г.п.} = \sqrt{\frac{0,55}{0,785 \cdot 15 \cdot 2,12}} = 0,16 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 200 мм [1,6].

Діаметр вихідного штуцера для конденсату:

$$D_{к} = \sqrt{\frac{0,55}{0,785 \cdot 1,5 \cdot 926}} = 0,023 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 50 мм [1,6].

Діаметр вхідного штуцера для початкового розчину:

$$D_{п.р.} = \sqrt{\frac{2,78}{0,785 \cdot 1,5 \cdot 1090}} = 0,047 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 50 мм [1,6].

Діаметр вихідного штуцера для упареного розчину:

$$D_{у.р.} = \sqrt{\frac{2,15}{0,785 \cdot 1,5 \cdot 1090}} = 0,041 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 50 мм [1,6].

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр вихідного штуцера для вторинної пари:

$$D_{в.п.} = \sqrt{\frac{0,64}{0,785 \cdot 15 \cdot 1,52}} = 0,189 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр штуцера 200 мм [1,6].

2.4 Гідравлічний опір апарату

Витрата розчину:

$$V = \frac{G_H}{\rho}, \quad (2.18)$$

де ρ – густина розчину, кг/м³.

$$V = \frac{2,78}{1090} = 2,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Рекомендована швидкість розчину:

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

приймаємо $\omega = 0,5 \text{ м/с.}$

Тоді значення критерію Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \cdot D \cdot \rho}{\mu}, \quad (2.19)$$

$$Re = \frac{0,5 \cdot 0,034 \cdot 1090}{0,37 \cdot 10^{-3}} = 50080 \text{ – режим руху турбулентний}$$

Коефіцієнт тертя для охолодженої води при турбулентному режимі руху:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}, \quad (2.20)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{50080^{0,25}} = 0,02.$$

Втрата тиску з висотою апарату:

$$\Delta p_{тр} = \lambda \cdot \frac{H}{D} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2}, \quad (2.21)$$

						XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
							30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

вакууму в системі із конденсатора за допомогою вакуум-насосу відкачують незконденсовані гази.

Для оптимального підбору даної апаратури необхідно розрахувати витрату охолоджуючої води, основні розміри (діаметр та висоту) барометричного конденсатору та барометричної труби, продуктивність вакуум насосу.

Витрата охолоджуючої води:

Витрата охолоджуючої води G_B [7] визначають із теплового балансу конденсатора:

$$G_B = \frac{\omega_3 \cdot (I_{б.к.} - c_B t_k)}{c_B \cdot (t_k - t_{п}}), \quad (2.23)$$

де $I_{б.к.}$ – ентальпія парів в барометричному конденсаторі, Дж/кг; $t_{п}$ – початкова температура охолоджуючої води, $^{\circ}\text{C}$; t_k – кінцева температура суміші води та конденсату, $^{\circ}\text{C}$.

Різниця температур між паром та рідиною на виході із конденсатору має бути 3-5 градусів. Тому кінцеву температуру води t_k на виході з конденсатору візьмемо на 4 градуси нижче за температуру конденсації парів:

$$t_k = t_{б.к.} - 4 = 45,8 - 4 = 41,8 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

У такому разі:

$$G_B = \frac{0,76 \cdot (2584000 - 4,19 \cdot 10^3 \cdot 41,8)}{4,19 \cdot 10^3 \cdot (41,8 - 20)} = 20,04 \text{ кг/с}$$

Діаметр конденсатору

Діаметр барометричного конденсатору $d_{б.к.}$ визначають із рівняння витрати:

$$d_{б.к.} = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_3}{\rho \cdot \pi \cdot v}}, \quad (2.24)$$

										Арк.
										32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

XI.B.00.00.00.ПЗ

Коефіцієнт тертя λ залежить від режиму течії рідини. Визначимо режим руху течії води в барометричній трубці:

$$Re = \frac{v_B d_{б.т.} \rho_B}{\mu_B} = \frac{2,66 \cdot 0,1 \cdot 1000}{0,54 \cdot 10^{-3}} = 492593.$$

Для гладких труб при $Re = 492593$ коефіцієнт тертя $\lambda = 0,013$ [3].

Підставивши у формулу (2.25) вказані значення, отримуємо:

$$H_{б.т.} = \frac{8,8 \cdot 10^4}{998 \cdot 9,8} + \left(1 + 1,5 + 0,013 \frac{H_{б.т.}}{0,1}\right) \cdot \frac{2,66^2}{2 \cdot 9,8} + 0,5$$

Звідси знаходимо $H_{б.т.} = 10,4$ м.

Розрахунок продуктивності вакуум-насосу

Продуктивність вакуум-насосу $G_{пов}$ визначається кількістю газу (повітря), який необхідно видаляти з барометричного конденсатору:

$$G_{пов} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (\omega_3 + G_B) + 0,01 \cdot \omega_3, \quad (2.26)$$

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

$$G_{пов} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (0,76 + 20,04) + 0,01 \cdot 0,76 = 8,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с.}$$

Об'ємна продуктивність вакуум-насосу:

$$V_{пов} = \frac{R \cdot (273 + t_{пов}) \cdot G_{пов}}{M_{пов} \cdot P_{пов}}, \quad (2.27)$$

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

Температуру повітря розраховують за формулою:

$$t_{пов} = t_{п} + 4 + 0,1 \cdot (t_{к} - t_{п}) = 20 + 4 + 0,1 \cdot (41,8 - 20) = 26,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тиск повітря:

$$P_{\text{пов}} = P_{\text{б.к.}} - P_{\text{п}}, \quad (2.28)$$

де $P_{\text{п}}$ – тиск сухої насиченої пари (Па) при $t_{\text{пов}} = 26,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Підставивши, отримаємо:

$$P_{\text{пов}} = 0,1 \cdot 9,8 \cdot 10^4 - 0,038 \cdot 9,8 \cdot 10^4 = 0,61 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Тоді:

$$V_{\text{пов}} = \frac{8310 \cdot (273 + 26,2) \cdot 8,1 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 0,61 \cdot 10^4} = 0,114 \text{ м}^3/\text{с} = 6,84 \text{ м}^3/\text{хв.}$$

Ураховуючи об'ємну продуктивність та залишковий тиск, за каталогом підбираємо вакуум-насос типу ВВН-12 потужністю на валу $N=20$ кВт [7, Додаток 4.7]

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3. Розрахунки апарату на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки корпусу та кришки апарату

Із умови завдання тиск у просторі:

$$p = 2,7 \text{ ат} = 0,27 \text{ МПа.}$$

Із таблиці 1.2 [9] нормативне допустиме напруження за робочих умов:

$$\sigma^* = 149 \text{ МПа.}$$

Напруга, що допускається для матеріалу з листового прокату:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* = 1 \cdot 149 = 149 \text{ МПа.}$$

Модуль пружності за робочих умов [9]:

$$E = 1,98 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

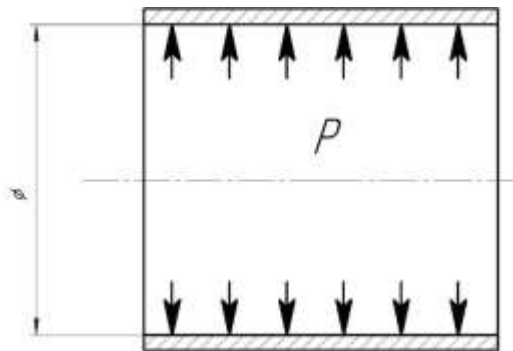


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема обичайки

Розрахункова товщина стінки сепаратора:

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

$$s_p = \frac{0,27 \cdot 1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 149 - 0,27} = 1,61 \text{ мм.}$$

Приймемо корозійну надбавку весь термін служби апарату [9] $c = 2 \text{ мм}$.

Виконавча товщина стінки сепаратора:

$$s = s_p + c = 1,61 + 2 = 3,61 \text{ мм,}$$

набуваємо стандартного значення $s = 6 \text{ мм}$.

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при допустимій напрузі $[\sigma]_п$ [9, табл. 1.1]

$$p_п = 1,5 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_п}{[\sigma]}, \quad (3.2)$$

де $[\sigma]_п$ – пробна допустима напруга [10, с.9]

$$[\sigma]_п = \frac{\sigma_T}{1,1} = \frac{222}{1,1} = 202 \text{ МПа},$$

де σ_T – межа плинності матеріалу, МПа [9, табл. II]

Тоді

$$p_п = 1,5 \cdot 0,27 \cdot \frac{202}{149} = 0,55 \text{ МПа}.$$

З урахуванням гідростатичного тиску:

$$p_r = H \cdot \rho \cdot g, \quad (3.3)$$

де H – висота кип'ятільних труб, м;

$$p_r = 4 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 39240 \text{ кПа} = 0,039 \text{ МПа}.$$

$$p = p_п + p_r = 0,55 + 0,039 = 0,589 \text{ МПа}.$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки:

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_п - p} \quad (3.4)$$

$$s_p = \frac{0,589 \cdot 1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 202 - 0,589} = 2,6 \text{ мм}.$$

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

$$c = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ мм}.$$

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді

$$s = s_p + c = 2,6 + 2 = 4,6 \text{ мм.}$$

За ГОСТ 15121-79 мінімальна товщина обичайки для апаратів $D = 1600$ мм складає $s = 6$ мм, тому обираємо дану товщину.

Розрахункова товщина стінки кожуха:

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

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

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

$$\sigma^* = 147 \text{ МПа}$$

$$s_p = \frac{0,4 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 147 - 0,4} = 1,3 \text{ мм.}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при допустимій напрузі $[\sigma]_п$:

$$p_п = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_п}{[\sigma]}, \quad (3.6)$$

де $[\sigma]_п$ – пробне допустиме напруження.

$$[\sigma]_п = \frac{\sigma_m}{1,1} = \frac{222}{1,1} = 202 \text{ МПа.}$$

Тоді

$$p_п = 1,25 \cdot 0,4 \cdot \frac{202}{147} = 0,71 \text{ МПа.}$$

З урахуванням гідростатичного тиску:

$$p_г = H \cdot \rho \cdot g, \quad (3.7)$$

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де H – висота кип'ятільних труб, м;

$$p_{\Gamma} = 4 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 39240 \text{ кПа} = 0,039 \text{ МПа.}$$

$$p = p_{\Pi} + p_{\Gamma} = 0,71 + 0,039 = 0,749 \text{ МПа.}$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки кожуха:

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{\Pi-p}} \quad (3.8)$$

$$s_p = \frac{0,749 \cdot 800}{2 \cdot 0,9 \cdot 202 - 0,749} = 1,8 \text{ мм.}$$

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

$$c = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ мм.}$$

Тоді

$$s = s_p + c = 1,8 + 2 = 3,8 \text{ мм.}$$

За ГОСТ 15121-79 мінімальна товщина обичайки для апаратів $D = 800$ мм складає $s = 6$ мм, дану товщину і оберемо.

3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання апарату

Фланцеве з'єднання кришки та корпусу апарату при $D_{\text{вн}} = 800$ мм і $p = 0,4$ МПа вибирається за ОСТ 26-426-79 з плоскими фланцями приварними і ущільнювальною поверхнею.

					$XI.B.00.00.00.ПЗ$	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

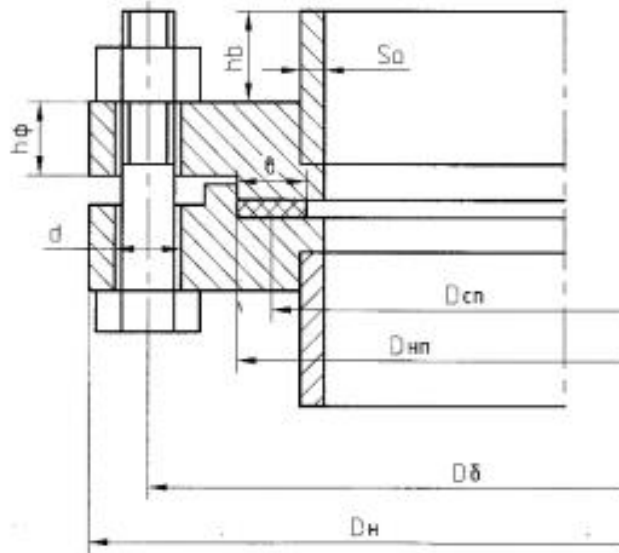


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема фланцевого з'єднання

Товщина втулки фланця [9]:

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

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

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

приймаємо $s_0 = 8$ мм.

Перевіряємо виконання умови:

$$s_0 - s \leq 5$$

$8 - 6 = 2 \leq 5$ – умова виконується.

Визначимо діаметр болтового кола. 3 [9] с.263:

$$D_6 = D_{\text{вн}} + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_6 + u), \quad (3.9)$$

де $d_6 = 20$ мм – діаметр болтів при $D_{\text{вн}} = 800$ мм та $p = 0,4$ МПа (табл. 1.40 [9]);

$u = 6$ мм – нормативний зазор між гайкою та втулкою ($u = 4 \div 6$, табл. 9 [9]).

$$D_6 = 0,8 + 2 \cdot (2 \cdot 0,008 + 0,02 + 0,006) = 0,88 \text{ м},$$

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймаємо $D_6 = 0,88$ м (див. с.263 [9]).

По [9] с.264 зовнішній діаметр фланця:

$$D_\phi \geq D_6 + a, \quad (3.10)$$

де $a = 40$ мм (табл.13.27 [9]);

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

приймаємо $D_\phi = 0,92$ м (с.264 [9]).

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою [9]:

$$D_\pi \geq D_6 - e, \quad (3.11)$$

де $e = 30$ мм (табл. 13.27 [9]);

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

Середній діаметр прокладки [9]:

$$D_{\text{ср.}\pi} \geq D_\pi - b_\pi, \quad (3.12)$$

де $b_\pi = 20$ мм – ширина прокладки (табл.1.42 [9]);

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

Еквівалентна ширина прокладки:

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{b_\pi} \quad (\text{при } b_\pi > 15 \text{ мм}); \quad (3.13)$$

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

Застосовуємо матеріал прокладки – пароніт за ГОСТ 481-80 товщиною 2 мм.

Кількість болтів, необхідне забезпечення герметичності з'єднання, визначається за формулою [9]:

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_6 = \frac{\pi \cdot D_6}{t_6}, \quad (3.14)$$

де t_6 – крок болтів, $t_6 = (3,8 \div 4,8) \cdot d_6 = 4,8 \cdot 20 = 96$ мм (табл.13.20 [9]);

$$Z_6 = \frac{3,14 \cdot 0,88}{0,096} = 28,8.$$

Приймаємо найближче кратне значення $Z_6 = 32$.

Висота фланця визначається за формулою:

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D_{\text{вн}} \cdot s_e}, \quad (3.15)$$

де $\lambda = 0,38$ – коефіцієнт (рис.13.14 [9]); s_e – еквівалентна товщина втулки фланця;

$$s_e = \alpha \cdot s_0, \quad (3.16)$$

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

$$s_e = 1 \cdot 8 = 8 \text{ мм};$$

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

приймаємо $h = 40$ мм.

Розрахункова довжина болта між опорними поверхнями головки болта та гайки:

$$l_6 = l_{60} + 0,28 \cdot d_6; \quad (3.17)$$

$$l_{60} = 2 \cdot (h_{\text{ср}} + s_{\text{п}}); \quad (3.18)$$

$$l_{60} = 2 \cdot (40 + 2) = 84 \text{ мм};$$

$$l_6 = 84 + 0,28 \cdot 20 = 89,6 \text{ мм};$$

з урахуванням товщини трубних грат приймаємо $l_6 = 140$ мм.

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання:

$$Q_D = \frac{p_R \cdot \pi \cdot D_{cp,\pi}^2}{4}, \quad (3.19)$$

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

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

Реакція прокладки за робочих умов [9]:

$$R_\pi = \pi \cdot D_{cp} \cdot b_e \cdot m \cdot p_R, \quad (3.20)$$

де $m = 2,5$ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу прокладки (табл.13.28 [9]);

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

Зусилля, що виникає від температурних деформацій:

$$Q_t = \gamma \cdot Z_6 \cdot f_6 \cdot E_6 \cdot (\alpha_{cp} \cdot t_{cp} - \alpha_6 \cdot t_6), \quad (3.21)$$

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

$$\gamma = A \cdot Y_6, \quad (3.22)$$

де Y_6 – лінійна піддатливість болта.

$$Y_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot f_6 \cdot Z_6} \quad (3.23)$$

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$A = [Y_{\Pi} + Y_6 + 0,25 \cdot (Y_{\phi 1} + Y_{\phi 2}) \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}})]^{-1}, \quad (3.24)$$

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

$$Y_{\Pi} = \frac{s_{\Pi}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\Pi} \cdot E_{\Pi}}, \quad (3.25)$$

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

$$Y_{\text{ср}} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E}, \quad (3.26)$$

де ω – безрозмірний параметр; ψ_2 – коефіцієнт, який визначається за рис.13.17 [9].

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1}, \quad (3.27)$$

де ψ_1, j – коефіцієнти;

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K; \quad (3.28)$$

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

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

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

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

$$j = \frac{h}{s_e} = \frac{0,04}{0,008} = 5. \quad (\text{с.226 [9]})$$

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Перевірка міцності та герметичності з'єднання умова міцності болтів [1]:

$$\frac{p_{61}}{z_6 \cdot f_6} \leq [\sigma_6]^{20}, \quad (3.31)$$

$$\frac{p_{62}}{z_6 \cdot f_6} \leq [\sigma_6]^t, \quad (3.32)$$

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

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

3.3 Розрахунок опори апарату

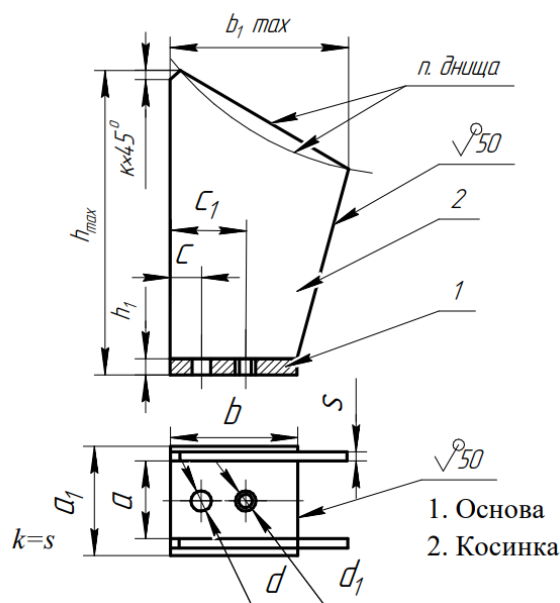


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема опори

Маса обичайки кожуху камери, що гріє:

$$m_k = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot 1 \cdot \rho, \quad (3.33)$$

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

$$m_k = \left[\frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,006)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 1 \cdot 7860 = 490 \text{ кг.}$$

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса кришки та днища:

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (3.34)$$

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

Маса труб:

$$m_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{н}^2 - d_{вн}^2) \cdot l \cdot n \cdot \rho, \quad (3.35)$$

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

Маса фланця з решіткою:

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (3.36)$$

де D_{ϕ} – зовнішній діаметр фланця, h_{ϕ} – висота фланця.

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

Об'єм трубного простору:

$$V_{тр} = 0,785 \cdot d^2 \cdot n \cdot l, \quad (3.37)$$

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

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

$$m_p = V_p \cdot \rho \cdot \varepsilon, \quad (3.38)$$

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

Сила тяжіння апарату у робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + 2 \cdot m_{кр} + m_{тр} + 2 \cdot m_{\phi} + m_p), \quad (3.39)$$

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

приймаємо кількість опор $n = 3$ шт.

Навантаження на одну опору:

$$Q = \frac{G}{n}, \quad (3.40)$$

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

Вибираємо опору з допустимим навантаженнями $Q = 10$ кН. Позначення опори 1-1000 ОСТ 26-665-87.

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При вивірці випарного апарату відхилення від проектних осей та відміток, а також по горизонталі та вертикалі становлять:

- головних осей апарату в плані - ± 10 мм;
- фактичної висотної відмітки встановленого апарату - ± 10 мм;
- осі вертикального апарату від вертикальності – 3 мм на 1 м, але не більше, ніж 35 мм;

При вивірці каркасу (опорних металокопструкцій, апарату на фундаменти чи інших основах) відхилення від проектних розмірів, а також горизонтальності не повинні перевищувати:

- між осями опорних стійок - ± 3 мм;
- осі опорної стійки від вертикалі – 1 мм на 1 м, але не більше 3 мм;
- площин кронштейнів опорних стійок, що несуть труби, від розташування в одній горизонтальній площині, не більше – 2 мм.

Правильність установки апарату та каркасів (опорних металокопструкцій) на фундаменті або іншій основі вивіряють:

вертикальних апаратів – за допомогою тахеометричного теодоліта по двом утворюючим, зрушеним в плані одна відносно іншої на 90^0 ;

осей опорних стійок каркасів – схилом;

відхилення площин кронштейнів опорних стійок, що несуть труби, від розташування в одній горизонтальній площині – за натянутою струною.

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Ремонт апарату

Технічне обслуговування - це комплекс робіт, спрямованих на підтримку працездатності чи справності обладнання під час його зберігання, використання та транспортування.

Найбільш поширені періодичне та регламентоване технічне обслуговування.

Періодичне технічне обслуговування – це обслуговування, яке проводиться через встановлені в експлуатаційній документації значення напрацювання чи інтервали часу.

Регламентоване технічне обслуговування - обслуговування, передбачене в нормативно-технічній документації та виконуване з періодичністю та в обсязі встановленими в ній незалежно від технічного стану обладнання на момент початку технічного обслуговування.

Ремонт - це комплекс робіт із відновлення справного стану, працездатності та ресурсу обладнання.

Види ремонтів: поточний, капітальний.

Поточний ремонт - комплекс робіт, вкладених у відновлення працездатності устаткування шляхом заміни чи відновлення окремих його частин.

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

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

Перелік робіт при капітальному ремонті: склад робіт поточного ремонту, витягування трубного пучка, очищення корпусу, трубного пучка від відкладень,

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвальцювання трубок, зміна трубного пучка або частини трубок, ремонт корпусу.

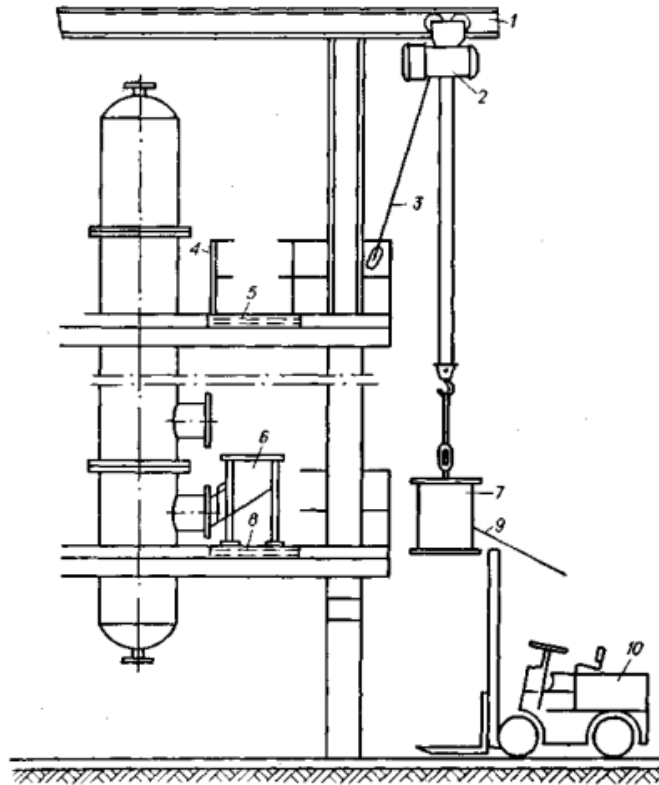


Рисунок 4.2 – Завантаження насадочних кілець в колонний апарат:

1 – упор на монорельс; 2 – електротраль; 3 – управління електротраллю; 4 – тимчасове огородження; 5 – проріз (відкритий); 6 – лоток; 7 – бункер; 8 – проріз (закритий); 9 – відтяжка; 10 - електронавантажувач

Тріщини, що з'являються на корпусі випарного апарату, виправляються шляхом проведення заповнюючого зварювання. Після огляду тріщини з використанням лупи встановлюють її розміри. Поверхню корпусу в області тріщини ретельно очищають з середини і ззовні. Для запобігання поширенню тріщини вздовж неї просвердлюють отвори на кінцях. Після свердління тріщину обробляють перед зварюванням за допомогою пневматичного молотка і зубила або спеціального газового різачка. Недовгі тріщини обробляють, видаляючи матеріал лише з одного боку на максимальну глибину від 50 до 60° по куту. Тріщини, які пронизують стінку або мають глибину більше 0,4 товщини стінки, обробляються на всю її товщину. При товщині стінки корпусу випарного апарату до 15 мм проводять зварювання з використанням шва типу V, при більшій товщині стінки - шва типу X.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

XI.B.00.00.00.ПЗ

Арк.

53

Тріщини, які проходять через корпус апарату та мають значну розбіжність кромки або пошкоджені ділянки внаслідок корозії та ерозії, видаляють шляхом вирізування та закріплення пластин. Розмір пластини повинен бути більшим за розмір пошкодженої ділянки на 100-160 мм. Матеріал для пластини відбирають такий самий за маркою та товщиною, як стінка апарату. Під час вальцювання пластини, радіус повинен бути на 10% менший від необхідного, оскільки під час зварювання пластина розпрямляється. Радіус вальцювання перевіряють за допомогою шаблону.

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

При товщині латок менше 20 мм їх можна виготовляти опуклими.

Найбільш складна операція при ремонті – заміна зношених обичайок та днищ апаратів. Кромки поверхні апарату та деталі, що замінюється, зачищають перед зварюванням до чистого металу на ширину 10 мм.

Зварювання необхідно виконувати плавно, переходячи від одного елемента до іншого. Кут зкошу елементів різної товщини повинен бути не більше 150. Зварювання стикових швів без попереднього уточнення більш товстої стінки допускається, якщо різниця в товщині елементів, що з'єднуються, не перевищує 30% (але не більше 5 мм).

Спільне введення кромки (незграбності) у швах має бути не більше 10% товщини листа плюс 3 мм (але не більше 5 мм).

При виготовленні та складання обичайок застосовують листозгинальні вальці та різні ручні стяжки та розпірки.

Дефектні люки та штуцери видаляють за допомогою газового різання. Матеріал для виготовлення нового люка, штуцера та кільця, що зміцнює, повинен відповідати проекту. Спочатку приварюють штуцер або люк, а потім кільце, що зміцнює. У новому кільці потрібно просвердлити сигнальний отвір. Розміри кільця ретельно підганяють, при цьому бажано, щоб діаметр його був

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

5 Охорона праці

Сутність захисного заземлення, норми допустимого опору, порядок розрахунку [12]

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металічних неструмопровідних частин, котрі можуть виявитися під напругою.

Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки враження людей електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, тобто при замиканні на корпус.

Принцип дії захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруг дотику та кроку, обумовлених замиканням на корпус. Це досягається зменшенням потенціалу заземленого обладнання, а також вирівнюванням потенціалів за рахунок підйому потенціалу основи, на котрому стоїть людина, до потенціалу, близького за значенням до потенціалу заземленого обладнання.

Область застосування захисного заземлення – трьохфазні трьохпроводні мережі напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю та вище 1000 В з будь-яким режимом нейтралі (рисунок 5.1).

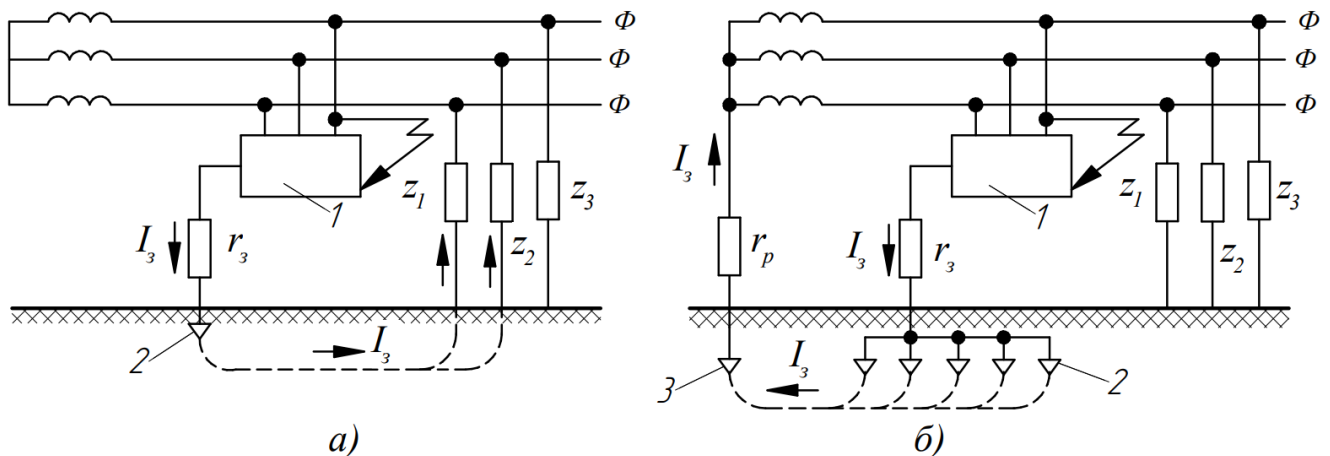


Рисунок 5.1 – Принципіальні схеми захисного заземлення

a – в мережі з ізольованою нейтраллю до 1000 В та вище; *б* – в мережі з заземленою нейтраллю вище 1000 В; *1* – заземлене обладнання; *2* – заземлювач захисного заземлення; *3* – заземлювач робочого заземлення; r_3 , r_p – опори відповідно захисного та робочого заземлення; I_3 – струм замикання на землю

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

XI.B.00.00.00.ПЗ

Арк.

57

безперервності з'єднання протяжних заземлювачів (при ремонтних роботах тощо).

У якості заземлюючих провідників, що призначені для з'єднання заземлюваних частин із заземлювачами, застосовують смугову та круглу сталь. Прокладку заземлюючих провідників проводять відкрито за конструкціями будівель, у тому числі по стінах на спеціальних опор.

Приєднання обладнання, що заземлюється, до магістралі заземлення здійснюють за допомогою окремих провідників. При цьому послідовне увімкнення обладнання, що заземлюється, не допускається.

Згідно з вимогами Правил пристрою електроустановок опір захисного бою пори року не повинен перевищувати:

4 Ом – в установках напругою до 1000 В; якщо потужність джерела струму (генератора або трансформатора) 100 кВ·А і менше, то опір заземлювального пристрою допускається 10 Ом;

0,5 Ом - в установках, напругою вище 1000 з ефективно заземленою нейтраллю; $250/I_3$, але не більше 10 Ом — в установках напруженням вище 1000 В із ізольованою нейтраллю; якщо заземлюючий пристрій одночасно використовують для електроустановок напругою до 1000 В, то опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати $125/I_3$, але не більше 10 Ом (або 4 Ом, якщо це потрібно для установок до 1000 В). Тут I_3 - струм замикання на землю, А.

Обладнання, що підлягає заземленню

Захисному заземленню підлягають металеві неструмоведучі частини обладнання, які через несправність ізоляції можуть опинитися під напругою і до яких можливий дотик людей та тварин. При цьому в приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних за умов ураження струмом, а також у зовнішніх установках заземлення є обов'язковим при номінальній напрузі електроустановки вище 42 В перемінного і вище 110 В постійного струму, а в приміщеннях без підвищеної небезпеки — при напрузі 380 В і вище змінного

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

та 440 В і вище постійного струму. Лише у вибухонебезпечних приміщеннях заземлення виконується незалежно від значення напруги встановлення.

					<i>XI.B.00.00.00.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

Список літератури

1. Лашинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Москва : Машиностроение, 1970. – 752 с.
2. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. - Л .: Машиностроение. Ленингр. отд-ние 1981. - 382 с., ил.
3. 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. П.Г.Романкова. - 9-е изд., Перераб. і доп. - Л .: Химия, 1981. - 560 с., ил.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576с.
5. Кузнецов А.А., Судаков Є.М. Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов: Справочное пособие. - М .: Химия, 1983. - 224 с, ил.
6. Методические рекомендации и контрольные задания для самостоятельной работы по курсу «Процессы и оборудование химических производств». Сумы: Изд-во СумГУ,2002.-55с.
7. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. М.:Химия, 1991 – 496 с.
8. Доманский И.В., Исаков В.П., Островский Г.М. и др. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты

					XI.B.00.00.00.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

