

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

Кафедра "Процеси та обладнання хімічних  
і нафтопереробних виробництв"

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

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

Тема роботи: Брагоректифікаційна установка у  
виробництві етилового спирту. Розробити кожухотрубний  
конденсатор бражної колони.

Виконав:  
студент групи ХМдн-54-чк  
Єрмоленко Віталій Вікторович

\_\_\_\_\_  
Підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

Керівник:  
ст.викладач

з оцінкою \_\_\_\_\_

Корнієнко Віктор Миколайович

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

СУМИ 2020

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

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

Курс 3 Група ХМдн-54-чк Семестр

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

Студент Єрмоленко Віталій Вікторович

1 Тема проекту: Брагоректифікаційна установка у виробництві етилового спирту. Розробити кожухотрубний конденсатор бражної колони.

2 Вихідні дані: Розробити кожухотрубний конденсатор бражної колони. Продуктивність 2500 дал/добу. Вміст ЛЛК (% мас.): у початковій суміші – 8,5; на верхній тарілці – 51,1. Робочий тиск – 0,102 МПа.

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

- |   |            |
|---|------------|
| 1. <u>Технологічна схема брагоректифікаційної установки</u> | – 1, 0арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апарату</u>                      | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Складальні креслення вузлів</u>                       | – 1,0 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2.Малежик І.Ф. Процеи і апарати харчових виробництв. Курсове проектування/ І.Ф.Малежик. –К. :НУХТ,2012. –544с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

ст. викл. Корнієнко В.М.

\_\_\_\_\_

підпис

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Технологічна частина	
1.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	6
1.2 Теоретичні основи процесу.....	9
1.3 Опис об'єкту розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів.....	14
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	
2.1 Матеріальний та тепловий баланси.....	21
2.2 Технологічні розрахунки.....	24
2.3 Конструктивні розрахунки апарата.....	27
2.4 Гідравлічний опір апарата.....	37
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	40
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки.....	42
3.2 Розрахунок трубної решітки.....	46
3.3. Розрахунок опор апарата.....	50
4 Монтаж та ремонт апарата	
4.1 Монтаж розробленого апарата.....	69
4.2 Ремонт апарата.....	73
5 Охорона праці.....	83
Висновки.....	91
Список літератури.....	92
Додаток А	
Додаток В - Специфікації	

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	Брагоректифікаційна установка у виробництві етилового спирту			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Єрмоленко								3	92	
Перевір.		Корнієнко						СумДУ, гр. ХМдн-54чк				
Н. контр.		Корнієнко										
Затв.		Складінський										

## ВСТУП

Програмою розвитку спиртової галузі України на подальшу перспективу передбачено науково-технічне оновлення виробництва, впровадження інноваційних ресурсо- та енергозберігаючих та екологічно безпечних технологій, підвищення якості кінцевого продукту, освоєння нових конкурентоспроможних видів продукції, в тому числі і паливного етанолу (біоетанолу). [1]

Прискорення науково-технічного прогресу в спиртовій промисловості вимагає створення безвідходних технологій, максимальної механізації і автоматизації виробництва, втілення нових видів високопродуктивного обладнання та підвищення якості продукції. [1]

На виконання поставлених завдань без залучення бюджетного фінансування було розроблено інноваційні енергоощадні технології, використання високоефективних спіральних теплообмінників, пластинчатих та повітряних дефлегматорів, підвищення концентрації сухих речовин зернового суслу до 26...29 % та концентрації спирту в бражці до 13...15 од., повернення частки фільтрату барди на приготування замісу, застосування нових, селекційних рис спиртових дріжджів, рекуперативне використання вторинних теплових потоків у браго ректифікаційних установках із ступеневим перепадом тиску в колових та вакуумних браго ректифікаційних установках (БРУ). Розроблені теоретичні основи використання теплових насосів в системі БРУ. [1]

Однією з найголовніших операцій при виробництві спирту є його перегонка на браго-ректифікаційних установках (БРУ). Саме від типу БРУ залежить міцність і якість спирту. Найпоширенішими є трьохколонні установки, які включають в себе бражну, епюраційну та ректифікаційну колони. [3]

Пройдені роботи по освоєнню та виробництву нових видів вітчизняного обладнання, БРУ. Високі конструктивні та експлуатаційні характеристики БРУ стали основою для серійного їх виробництва та впровадження, що дало змогу відновити й модернізувати технічну базу 33 спиртових заводів України. Україна

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стала експортером обладнання для спиртових заводів, оставляючи його до країн СНД. [1]

Організація випуску вітчизняного обладнання сприяла прискоренню відновлення технічної бази спиртзаводів, створенню нових робочих місць.

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра передбачено проектування брагоректифікаційної установки у виробництві етилового спирту з розробкою кожухотрубного конденсатора бражної колони.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ЧАСТИНА

## 1.1 Опис технологічної схеми виробництва спирту-сирцю

Для отримання ректифікованого спирту-сирцю використовується типова брагопепергонна установка безперервної дії.

Зріла бражка багатокomпонентна система, що складається з води (82..90% мас.), сухих речовин (4...10 % мас.) та етилового спирту з супровідними речовинами домішками (5...9 % мас., або 9...11 об. %). У бражці завжди міститься деяка кількість діоксиду вуглецю. Його вміст у бражці, відібраного безпосередньо з бродильного апарата, складає 1... 1,5 г/дм<sup>3</sup>. При подачі бражки до рекректифікаційного відділення 35.45 % діоксиду вуглецю втрачається. Кислотність бражки 0.5°, рН 4.5.5,2. Склад бражки значно змінюється в залежності від виду вхідної сировини і прийнятих і технологічних режимів її приготування.

Сухі речовини бражки представлені як завислими частинками (дріжджі, дробина), так і розчинними у водно-спиртовій суміші органічними та неорганічними речовинами (декстрини, незброжджені цукри, білки, кислоти, мінеральні речовини та ін.). У зерно-картопляній бражці знаходиться значна кількість завислих часток, вона більш в'язка, ніж мелясна, проте загальний вміст сухих речовин у мелясній бражці звичайно більший (8.10 %), ніж у зерновій (5.7 %), і особливо у картопляній (3...4%).

Зріла бражка відцентровим насосом (1) подається в бражну секцію підігрівача бражки (2), в якому підігрівається до температури °С теплом конденсованих водно-спиртових парів.

Підігрівач бражки (2) розміщується горизонтально на поверсі вище бражної колони і складається з двох секцій - бражної і водяної. Бражна секція призначена для підігрівання бражки водно-спиртовими парами, які піднімаються з бражної колони, а водяна секція для конденсації їх водою.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Секції підігрівача бражки за конструкцією відносяться до кожухотрубних теплообмінників.

Підігріта бражка з підігрівача бражки (2) направляється в сепаратор бражки (6) для видалення з неї вуглекислого газу, який містить водно – спиртові пари.

Сепаратор бражки (6) – це ємкість, в яку бражка підводиться тангенціально, при цьому проходить вивільнення вуглекислого газу з бражного потоку.

Вуглекислий газ через верхній патрубок сепаратора (6) відводиться в конденсатор (7), в якому конденсуються водно - спиртові пари. Сконденсовані пари у вигляді водно – спиртового конденсату потім поступають в епюраційну колону.

Відсепарована бражка з нижнього патрубка сепаратора бражки (6) поступає на 25 живильну тарілку бражної колони (3).

Бражна колона (3) призначена для видалення спирту і домішок по принципу складної перегонки. Вона має дві частини: нижню – бардяну (виснажну), де повністю виварюється спирт з барди при температурі 105 °С та тискові 0,18 МПа, і верхню - спиртову (концентраційну), де насичується пар водно – спиртовими парами при температурі на верхній тарілці 94 °С. Колона виготовляється з листової міді і складається з царг. В середині кожної царги колони встановлені сітчасті тарілки – це днище з великою кількістю отворів діаметром 10 мм і відстанню між центрами цих отворів 30 мм, розташованих в шахматному порядку.

Бражка в бражній колоні (3) проходить вниз на зустріч гріючому пару по всім тарілкам і вона вивільняється від спирту, і через гідравлічний затвор колони у вигляді барди відводиться у збірник барди (10) звідки потім відкачується на випарну станцію і на відстійники барди.

Вільний від спирту залишок – барда, містить усі сухі речовини бражки й залишкову частину води. Вміст сухих речовин у барді складає 3...8 %.

Бражна колона (3) підігрівається як прямим вводом граючої пари на барботер в випарній камері колони, так і за допомогою кип'ятильника - випаровувача (4).

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кип'ятильник - випаровувач (4) – це кожухотрубних теплообмінник вертикального типу , який встановлюється на підлозі біля бражної колони (3).

Гріючий пар підводиться в між трубний простір кип'ятильника - випаровувача ,а конденсат граючого пару відводиться в збірник і відкачується на живлення парових котлів.

В нижню частину кип'ятильника – випаровувача (4) відводиться барда. В трубках кип'ятильника проходить кипіння барди при температурі 110 °С і утворений в них пар відводиться в випарну камеру бражної колони (3).

Водно – спиртові пари із бражної колони (3) через сепаратор – вловлювач (5) , де вловлюються частинки бражки і висушуються пари спирту – сирцю, направляються в підігрівач бражки (2). Водно-спиртовий конденсат з бражної і водяної секцій підігрівача бражки (2) направляється на епюраційну колону.

Пари несконденсовані в секціях підігрівача бражки (2) конденсуються в конденсаторі БК (8), а несконденсовані в ньому пари вловлюються і конденсуються в спиртовловлювачі БК (9) . Сконденсовані пари в конденсаторі БК (8) і спиртовловлювачі БК (9) направляються на епюрацію.

Конденсатори і спиртовловлювач брагоперегонної установки – це кожухотрубні теплообмінники вертикального типу , які встановлені на верхньому поверсі перегінного відділення , і призначенні для конденсації і охолодження водно-спиртових парів. В них верхня частина поверхні трубок працює на конденсацію спиртових парів, а нижня – на охолодження отриманого конденсату.

Для оптимального проведення процесу конденсації в цих апаратах , а також у водяній секції підігрівача бражки (3) підтримують температуру вихідної гарячої води в межах 25 – 28 °С.

Отриманий водно-спиртовий конденсат в процесі перегонки в брагоперегонній установці називається спиртом – сирцем.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 1.2 Теоретичні основи розроблюваного процесу.

Зріла бражка багатокомпонентна система, що складається з води (82..90% мас.), сухих речовин (4...10 % мас.) та етилового спирту з супровідними рідкими домішками (5...9 % мас., або 9...11 об. %). У бражці завжди міститься деяка кількість діоксиду вуглецю. Його вміст у бражці, відібраного безпосередньо з бродильного апарата, складає 1... 1,5 г/дм<sup>3</sup>. При подачі бражки до рекректифікаційного відділення 35.45 % діоксиду вуглецю втрачається. Кислотність бражки 0.5°, рН 4.5.5,2. Склад бражки значно змінюється в залежності від виду вхідної сировини і прийнятих і технологічних режимів її приготування.

Сухі речовини бражки представлені як завислими частинками (дріжджі, дробина), так і розчинними у водно-спиртовій суміші органічними та неорганічними речовинами (декстрини, незброжджені цукри, білки, кислоти, мінеральні речовини та ін.). У зерно-картопляній бражці знаходиться значна кількість завислих часток, вона більш в'язка, ніж мелясна, проте загальний вміст сухих речовин у мелясній бражці звичайно більший (8.10 %), ніж у зерновій (5.7 %), і особливо у картопляній (3...4%).

Леткі домішки спирту характеризуються великою різноманітністю, на цей час ідентифіковано більше 70, але загальний вміст невеликий звичайно не перевищує 0,6 % від кількості етилового спирту.

Усі леткі домішки можна в основному розділити на чотири групи: спирти, альдегіди, кислоти та ефіри. Крім того, виділяють групу азотистих речовин (аміак, аміни, амінокислоти), сірковмісних речовин (сірководень, сірчистий ангідрид, сульфокислоти, меркаптани) та ін.

Склад і вміст летких домішок залежать від виду та якості сировини, прийнятих технологічних режимів його переробки. Домішки частково переходять із сировини, води, допоміжних матеріалів, частково утворюються в процесі приготування суслу, однак більша їх частина з'являється в процесі бродіння.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більше всього домішок (0,35... 0,45 % до кількості етилового спирту) припадає на частку спиртів — метилового, пропілового, ізобутилового.

Останні три спирти складають основу сивушного масла (звичайно 0,3.0,45 % до кількості етилового спирту в бражці). Метиловий спирт міститься у зернокартопляній і буряковій бражці — не більше 0,2 % до кількості етилового спирту.

З альдегідів у спирті найбільше оцтового. У мелясвій бражці альдегідів багато (біля 0,05 % до кількості етилового спирту), що в 10.50 разів більше, ніж у зернокартопляній бражці. Вміст альдегідів у бражці різко зростає при посиленому аеруванні сула в процесі дріжжогогенерування.

Виділення спирту із бражки може здійснюватись простою перегонкою і за допомогою\_перегонки в ректифікаційних (бражних) колонах . У першому випадку процес здійснюється в апаратах періодичної дії, а у другому безперервної. В обох випадках з бражки виділяється спирт разом із леткими домішками й одержується бражний дистилят який містить спирту 30...50 об. % (слабоградусний спирт-сирець).

Вільний від спирту залишок — барда містить усі сухі речовини бражки й залишок частину води. Вміст сухих речовин у барді складає 3...8 %.

Далі спирт бражного дистилята за допомогою ректифікації піддається концентруванню і одержується спирт-сирець (концентрацією не менше 88 об. %), або . спирт категорії В (концентрацією не менше 96 об. %).

Видалення спирту з бражки та його очистка відбуваються в наслідок перегонки й ректифікації. Під перегонкою розуміється розділення суміші летких речовин , що мають різну леткість , на окремі компоненти або фракції шляхом часткового випаровування та наступної конденсації пари. У процесі перегонки пара збагачується легколеткими компонентами (ЛЛК) , а залишок (рідина) збагачується важко леткими компонентами (ВЛК). Ректифікація складна багаторазова перегонка в протитечійному потоці, яка здійснюється в спеціальних апаратах — ректифікаційних колонах. Теорія перегонки й ректи- фікації спирту базується на основі законів І.Д,Коновалова М.С.Вревського.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Леткість окремих компонентів бінарної суміші характеризують коефіцієнтом випаровування  $K=Y/X$  — відношенням концентрації даної речовини у паровій фазі до концентрацій її у рідкій суміші з сходяться у рівноважному стані фазі X при умові, що розглянуті фази бінарної знаходяться в рівноважному стані.

Летка частина бражки складається в основному з води і етанолу, тому процесі вяділення спирту бражку розглядають як бінарну суміш етанолу і води. У верхній частині рис.3 лінія 1 зображає залежність рівноважного складу пари Y від складу рідини X при температурі кипіння й атмосферному тиску для суміші етанол-вода.

Лінія є геометричним місцем точок значень коефіцієнтів випаровування етилового спирт  $K_{e.c} = Y/X$  із водно-спиртової суміші. При малих концентраціях спирту в суміші значення  $K_{e.c}$  максимальні (біля 13), при великих — мінімальні (біля 1).

Залежність рівноважного складу парової фази від складу рідини визначається законом Д.П.Коновалова, який зтверджує, що пара, яка знаходиться у рівновазі з розчином, завжди містить у надлишку той компонент, додавання якого до розчину знижує температуру кипіння інакше кажучи, пара збагачується тим компонентом якого до рідини підвищує загальний тиск пари над нею.

Для системи етиловий спирт-вода додавання спирту до рідкої фази спричиняє в цій системі зниження температури кипіння до самої точки A1 (див. рис. 3). У точці A1 лінія фазової рівноваги пересікає діагональ, отже, в цій точці склад парової та рідкої фаз буде однаковий. Ця точка одержала назву азеотропної точки, або точки нероздільного кипіння. Для неї  $Y=X$ , або  $K_{e.c}=K_v=1$  ( $K_v$ - коефіцієнт випаровування води). При атмосферному тиску нерозділенна суміш системи етанол-вода містить 97,2 об. % (95,57 % мас.) етанолу при температурі кипіння  $78,15^\circ \text{C}$ ; при тому ж тиску температура кипіння етанолу дорівнює  $78,3^\circ \text{C}$ , а води  $-100 \text{C}$ .

										Арк.
										11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ					

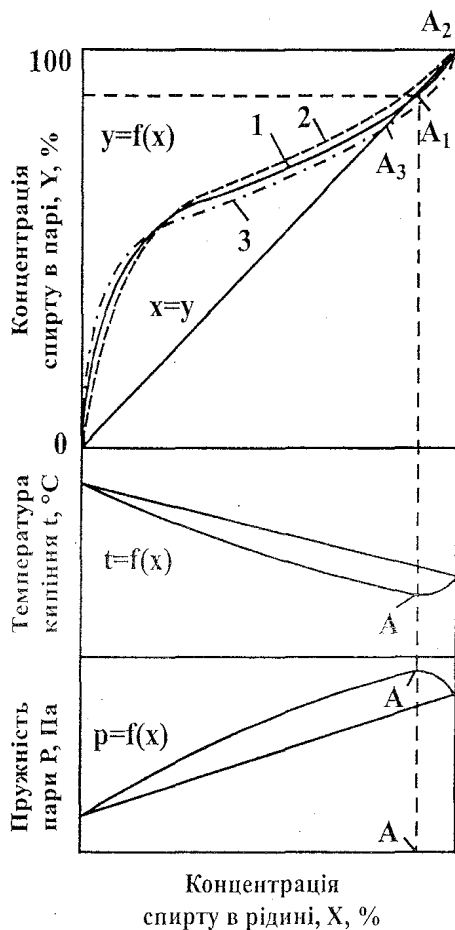


Рис. 10.3 Залежність рівноважного складу пари  $Y$ , %, температури кипіння  $t$ , °С, і пружності пари  $P$ , Па, від складу рідкої бінарної суміші етанол-вода  $X$ , %:  
 1 – при атмосферному тиску;  
 2 – при тиску, нижчому від атмосферного;  
 3 – при тиску, вищому від атмосферного

У відповідності із законом М.С.Вревського при підвищенні тиску розчин низькою концентрацією спирту, приблизно до 30...40% мас., утворюють пари з більшим вмістом спирту, а розчин з високою концентрацією спирту - пари з меншим вмістом спирту, що наочно показано в верхній частині рис 3.

З рисунку також видно, що зі зміною тиску зсувається і положення азеотропної точки. Так, при тискові 9,33кПа (температура кипіння 27 С) нероздільно кипляча точка змщується праворуч аж до  $X=100$  %, тобто при тобто при такому тиску пара завжди буде мати більшу концентрацію спирту ніж вихідна рідина.

Аналізуючи положення кривої фазової рівноваги, легко встановити, що при атмосферному тиску пара над рідиною буде збагачуватись етанолом тільки до азеотропної точки. Отже, шляхом ректифікації (багаторазового випаровування і конденсації)

при атмосферному тиску можна досягти максимальної концентрації етанолу- 97,2 об. %.

Якщо ж потрібно одержати етанол більш високої концентрації, необхідно зменшити тиск, тоді азеотропна точка зсунеться праворуч. Цим прийомом іноді користуються у практиці одержання абсолютного спирту.

Фазова рівновага у бінарній суміші етанол-вода була ретельно вивчена В.М.Стабниковим і співробітниками. За їх даними будують графіки фазової рівноваги, які застосовують для розрахунку процесу ректифікації та аналізу

роботи ректифікаційних колон. Існують аналітичні залежності  $Y = f(X)$ , вони використовуються для розрахунків за допомогою комп'ютерної техніки.

При наявності сухих речовин у спирто-водних розчинах збільшується концентрація спирту в парі у порівнянні з концентрацією його в парах над чистим спирто-водним розчином. Однак це збільшення невелике, і в практичних розрахунках процесу ректифікації при виділенні спирту з бражки його звичайно не враховують.

При очистці спирту від супровідних летких домішок доводиться піддавати розділенню багатокomпонентну суміш.

Для оцінки леткості домішок у порівнянні з леткістю етилового спирту введено поняття “коефіцієнт ректифікації” домішок

$$K' = K_D / K_C = V \times X / (a \times Y)$$

де  $K = 3/01$  - коефіцієнт випаровування домішок;  $a$  і  $v$  - вміст домішок у рідині та парах;

$K_C$  - коефіцієнт випаровування етанолу;

$X$  і  $Y$  — вміст етанолу в рідині та парі.

Коефіцієнт ректифікації показує, на скільки збільшується або зменшується вміст у парі домішок по відношенню етанолу в порівнянні з рідиною. Він дозволяє в наочній формі відобразити поведінку домішок в процесі реректифікації.

Коефіцієнт випаровування і ректифікації домішок залежить від концентрації етанолу у водному розчині, з якого виділяються домішки. Через те що в спирті-сирці (не очищеному від супутніх домішок) вміст домішок невеликий (звичайно в сумі не перевищує 0,6 % від кількості етанолу), допускають, що леткість окремих домішок не залежить від наявності у розчині інших домішок.

Усі відомі домішки за леткістю можна згрупувати в чотири види: головні, хвостові, проміжні та кінцеві.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До головних домішок належать ті, які мають більшу леткість, тобто більший коефіцієнт випаровування, ніж етиловий спирт, при всіх концентраціях його у у реозчині. Для них завжди  $K' > 1$ .

Спирто-водна суміш у даному випадку виступає у ролі ВЛК. Основні представники головних домішок — оцтовий і масляний альдегіди, акролеїн, мурашиноетиловий, оцтово метиловий, оцтовоетиловий, дистиловий ефіри та ін.

Леткість хвостових домішок завжди менша леткості спирту ( $K' < 1$ ), тому хвостові домішки у суміші із спирто-водною рідиною можуть розілядатися як ВЛК. Вони будуть виходити в залишок. Типовими хвостовими домішками є, наприклад, оцтова кислота і фурфурол.

Проміжні домішки мають подвійні властивості. При високих концентраціях етанолу вони мають характер хвостових домішок ( $K' < 1$ ), а при низьких, навпаки, — характер головних домішок ( $K' > 1$ ). При визначеній концентрації етанолу у водно-спиртових розчинах леткість проміжних домішок дорівнює леткості етанолу ( $K' = 1$ ).

Основні представники проміжних домішок — ізоаміловий, ізобутиловий, пропіловий спирти, ізовалеріаноізоаміловий, оцтовоізоаміловий, ізовалеріаноетиловий ефіри.

### 1.3 Опис об'єкта розробки та вибір основних конструктивних матеріалів

Підігрівач бражки призначений для підігрівання бражки в бражній секції водно-спиртовими парами і їх конденсації, а також конденсації цих парів у водяній секції. Всі елементи секцій, які контактують з бражкою і водно – спиртовими парами виготовлені з нержавіючої сталі.

Підігрівач бражки розміщується над бражною колоною. Нижня бражна секція (1а) опирається на нижню опору (3а). Водяна секція (2а) розташована над бражною і опирається на неї за допомогою верхньої опори (4а).

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Секції між собою з'єднані патрубками(3) за допомогою фланцевого з'єднання // -150-10 ГОСТ 12820-80.

Секції бражного підігрівача – це горизонтальні циліндричні кожухотрубні теплообмінники, в середині яких розташовані горизонтальні труби(6), які розвальцьовані в трубній решітці (5). Діаметр труб бражної секції більший ніж водяної. Для бражної секції вони приймаються 80 мм, для водяної 35 мм.

З боків обох кожухів кожної секції, знаходяться камери (торцеві кришки) (2) і (3), які називаються відповідно камера ліва і камера права.

В кожній камері є перегородки (11) , котрі розподіляють рух речовини по трубах з максимально ефективним проходженням і коефіцієнтом теплопередачі для цього процесу. Розподільчі камери з'єднані з кожухом і кришкою за допомогою фланцевого фланця (7), які зафіксовані за допомогою болтів (12) і гайки (14) . Для цього з'єднання ущільнення використовуються прокладкою (8) з фторопласту.

Розподільчі камери закриті кришками (4) і з'єднані з ними фланцем (7) і зафіксовані болтом (13) і гайкою (14).

Для організованого потоку водно-спиртових парів в середині міжтрубного простору секцій і збільшення часу контакту теплопередачі в середині міжтрубного простору їх з бражкою або водою встановленні в кожній секції перегородки (11).

Для запобігання пошкодження труб і їх з'єднань з трубними решітками , в зв'язку з тим, що різниця температур при нагріванні і охолодженні вхідної рідини сягає вище 50°C, використовуються лінзові компенсатори (10).

Водно – спиртові пари поступають через патрубок ( А) в нижню бражну секцію за допомогою фланцевого // -250-10 ГОСТ12820-80 підігрівача бражки в між трубний простір, де вони одночасно нагрівають бражку і конденсуються. Нагріта бражка рухається по трубах зверху вниз і підводиться через патрубок (Б) в розподільчу камеру. Утворений

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конденсат(флегма) конденсуючись стікає через патрубок(Ж) до епюраційної колони. Подається бражка на перегонку через патрубок (В).

Неконденсовані водно - спиртові пари через з'єднувальний патрубок двох секцій (З) поступає в водяну секцію підігрівача бражки. Де вони конденсуються за рахунок охолоджуючого елемента – води .Вода подається через патрубок (Г) і відводиться через патрубок (Д). Сконденсовані водно-спиртові пари подаються на епюрацію через патрубок (Е).

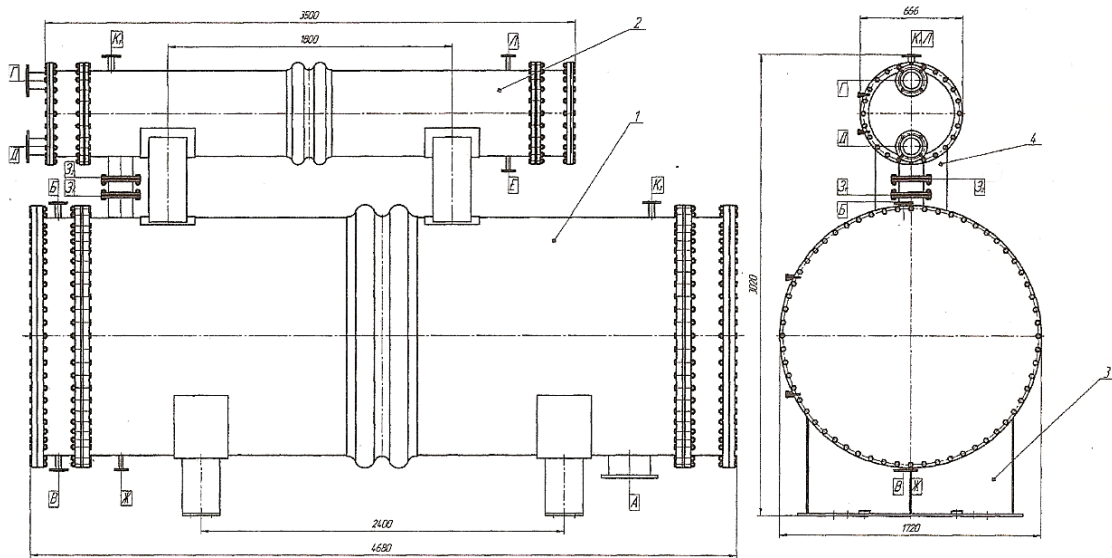
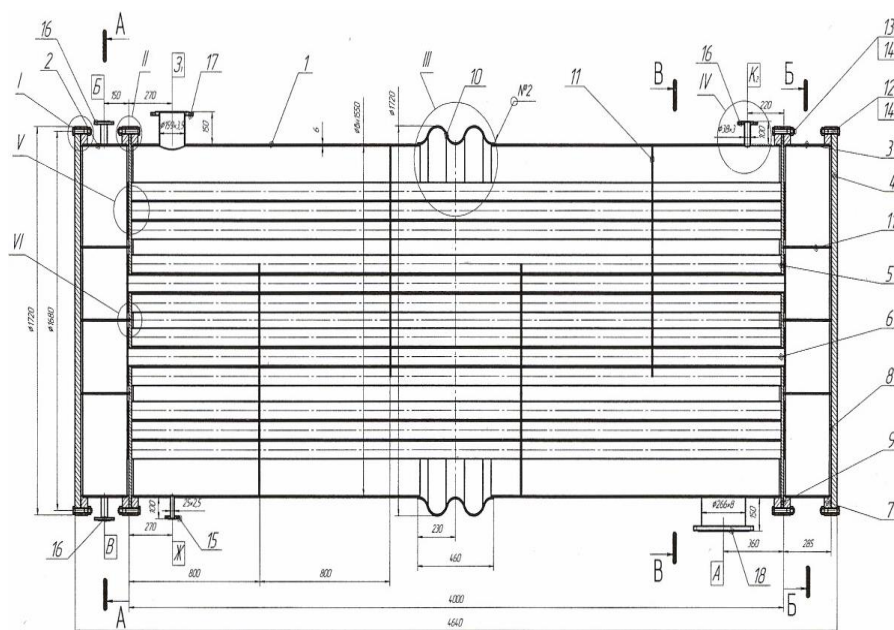


Рис.2.2. Підігрівач бражки

1а-Секція бражна; 2а-Секція водяна; 3а-Опора нижня; 4а-Опора верхня



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ

Арк.

16



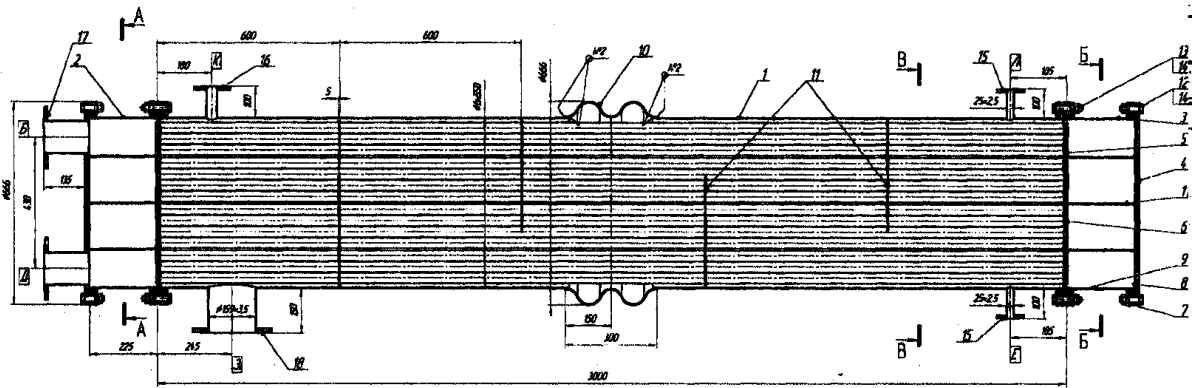


Рис.2.3 Секції підігрівач бражки

1-корпус, 2-камера ліва,3-камера права, 4-кришка,5-трубна решітка,6-трубки, 7-фланець,8-пркладка глуха,9-пркладка,10-компесатор,14-перегородк

### Вибір конструкційних матеріалів

Матеріали для виготовлення хімічних апаратів і машин потрібно вибирати згідно з специфікою їх експлуатації, враховуючи при цьому можливі зміни їх вихідних фізико – хімічних властивостей матеріалів під дією робочого середовища. Для матеріалів апаратури необхідно керуватися галузевими стандартами ОСТ 26 – 291 – 71 .

При виборі матеріала для виготовлення апарата або машини необхідно враховувати наступні обставини : механічні властивості матеріалу - межа міцності , відносне видовження , твердість і другі ; технологічність в виготовленні ( зварювання) ; хімічну стійкість при роз'їданні ; теплопровідність і др.. Наприклад , хімічні властивості матеріалів , з виготовленні працюючі апарати , суттєво змінюються при низьких і високих температурах . Гарна зварюваність матеріалів також являється одним із необхідних умов їх застосування , так як при сучасній технології хімічного апаратобудування основний спосіб виконання нероз'ємних з'єднань використовується зварювання.

Головною вимогою для матеріалів хімічних апаратів в більшості випадках являється їх корозійна стійкість , так як вона визначає довговічність хімічного обладнання .

										Арк.
										17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ					

Вибір конструкційного матеріалу , який визначається умовами експлуатації проектуемого теплообмінного апарата (температура і характер агресивної дії середовища та ін.) , виконаний так , щоб при низькій вартості і дефіциті матеріала забезпечити ефективну технологію виготовлення елемента (виробу) . Враховуючи всі перелічені параметри , вибираємо сталь 12Х18Н10Т.

Сталь 12Х18Н10Т – неіржавіюча сталь аустенітного класу. Хімічний склад регламентований ГОСТ 5632-72 неіржавіючих сталей аустенітного класу.

Сталі 12Х18Н10Т використовується для виготовлення зварної апаратури в різних галузях промисловості, а також конструкцій, що працюють у контакті з азотною кислотою і іншими окислювальними середовищами , деякими органічними кислотами середньої концентрації, органічними розчинниками, в атмосферних умовах і т.д.

#### Механічні властивості

Межа короткочасної міцності [МПа].....	240
Межа пропорційності (межа текучості для залишкової деформації) [МПа].....	205
Відносне видовження при розриві [ % ].....	40
Відносне звуження [ % ].....	40
Твердість по Брінеллю [МПа].....	179

#### Фізичні властивості

Модуль пружності першого роду [МПа].....	1,98
Коефіцієнт температурного (лінійного) розширення (діапазон 20 <sup>0</sup> - Т ) [1/Град].....	16,6
Коефіцієнт теплопровідності (теплоємність матеріалу) [Вт/(м·град)].....	16
Густина матеріалу [кг/м <sup>3</sup> ].....	7920
Питома теплоємність матеріалу (діапазон 20 <sup>0</sup> - Т ) [Дж(м·град)].....	462
Виходячи з категорії розташування підігрівача бражки по ГОСТ 15150 – 69 для експлуатації в районах абсолютних температур	

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

навколишнього середовища від мінус 36°C до плюс 35°C , характеристики середовища і характеристики бражки та водно-спиртових парів (P=0,2МПа. t=95°C ) , виходячи з загальних вимог виготовлення посудів і апаратів ОСТ 26 – 291 – 94 " Сосуди і апарати сталеві зварні. Технічні вимоги. " вибираємо основний матеріал - сталь 12Х18Н10Т ( сталь нержавіюча).

По хімічному складу і механічним властивостям задовольняє вимоги ГОСТ 5520 – 79.

Умови застосовування сталі:

- температура стінки апарата від мінус 70°C до плюс 475°C;
- тиск необмежений;

Сталь гарно деформується і обробляється різанням . Сталь добре зварюється всіма видами зварювання .

При зварюванні кожухів і труб , зварюванні днищ до кожухів застосовуються шви в стик з повним проплавленням.

Апарат повинен бути випробуваний на міцність.

Сталь Ст3 ГОСТ 380 – 94 . Замінювачі : Сталь Сталь Ст2 , Сталь Ст5.

Сталь Ст6.

Призначення: прокат профільний , рами , каркаси , щитки , кожухи - для зварних конструкцій .

Вид постачання (асортимент) : сортовий ( квадрат г/катаний ГОСТ 2591 – 88 , круг г/катаний ГОСТ 2590 - 88 , полоса ГОСТ 103 – 76 , катанка ГОСТ 30136 – 95) , листи ( лист товстий г/катаний ГОСТ 19903 – 74 , лист тонкий х/катаний ГОСТ 19904 – 90 , лист тонкий г/катаний з сталі звичайної якості ГОСТ 19903 – 74) , проволока ( проволока загального призначення ГОСТ 3282 – 74) , фасонний ( швелер г/катаний , кутник г/катаний рівнополочний ГОСТ 8509 – 93 , кутник нерівнополочний ГОСТ 8510 – 86 , кутник х/гнутий рівнополочний ГОСТ 19771 – 93 , балка двотаврова г/катана ГОСТ 8239 – 89 , швелер х/гнутий рівнополочний

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ГОСТ 8278 – 83), труби ( вода водогазопровідна ГОСТ 3262 – 75, труба електрозварювальна ГОСТ 10704 – 91).

Зварюваність: добре зварюється усіма видами сварки.

Фторопласт – 4 ГОСТ 10007 – 80Е.

Призначення: каркаси , котушки , панелі , основа ізоляції , покриття антифрикційне.

Вид постачання ( асортимент ) : плівка ( плівка фторопластова ГОСТ (стрічки фторопласт ГОСТ 24222 – 80 ) , листи ( пластини пресовані ТУ пластова ГОСТ 222056 – 76 ) прутки ( втулка фторопластова ТУ 6 – 05 – 810 – 88 , стержень фторопластовий вертикального пресування ТУ 6 – 05 – 810 – 88 , стержень фторопластовий екструзій ний ТУ 6 – 05 – 041 – 535 , стержень фторопластовий горизонтального пресування ТУ 6 – 05 – 810 – 88 , втулка фторопластова пресована ТУ 6 – 05 – 810 – 88).

Основні фізико – хімічні властивості:

Модуль пружності $E$ , МПа.....	650
Густина $\rho$ , $кг/м^2$ .....	2200
Міцність при згинанні $\sigma$ , МПа.....	16
Міцність при розриві $\sigma$ , МПа.....	25
Видовження при розриві $\delta$ , % .....	255-500
Температура плавлення $t_{max\ раб}$ °С.....	260
Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha$ , $1/^\circ C$ .....	$1,5 \cdot 10^4$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТА

### 2.1 Матеріальний та тепловий баланси [3]

Згідно завдання на проект середній вміст спирту в зрілій бражці складатиме 8,5 % мас. Початкова температура бражки, яка поступає на перегонку складає 85°C, температура бражки на вході в бражну секцію приймаємо 25°C.

Концентрація сухих речовин в зрілій бражці – 10%мас., в барді – 8 % мас.

Визначаємо кількість безводного спирту, який поступає з бражкою в бражну колону за формулою [3]:

$$G = \frac{П \cdot 10 \cdot q_{сп}}{24 \cdot 3600} \text{ кг} \quad (2.1)$$

де П=2500 дал/добу – продуктивність відносно по безводному спирту;

$q_{сп}=0,789$  кг/л – густина спирту.

Таким чином:

$$G = \frac{2500 \cdot 10 \cdot 0,789}{24 \cdot 3600} = 0,228 \text{ кг/с}$$

Визначаємо добові витрати бражки при умові вмісту спирту в ній 8,5 % за формулою [3]:

$$G_{бр}^I = \frac{G \cdot 86400 \cdot 100}{a} \text{ кг/добу} \quad (2.2)$$

де:  $a=8,5\%$  мас. – вміст спирту в бражці;

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{\text{бр}}^{\text{I}} = \frac{0,228 \cdot 86400 \cdot 100}{8,5} = 232059 \text{ кг/добу}$$

Визначаємо витрати бражки з урахуванням вмісту в ній сухих речовин за формулою [3]:

$$M = \frac{100+B}{100} G_{\text{бр}}^{\text{I}} \text{ кг/добу} \quad (2.3)$$

де: B=10% мас. – вміст сухих речовин в бражці;

Таким чином :

$$M = \frac{100+10}{100} 232059 = 255265 \text{ кг/добу}$$

У зв'язку з недогріванням бражки до температури кипіння концентрація спирту на тарілці живлення бражної колони складає 9,5% мас., тоді в паровому потоці , який поступає в підігрівач бражки , концентрація спирту складатиме 51,1% мас.

Визначаємо кількість водно – спиртових парів , які поступають в підігрівач бражки [3]:

$$A = \frac{G \cdot 100 \cdot 86400}{X_A} \text{ кг/добу} \quad (2.4)$$

де : X<sub>A</sub> = 51,1% мас. – вміст спирту в водно-спиртових парах;

$$A = \frac{0,228 \cdot 100 \cdot 86400}{51,1} = 38550 \text{ кг/добу}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

З урахуванням втрат спирту в бражці 0,5%, витрати бражного дистиляту визначимо за формулою [3, с.185]:

$$G_{\text{д}} = \frac{A}{86400} - \frac{G \cdot 0,5}{100} \text{ кг/добу} \quad (2.5)$$

$$G_{\text{д}} = \frac{38550}{86400} - \frac{0,228 \cdot 0,5}{100} = 0,445 \text{ кг/добу}$$

Підігрівач бражки складається з двох секцій : бражної , в якій концентрація і охолодження водно – спиртових парів проводиться бражкою , та водяної, якій охолодження проводиться водою.

Визначаємо кількість теплоти , яку можна відвести бражкою за формулою [3]:

$$Q_1 = \frac{M \cdot c_M (t_2 - t_1)}{24 \cdot 3600} \text{ кВт} \quad (2.6)$$

де :  $c_M$  – питома теплоємність бражки ; кДж/кг·К

$t_1$  і  $t_2$  – відповідно початкова і кінцева температура бражки;

Питому теплоємність бражки визначаємо за формулою [3, с.186]:

$$c_M = (1,02 - 0,095V) \cdot 4,187 \text{ кДж/кг·К} \quad (2.7)$$

де:  $V=10\%$ мас. – концентрація сухих речовин в бражці;

$$c_M = (1,02 - 0,095 \cdot 10) \cdot 4,187 = 3,85 \text{ кДж/кг·К}$$

Таким чином :

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$Q_1 = \frac{255265 \cdot 3,85 \cdot (85 - 25)}{24 \cdot 3600} = 682,5 \text{ кВт}$$

Визначаємо кількість теплоти , яка вноситься в підігрівач бражки дистилятом за формулою [3]:

$$Q_d = G_d \cdot r_d \text{ кВт} \quad (2.8)$$

де:  $r_d$  - 196,47 кДж/ кг – питома конденсація парів бражного дистиляту;

$$Q_d = 0,445 \cdot 196,47 = 877,0 \text{ кВт}$$

Тоді витрати теплоти необхідно відвести у водяній частині підігрівача бражки визначмо за формулою [3]:

$$Q_2 = Q_d - Q_1 \text{ кВт} \quad (2.9)$$

$$Q_2 = 877 - 682,5 = 194,5 \text{ кВт}$$

## 2.2 Технологічні розрахунки

Визначаємо корисну різницю температур для зони охолодження бражкою за формулою [3]:

$$\Delta t_M = t_K - t_2$$

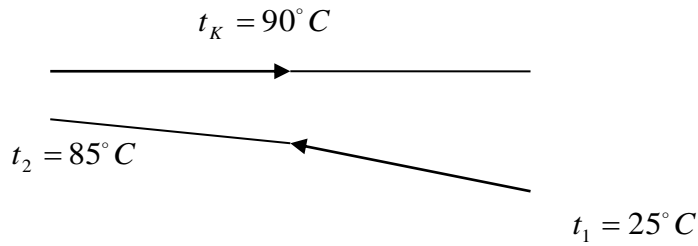
$$\Delta t_B = t_K - t_1$$

$$\Delta t_B = 90 - 25 = 65^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_M = 90 - 85 = 5^\circ \text{C}$$

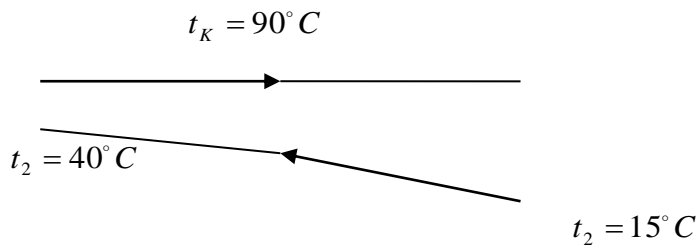
					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24





$$\Delta t_1 = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{2,31g \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}} = \frac{65 - 5}{2,31g \frac{65}{5}} = 23^\circ C \quad (2.10)$$

Визначаємо корисну різницю температур для водяної частини за формулою [3]:



$$\Delta t_M = t_K - t_2$$

$$\Delta t_B = t_K - t_1$$

$$\Delta t_M = 90 - 40 = 50^\circ C$$

$$\Delta t_B = 90 - 15 = 75^\circ C$$

Так як :  $\frac{\Delta t_B}{\Delta t_M} = \frac{75}{50} < 2$  , то

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta t_B + \Delta t_M}{2} = \frac{50 + 75}{2} = 62,5^\circ C \quad (2.11)$$

Коефіцієнт теплопередачі для бражної і водяної секцій визначаємо за формулою [3,с.190] :

$$K = B\sqrt[3]{g^2} \quad Bm / m^2 \cdot K \quad (2.12)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

де:  $V=709$  – емпіричний коефіцієнт для сталевих труб ;

$\mathcal{G}$ - швидкість протікання рідини охолоджуючої рідини в трубах ( для бражної секції -  $\mathcal{G}= 0,2$  м/с , для водяної секції  $\mathcal{G}= 0,1$  м/с )

Для бражної секції коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою (2.12):

$$K_1 = 709\sqrt[3]{0,2^2} = 242,5 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

Для водяної секції коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою (2.12):

$$K_2 = 709\sqrt[3]{0,1^2} = 152,8 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$$

Тоді необхідна площа теплопередачі секцій бражного підігрівача визначаємо за формулою [3,с.189]:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} \quad \text{м}^2 \quad (2.13)$$

для бражної секції визначаємо за формулою (2.13):

$$F_1 = \frac{682,5 \cdot 10^3}{242,2 \cdot 23} = 122,5 \text{ м}^2$$

для водяної секції визначаємо за формулою (2.13):

$$F_2 = \frac{194,5 \cdot 10^3}{152,8 \cdot 62,5} = 20,4 \text{ м}^2$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Визначаємо необхідні витрати води на водяну секцію для охолодження водно-спиртових парів за формулою [3,с.191]:

$$W = \frac{Q_2}{c_e(t_2 - t_1)} \quad \text{кг/с} \quad (2.14)$$

де :  $c_e = 4,187 \text{ кДж/кг} \cdot \text{град}$  - питома теплоємність води;

$t_1, t_2$  - початкова і кінцева температура охолоджуючої води ;

$$W = \frac{194,5}{4,187(40-15)} = 1,86 \text{ кг/с}$$

### 2.3 Конструктивні розрахунки апарата

Конструктивні розрахунки. Визначаємо необхідну корисну розрахункову довжину сталевих труб (м) для бражної секції за формулою [12,с.201] :

$$L_6 = \frac{F_1}{\pi d_{cp}} \quad \text{м} \quad (2.15)$$

де :  $d_{cp}$  - середній діаметр труби;

$$d_{cp} = \frac{d_{вн} + d_{зов}}{2} \quad \text{м} \quad (2.16)$$

$$d_{cp} = \frac{0,076 + 0,08}{2} = 0,078 \text{ м}$$

Тоді:

$$L = \frac{122,5}{3,14 \cdot 0,78} = 500,2 \text{ м}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо довжину однієї труби для бражного підігрівача  $l_1 = 4,0\text{ м}$

Таким чином необхідна кількість труб за формулою [12,с.201] :

$$n = \frac{L}{l_1} \text{ шт} \quad (2.17)$$

$$n = \frac{500,2}{4,0} = 125 \text{ шт}$$

Приймаємо  $n = 125\text{шт}$

Товщину трубної решітки розраховуємо в залежності від діаметра труб за формулою [17.202]:

$$\delta_o = \frac{\delta_{cp}}{8} = 0,005 \text{ м} \quad (2.18)$$

$$\delta_o = \frac{0,078}{8} + 0,005 = 0,0148 \text{ м}$$

Приймаємо товщину трубної решітки бражної секції  $\delta_o = 15\text{мм}$

При приварюванні труб до трубної решітки кожна труба повинна виступати над трубною решіткою  $3\text{мм}$  , тоді довжина кожної труби складатиме:

$$l_{mp} = 4,0 + (0,015 + 0,003)2 = 4,036 \text{ м} \quad (2.19)$$

При умові розташування по вершинах правильних шестикутників кількість труб , розташованих на найдовшій діагоналі визначимо по формулі [12,с.202]:

$$n_o = \sqrt{\frac{n-1}{0,75}} + 1 \text{ шт} \quad (2.20)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{\delta} = \sqrt{\frac{125-1}{0,75}} + 1 = 13,2 \text{ шт}$$

Приймаємо  $n_{\delta} = 13 \text{ шт}$

При цьому необхідний діаметр корпуса визначаємо за формулою [12,с.202]:

$$D_{\delta} = (n_{\delta} - 1)t + 4d_{\text{зоб}} \text{ м} \quad (2.21)$$

де:  $t = 1,3d_{\text{зоб}}$  – необхідний крок труб при їх розташуванні;

$d_{\text{зоб}} = 0,08 \text{ м}$  - зовнішній діаметр труб;

$$t = 1,3 \cdot 0,08 = 0,1 \text{ м} \quad (2.22)$$

Таким чином:

$$D_{\delta} = (13 - 1)0,1 + 4 \cdot 0,08 = 1,512 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр бражної секції  $D_{\delta} = 1,55 \text{ м}$

Визначаємо необхідну розрахункову довжину сталевих труб (м) для водяної секції бражного підігрівача по формулі (2.15):

$$L_{\delta} = \frac{F_2}{\pi d_{\text{сп}}} \text{ м}$$

$$L_{\delta} = \frac{20,4}{3,14 \cdot 0,0325} = 185,6 \text{ м}$$

Приймаємо довжину труб водяної секції  $l_2 = 3,0 \text{ м}$

Визначаємо необхідну кількість труб водяної секції по формулі (2.16):

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{L_g}{l_2} \text{ шт}$$

$$n = \frac{185,6}{3} = 61,9 \text{ шт}$$

Необхідна товщина трубної решітки водяної секції визначимо по формулі (2.18):

$$\delta_g = \frac{d_g}{8} + 0,005 \text{ м}$$

$$\delta_g = \frac{0,035}{8} + 0,005 = 0,009 \text{ м}$$

Приймаємо товщину трубної решітки водяної секції  $\delta_g = 10 \text{ мм}$

При зварюванні труб кожна труба повинна виступати на 3 мм , тоді довжина кожної труби визначимо за формулою (2.19):

$$l_{mp}^I = 3,0 + (0,01 + 0,003)2 = 3,026 \text{ м}$$

При умові розташування труб по вершинах правильних шестикутників кількість труб , розташованих на одній діагоналі складатиме по формулі (2.20):

$$n_o^I = \sqrt{\frac{n-1}{0,75}} + 1 \text{ шт}$$

$$n_o^I = \sqrt{\frac{64-1}{0,75}} + 1 = 9,2 \text{ шт}$$

Приймаємо  $n_o^I = 10 \text{ шт}$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

При цьому необхідний діаметр корпуса водяної секції складатиме по формулі (2.21):

$$D_g = (n_d^l - 1) \cdot t + 4d_{зоб}^l \quad м$$

де:  $t = 1,3 \cdot d_{зоб}^l = 1,3 \cdot 0,035 = 0,0445 м$  - необхідний крок розташування при зварюванні по формулі (2.22);

$$D_g = (10 - 1)0,0445 + 4 \cdot 0,035 = 0,54 м$$

Приймаємо  $D_g = 550 мм$

Визначення числа ходів у секціях бражного підігрівача.

Бражна секція.

Визначаємо площу поперечного перерізу труб одного ходу за формулою [17.203]:

$$f_1 = \frac{G}{\rho_{бр} \cdot \omega} \quad м^2 \quad (2.23)$$

де:  $\omega = 0,195 м/с$  - швидкість руху бражки в трубах;

$\rho_{бр} = 1023 кг/м^3$  - густина бражки;

$$f = \frac{2,96}{1023 \cdot 0,195} = 0,0148 м^2$$

Число труб одного ходу визначаємо за формулою [17.203]:

$$n_1 = \frac{f_1}{0,785 \cdot d_g^2} \quad шт \quad (2.24)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:  $d_6 = 0,076\text{ м}$  - внутрішній діаметр труби , м;

Тоді:

$$n_1 = \frac{0,0148}{0,785 \cdot 0,076^2} = 12,95 \text{ шт}$$

Приймаємо  $n_1 = 13 \text{ шт}$

Необхідне число ходів визначимо за формулою [12,с.203]:

$$z_1 = \frac{n}{n_1} \text{ шт} \quad (2.25)$$

$$z_1 = \frac{125}{13} = 9,6 \text{ шт}$$

Приймаємо: 10 ходів і з запасом число труб  $10 \cdot 13 = 130$  шт.

Водяна секція.

Визначаємо площу поперечного перерізу труб одного ходу за формулою (2.23):

$$f_2 = \frac{W}{\rho_6 \cdot \omega_6} \text{ м}^2$$

де:  $W = 1,86 \text{ кг}^2/\text{с}$  - витрати води на охолодження;

$\omega_6 = 0,13 \text{ м}^3/\text{с}$  - швидкість руху води по трубах;

$\rho_6 = 1000 \text{ кг}^3/\text{м}^3$  - густина води;

$$f_2 = \frac{1,86}{1000 \cdot 0,13} = 0,0143 \text{ м}^2$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Число труб одного ходу визначаємо за формулою (2.24):

$$n_2 = \frac{f_2}{0,785 \cdot d_g^2} \quad \text{шт}$$

де:  $d_g^1 = 0,032 \text{ м}$  - внутрішній діаметр труби водяної секції;

$$n_2 = \frac{0,0143}{0,785 \cdot 0,032} = 17,72 \quad \text{шт}$$

Приймаємо  $n_2 = 18 \text{ шт}$

Необхідне число ходів визначимо за формулою (2.25):

$$z_2 = \frac{n_o}{n_2} \quad \text{шт}$$

$$z_2 = \frac{91}{18} = 5,05 \quad \text{шт}$$

Приймаємо 6 ходів з загальним числом труб  $6 \cdot 8 = 108$  шт.

Розрахунок патрубків.

Діаметр патрубка для подачі бражки в бражний підігрівач визначимо за формулою [12, с.154]:

$$d_{\text{оп}} = \sqrt{\frac{4G_{\text{оп}}}{\pi \cdot \omega_g^1 \cdot 3600 \cdot \rho_{\text{оп}}}} \quad \text{м} \quad (2.26)$$

де:  $\omega_g^1 = 1,5 \text{ м/с}$  - швидкість руху бражки у патрубку;

$\rho_{\text{оп}} = 1023 \text{ кг/м}^3$  - густина бражки;

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{\text{оп}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10636}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 3600 \cdot 1023}} = 0,0248 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_{\text{оп}} = 30 \text{ мм}$

Діаметр патрубку для подачі для подачі води у водяну секцію визначимо за формулою [12,с.155]:

$$d_e = \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot \omega_e^{\text{I}} \cdot \rho_e}} \text{ м} \quad (2.27)$$

де:  $W = 1,86 \text{ кг/с}$  - витрати охолоджуючої води;

$\omega_e^{\text{I}} = 0,13 \text{ м/с}$  - швидкість руху в патрубку;

$$d_e = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,86}{3,14 \cdot 0,13 \cdot 1000}} = 0,098 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_e = 100 \text{ мм}$

Діаметр патрубку для вводу водно – спиртових парів в бражний підігрівач визначаємо за формулою [18.155]:

$$d = \sqrt{\frac{4G_n}{\pi \cdot \omega_n \cdot \rho_n}} \text{ м} \quad (2.28)$$

де:  $G_n$  - витрати водно – спиртових парів ,  $\text{кг/с}$ ;

$\omega_n = 10 \text{ м/с}$  - швидкість руху водно – спиртових парів;

$\rho_n = 0,920 \text{ кг/м}^3$  - густина водно – спиртових парів;

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,445}{3,14 \cdot 10 \cdot 0,92}} = 0,248 \text{ м}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо  $d = 250\text{мм}$ .

Кількість бражного потоку , який спускається в бражний підігрівач визначаємо за формулою [3,с.178]:

$$G_{n_1} = \frac{Q}{r_{cn}} \quad \text{кг/с} \quad (2.29)$$

де:  $r_{cn} = 1392,9\text{кДж/кг}$  - теплота конденсації спирту – сирцю;

$$G_{n_1} = \frac{682,5}{1392,9} = 0,49 \text{ кг/с}$$

Кількість бражного потоку , який спускається у водяній секції визначимо по формулі [16.178]:

$$G_{n_2} = \frac{Q_1}{r} \quad \text{кг/с} \quad (2.30)$$

$$G_{n_2} = \frac{194,5}{1322,9} = 0,14 \text{ кг/с}$$

При цьому діаметр патрубку для подачі водно - спиртових парів у водяну секцію визначимо за формулою (2.28):

$$d_1 = \sqrt{\frac{4G_{n_2}}{\pi \cdot \omega_n^1 \cdot \rho_n}} \quad \text{м}$$

де:  $\omega_n^1 = 8\text{м/с}$  - швидкість руху водно – спиртових парів у патрубку між секціями підігрівача бражки;

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 8 \cdot 0,92}} = 0,156 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_1 = 160 \text{ мм}$

Діаметри патрубків для відводу бражного дистилляту.

Діаметр патрубка для відводу погону з бражного підігрівача визначимо за формулою (2.28):

$$d_1 = \sqrt{\frac{4G_{n_1}}{\pi \cdot \omega_n^I \cdot \rho_n^I}} \text{ м}$$

де:  $\omega_n^I = 1,0 \text{ м/с}$  - швидкість руху погону;

$\rho_n^I = 932,1 \text{ кг/с}$  - густина погону;

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,49}{3,14 \cdot 1,0 \cdot 932,1}} = 0,0254 \text{ м}$$

Приймаємо  $d_1 = 30 \text{ мм}$

Діаметр патрубка для відводу погону з водяної секції визначаємо за формулою (2.28):

$$d_3 = \sqrt{\frac{4G_{n_2}}{\pi \cdot \omega_n^{II} \cdot \rho_n^I}} \text{ м}$$

де:  $\omega_n^{II} = 0,5 \text{ м/с}$  - швидкість руху погону з водяної секції;

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,14}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 932,3}} = 0,0196 \text{ мм}$$

Приймаємо  $d_3 = 20 \text{ мм}$ .

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Гідравлічний опір апарата

Бражна секція.

Гідравлічний опір бражної секції підігрівача бражки визначаємо за формулою [3,с.278]:

$$\Delta p = \frac{\rho_{\text{бр}} \cdot \omega^2}{2} \left( \frac{\lambda \cdot l \cdot n}{d_{\text{вн}}} + \sum \xi \right) \text{ Па} \quad (2.31)$$

де:  $\rho_{\text{бр}} = 1023 \text{ кг/м}^3$  - густина бражки;

$\omega = 0,105 \text{ м/с}$  - швидкість руху бражки в трубах;

$\lambda$  - коефіцієнт тертя по довжині при рухові бражки в трубах;

$l_1 = 4 \text{ м}$  - довжина трубок;

$n = 130$ шт - кількість трубок бражній секції;

$d_{\text{вн}} = 0,076 \text{ м}$  - внутрішній діаметр трубок;

$\sum \xi$  - сума місцевих опорів;

Визначаємо величину критерія Рейнольдса при рухові бражки в трубах по формулі [3,с..278]:

$$R_e = \frac{\omega_{\text{бр}} \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho_{\text{бр}}}{\mu_{\text{бр}}} \quad (2.32)$$

де:  $\mu = 0,7 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості бражки;

$$R_e = \frac{0,195 \cdot 0,0076 \cdot 1023}{07 \cdot 10^3} = 22798$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для гідравлічно гладких труб при турбулентному русі і величині критерія Рейнольдса  $R_e < 100000$  значення коефіцієнта тертя по довжині визначаємо за формулою [3, с. 278]:

$$\lambda = \frac{0,316}{R_e^{0,25}} \quad (2.33)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{22798^{0,25}} = 0,026$$

Суму місцевих опорів визначаємо за формулою [3, с. 278]:

$$\sum \xi = \xi_1 + (n_1 - 1) \cdot \xi_2 + 2 \cdot n_1 \cdot \xi_3 + \xi_4 \quad (2.34)$$

де:  $\xi_1 = \xi_4 = 1,5$  - коефіцієнт місцевих опорів при вході і виході у вхідну та вихідну камери;

$\xi_2 = 2,5$  - коефіцієнт місцевих опорів при повороті на  $180^\circ$  між ходами;

$\xi_3 = 1$  - коефіцієнт місцевих опорів при вході в труби і при виході з них;

$$\sum \xi = 1,5 + (12 - 1) \cdot 2,5 + 2 \cdot 12 \cdot 1 + 1,5 = 54,5$$

Таким чином гідравлічний опір бражної секції складатиме:

$$\Delta p = \frac{1023 \cdot 0,195^2}{2} \left( \frac{0,026 \cdot 4,0 \cdot 130}{0,076} + 54,5 \right) = 3654,6 \text{ Па}$$

Водяна секція.

Гідравлічний опір водяної секції визначаємо за формулою (2.31):

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta p = \frac{1000 \cdot 0,13^2}{2} \left( \frac{0,034 \cdot 3,0 \cdot 108}{0,032} + 54,5 \right) = 2184,3 \text{ Па}$$

де:  $\rho_e = 1000 \text{ кг/м}^3$  - густина води;

$\omega_e = 0,13 \text{ м/с}$  - швидкість руху води в трубках;

$\lambda$  - коефіцієнт тертя по довжині при рухові води в трубках;

$l_2 = 3,0 \text{ м}$  - довжина трубок;

$n_o = 108 \text{ шт}$  - кількість трубок в водяній секції;

$d_{\text{вн}}^I = 0,032 \text{ м}$  - внутрішній діаметр трубок;

$\sum \xi$  - сума місцевих опорів;

Визначаємо величину критерія Рейнольдса при рухові води в трубках за формулою (2.32):

$$R_e = \frac{0,13 \cdot 0,032 \cdot 1000}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 7460$$

де:  $\mu = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості води;

Для гідравлічно гладких труб при турбулентному русі і величині критерія Рейнольдса  $R_e < 100000$  значення коефіцієнта тертя по довжині визначаємо за формулою:

$$\lambda = \frac{0,316}{7460^{0,25}} \cdot 0,034$$

Суму місцевих опорів визначаємо за формулою (2.34):

$$\sum \xi = 1,5 + (12 - 1) \cdot 2,5 + 2 \cdot 12 \cdot 1 + 1,5 = 54,5$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

Необхідна потужність на валу відцентрового насоса для подачі бражки в бражну секцію бражного підігрівача визначаємо за формулою [16.282]:

$$N = \frac{G_{\text{бр}} (\Delta p + \Delta p_{\text{нід}})}{24 \cdot 3600 \cdot \rho_{\text{бр}} \cdot \eta \cdot 1000} \quad \text{кВт} \quad (2.35)$$

де:  $\Delta p$  - гідравлічний опір бражної секції;

$\Delta p_{\text{нід}}$  - затрати напору на підйом бражки;

$\rho_{\text{бр}} = 1023 \text{ кг/м}^3$  - густина бражки;

$\eta = 0,85$  - к.п.д насоса;

Гідравлічний опір бражної секції визначаємо за формулою [4]:

$$\Delta p_{\text{нід}} = \rho_{\text{бр}} \cdot g \cdot H \quad \text{Па} \quad (2.36)$$

$$\Delta p_{\text{нід}} = 1023 \cdot 9,8 \cdot 15 = 15053415 \text{ Па}$$

де:  $H = 15 \text{ м}$  - висота підйому;

Таким чином:

$$N = \frac{232059(3654,6 + 15053415)}{24 \cdot 3600 \cdot 1000 \cdot 1023 \cdot 0,85} = 0,52 \text{ кВт}$$

Приймаємо до установки насос марки К 20/18 , потужністю  $20 \text{ м}^3 / \text{год}$  з напором  $H=18 \text{ м вод.ст.}$ , потужність привода  $N=2,2 \text{ кВт}$ .

Водяна секція.

Необхідна потужність на валу насоса для подачі води у водяну секцію бражного підігрівача визначаємо за формулою [4]:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$N = \frac{W(\Delta p + \Delta p_{\text{під}})}{3600 \cdot \eta \cdot 1000} \quad \text{кВт} \quad (2.37)$$

де:  $W = 1,86 \text{ м}^3/\text{с}$  - витрати води на водяну секцію;

$\Delta p$  - гідравлічний опір водяної секції;

$\Delta p_{\text{під}}$  - затрати напору на підйом води;

$\eta = 0,8$  - к.п.д. насоса;

Гідравлічний опір водяної секції визначаємо за формулою (2.36):

$$\Delta p_{\text{під}} = \rho_g \cdot g \cdot H \quad \text{Па}$$

$$\Delta p_{\text{під}} = 1000 \cdot 9,8 \cdot 20 = 196000 \text{ Па}$$

Таким чином:

$$N = \frac{1,86(2184,3 + 196000)}{3600 \cdot 0,8 \cdot 1000} = 0,46 \text{ кВт}$$

Приймаємо до установки насос К 8/18 , потужністю  $8 \text{ м}^3/\text{год}$  , напором 25м, потужність електродвигуна  $N=1,5 \text{ кВт}$ .

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

## 3 РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ ТА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

### 3.1 Розрахунок товщини стінки апарата, кришки

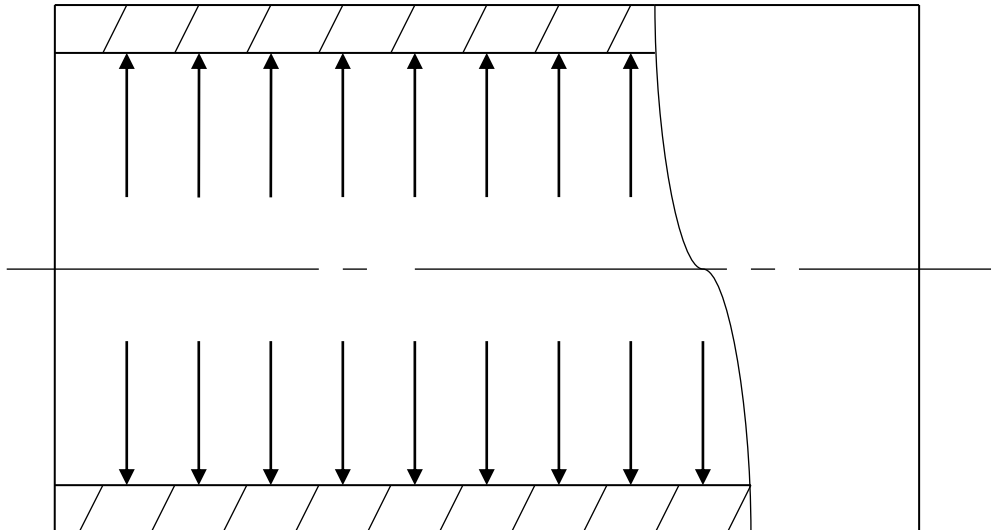


Рис. 3.1. Розрахункова схема

Товщину стінки апарата визначаємо за формулою [8]:

$$S_p = \max \begin{cases} p_p \cdot D_{вн} / (2 \cdot \varphi[\sigma] - p_p) \\ p_e \cdot D_{вн} / (2 \cdot \varphi[\sigma] - p_e) \end{cases} \quad (3.1)$$

де:  $p_p = 0,03 \text{ МПа}$  - робочий тиск;

$$p_e = p_p + 0,2 = 0,03 + 0,2 = 0,23 \text{ МПа}$$

Бражна секція.

Товщину стінки бражної секції бражного підігрівача визначаємо за формулою (3.1):

$$S_p = \max \left\{ \frac{0,03 \cdot 1,55}{2 \cdot 1 \cdot 140 - 0,03} \right\} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,000166 \\ 0,00127 \end{matrix} \right\} = 1,27 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки циліндричного корпусу апарата:

$$S_e \geq \max(S_p; S_p^e)$$

$$S_e = S_p^e + C \text{ м} \quad (3.2)$$

де:  $C = C_1 + C_2 + C_3 \text{ м}$

$C_1 = 1 \text{ мм}$  - добавка на корозію;

$C_2 = 0,8 \text{ мм}$  - добавка на мінусовий допуск при виготовленні листа;

$C_3 = 0,2 S_p = 0,2 \cdot 0,00127 = 0,000254 \text{ м}$  - технологічна добавка;

Виконавчу товщину стінки бражної секції визначаємо за формулою (3.2) :

$$S_B = 0,00127 + 0,001 + 0,0008 + 0,000254 = 0,00333 \text{ м}$$

Приймаємо товщину корпусу бражної секції 6 мм.

Допустимий внутрішній тиск визначаємо за формулою [18.146]:

$$[p_o] = \frac{2[\sigma]\varphi(S - C_1)}{D_{вн} + (S - C_1)} \text{ МПа} \quad (3.3)$$

де:  $C_1 = 1 \text{ мм}$  - прибавка на корозію;

$$[p_o] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1(6 - 1)}{1550 + (6 - 1)} = 0,72 \text{ МПа}$$

Умови виконуються - міцність забезпечена.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевіряємо умови:

$$0,002 \leq \frac{S - C_1}{D_{\text{вн}}} \leq 0,1 \quad (3.4)$$

$$0,002 \leq \frac{6-1}{1550} = 0,0026 \leq 0,1$$

Умови виконуються.

Водяна секція.

Товщину стінки водяної секції бражного підігрівача визначаємо за формулою (3.1):

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,03 \cdot 0,55}{2 \cdot 1 \cdot 140 - 0,03} \\ \frac{0,23 \cdot 0,55}{2 \cdot 1 \cdot 140 - 0,23} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,000059 \\ 0,000452 \end{array} \right\}$$

Виконавча товщина стінки водяної секції визначаємо за формулою (3.2):

$$S_g = 0,000452 + 0,001 + 0,0008 + 0,00058 = 0,0028 \text{ м}$$

Приймаємо товщину стінки водяної секції 5 мм.

Допустимий внутрішній тиск визначаємо за формулою (3.3):

$$[p_o] = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1(5-1)}{550 + (5-1)} = 2,01 \text{ МПа}$$

Умови виконуються - міцність забезпечена

Перевіряємо умови по формулі (3.4):

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$0,002 \leq \frac{5-1}{550} = 0,0072 \leq 0,1$$

Умови виконуються.

Розрахунок товщини стінки плоскої кришки

Товщини стінки плоскої кришки визначаємо за формулою [7]:

$$S_p = \frac{K}{K_n} D \sqrt{\frac{P}{[\sigma]}} + C \quad \text{м} \quad (3.5)$$

де:  $K = 0,4$  - коефіцієнт який залежить від конструкції кришки;

$K_n = 1$  - коефіцієнт ослаблення днища отворами;

$D = 1,55 \text{ м}$  - розрахунковий діаметр кришки;

$P = p_e = 0,23 \text{ МПа}$  - внутрішній збитковий тиск при випробуванні;

$[\sigma] = 140 \text{ МПа}$  - допустима напруга випробування;

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad \text{м}$$

де:  $C_1 = 1 \text{ мм}$  - добавка на корозію;

$C_2 = 0,8 \text{ мм}$  - добавка на мінусовий допуск при виготовленні листа;

$C_3 = 0,2 \cdot S_B = 0,2 \cdot 0,0243 = 0,005 \text{ м}$  - технологічна добавка;

Товщина плоскої кришки бражної секції підігрівача бражки:

$$S_p = \frac{0,4}{1} \cdot 1,55 \sqrt{\frac{0,23}{140}} + 0,0068 = 0,0311 \text{ м}$$

Приймаємо товщину кришки бражної секції  $S_p = 35 \text{ мм}$ .

Визначаємо допустимий тиск при прийнятій товщині кришки [7]:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[p_o] = \frac{(s_{kp} - C)^2 [\sigma]}{K^2 D^2} \quad \text{МПа} \quad (3.6)$$

$$[p_o] = \frac{(0,035 - 0,0023)^2 \cdot 140}{0,4^2 \cdot 1,55^2} = 0,416 \text{ МПа}$$

Умова виконується , міцність забезпечена.

Товщину плоскої кришки водяної секції бражного підігрівача визначаємо за формулою (3.5):

$$s_p = \frac{0,4}{1} \cdot 0,55 \sqrt{\frac{0,23}{140}} + 0,068 = 0,0099 \text{ м}$$

Приймаємо товщину плоскої кришки водяної секції  $S_p = 15$  мм.

Визначаємо допустимий тиск при прийнятій товщині кришки за формулою (3.6):

$$[p_o] = \frac{(0,015 - 0,0023)^2 \cdot 140}{0,4^2 \cdot 0,55^2} = 0,4665 \text{ МПа}$$

Умова виконується , міцність забезпечена.

### 3.2 Розрахунок трубної решітки

Для визначення товщини трубної ґратки для труб котрі розвальовані в ніці не менше величини , розрахованої із співвідношення для сталевих труб по формулі [7]:

$$\delta_{\min} = 0,125 \cdot d_s + 5 \quad \text{мм} \quad (3.7)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:  $d_3$  - зовнішній діаметр труб;

Для бражної секції.

Визначаємо товщину трубної ґратки для бражної секції по формулі (3.40):

$$\delta_{\min} = 0,125 \cdot 80 + 5 = 15 \text{ мм}$$

де:  $d_3 = 80 \text{ мм}$  - зовнішній діаметр труб бражної секції;

Приймаємо товщину трубної ґратки 16 мм.

Перевіряємо товщину трубної решітки на допустиму напругу за формулою [7]:

$$\sigma_u = \frac{0,278 \cdot p_p (l - 0,125 \cdot d_{cp}) l^2}{(l - 0,7 d_{cp}) \delta_3^2} \leq [\sigma_u] \quad (3.8)$$

де:  $p = 0,2 \text{ МПа}$  - максимальний тиск при випробуванні;

$l$  - сторона квадратного поля, що утворюється трубами [7];

$$l = 0,5(S_1 + S_2) \quad \text{м} \quad (3.9)$$

$$S_1 = t + d_3 = 1,3d_3 + d_3 \quad \text{м} \quad (3.10)$$

$$S_1 = 1,3 \cdot 0,08 + 0,08 = 0,112 \text{ м}$$

$$S_2 = 1,2d_3 \quad \text{м}$$

$S_1, S_2 = 1,2 \cdot 0,08 = 0,096 \text{ м}$  - Сторона квадратного поля, що утворюється трубами бражної секції:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l = (0,112 + 0,096) = 0,104 \text{ м}$$

де  $\delta_3$  - еквівалентна товщина трубної решітки [18.178];

$$\delta_3 = \frac{\delta(D^2 - nd_3^2 - zd_{cp}^2)}{D^2} \text{ м} \quad (3.11)$$

де:  $z$  - число болтів , шт;

$d_{cp}$  - середній діаметр болта , м;

$n$  - число труб , шт. ;

Еквівалентну товщину трубної решітки бражної секції при значеннях  $z = 60$ ;  $d_{cp} = 0,018 \text{ м}$ ;  $n = 130 \text{ шт}$  визначаємо по формулі(3.11):

$$\sigma_3 = \frac{0,016(1,55^2 - 0,08^2 - 60 \cdot 0,018^2)}{1,55^2} 0,011 \text{ м}$$

Підставивши значення у формулу (3.11) отримаємо:

$$\sigma_u = \frac{0,278 \cdot 0,2(0,104 - 0,125 \cdot 0,018)0,104^2}{(0,104 - 0,7 \cdot 0,018)0,011^2} = 5,6 \text{ МПа} \leq 150 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Для водяної секції.

Визначаємо товщину трубної ґратки для водяної секції по формулі (3.7):

$$\delta_3 = 0,125 \cdot 35 + 5 = 9,38 \text{ мм}$$

де:  $d_3 = 0,035 \text{ м}$  - зовнішній діаметр труб водяної секції;

Приймаємо товщину трубної ґратки 10 мм.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Перевіряємо товщину трубної решітки на допустиму напругу за формулою (3.11).

Сторона квадратного поля, що утворюється трубами водяної секції визначаємо за формулою (3.9);

$$l = 0,5(0,049 + 0,042) = 0,0455 \text{ м}$$

$$S_1 = 1,3 \cdot 0,035 + 0,035 = 0,049 \text{ м}$$

$$S_2 = 1,2 \cdot 0,035 = 0,042 \text{ м}$$

Еквівалентну товщину трубної решітки водяної секції призначеннях  $z = 24 \text{ мм}$ ;  $d = 0,016 \text{ м}$ ;  $n = 108 \text{ мм}$  визначаємо по формулі(3.8):

$$\delta_s = \frac{0,01(0,55^2 - 108 \cdot 0,035^2 - 24 \cdot 0,016^2)}{0,55^2} = 0,006 \text{ м}$$

Підставивши значення у формулу (3.1 1) визначимо допустиму напругу:

$$\sigma_u = \frac{0,278 \cdot 0,2(0,0455 - 0,125 \cdot 0,016)0,0455^2}{(0,0455 - 0,7 \cdot 0,016)0,006^2} 4,07 \text{ МПа} \leq 150 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3 Розрахунок опор апарата

Розрахунок нижньої опори

Визначаємо масу апарата.

Максимальну масу апарат буде мати в процесі гідравлічного випробування визначаємо за формулою[8]:

$$M_{\max} = M_{\text{mat}} + M_{\text{в}} \quad (3.12)$$

де:  $M_{\text{mat}}$  - маса металу апарата, кг;

$M_{\text{в}}$  - маса води при гідравлічному випробуванні, кг;

Масу води в апараті приймаємо приблизно при умові заповнення об'єму циліндра, діаметр якого дорівнює корпусу апарата, а довжина дорівнює також його довжині.

Маса води при гідравлічному випробуванні у бражній секції визначаємо за формулою[8]

$$M_{\text{в}} = \frac{\pi D_{\text{в}}^2}{4} L_{\text{в}} \rho_{\text{в}} \quad \text{кг} \quad (3.13)$$

$$M_{\text{в}} = \frac{3,14 \cdot 1,55^2}{4} 4,5 \cdot 1000 = 8487 \text{ кг}$$

Масу води при гідравлічному випробуванні у водяній секції визначаємо за формулою(3.64):

$$M_{\text{в}} = \frac{3,14 \cdot 0,55^2}{4} 3,0 \cdot 1000 = 712,4 \text{ кг}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з [8], маса апарата складе приблизно 11000кг.

Таким чином загальна маса підігрівача бражки визначаємо за формулою[8] :

$$G = (M_{mat} + M_e)g \quad kH \quad (3.14)$$

$$G = (11000 + 712,4 + 8487)9,81 = 197,952 \text{ kH}$$

Приймаємо сідловидну опору типу 2 виконання 1 з дозволеним навантаженням на опору  $Q=200$  кН.

Реакцію опори при установці на двох опорах визначаємо за формулою [8]:

$$Q = 0,5G \quad H \quad (3.15)$$

$$Q = 0,5 \cdot 197952,4 = 98976,2 \text{ H}$$

Згинальний момент в середині апарата : визначаємо за формулою [8]

$$M_1 = Q(f_1 L - a) \text{ H} \cdot \text{м} \quad (3.16)$$

де:  $f_1 = 0,24$  - коефіцієнт [8], ст.296;

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

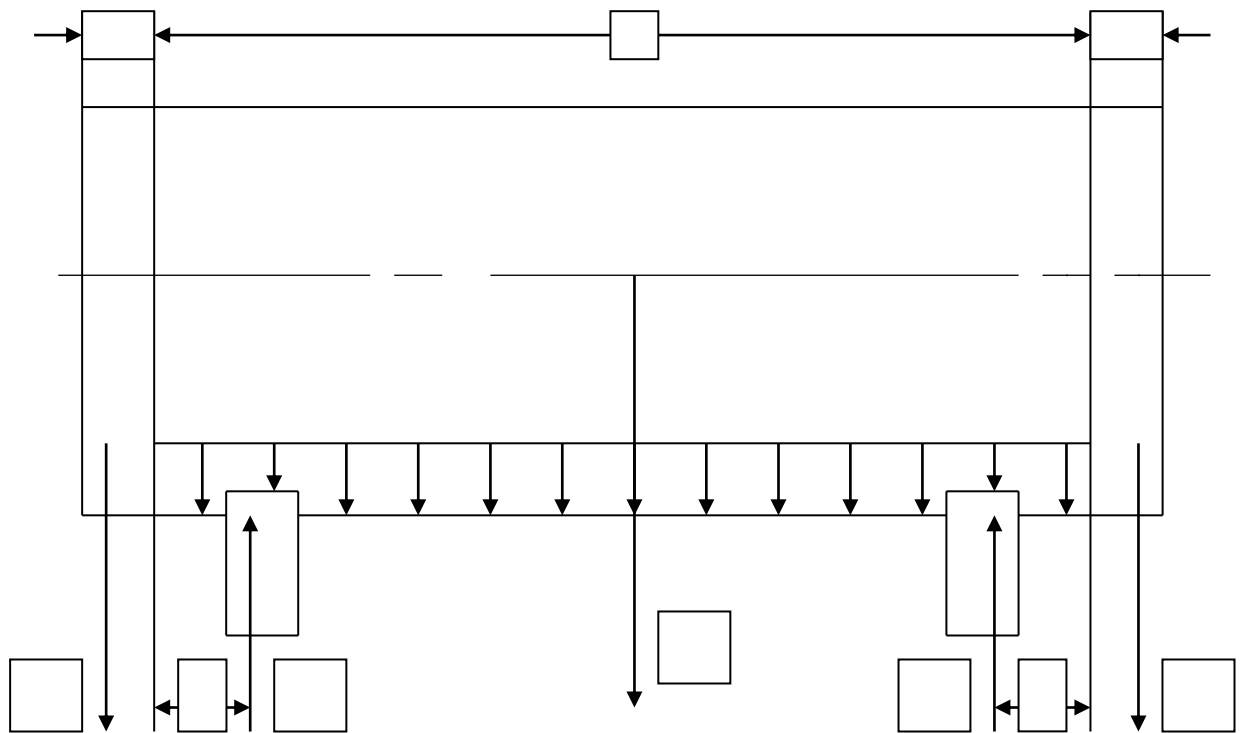


Рис.3.2 Розрахункова схема для розрахунку опри апарата

Для апаратів без кілець жорсткості визначаємо за формулою [8]

$$a \approx 0,2L \text{ м} \quad (3.17)$$

$$a = 0,2 \cdot 4,0 = 0,8 \text{ м}$$

Підставивши значення у формулу (3.67) отримаємо:

$$M_1 = 98976,2(0,24 \cdot 4,0 - 0,8) = 1583619 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Згинальний момент в перерізі над опорою визначаємо за формулою [8]:

$$M_2 = \frac{Q \cdot a}{f_2} \left( 1 - \frac{a}{L} + \frac{0,5 f_3 D}{a} - f_2 \right) \quad H \cdot m \quad (3.18)$$

де:  $f_2 = 1,07$  - коефіцієнт [8];

$f_3 = 0,03$  - коефіцієнт [8];

$$M_2 = \frac{989762 \cdot 0,8}{1,07} \left( 1 - \frac{0,8}{4,0} + \frac{0,5 \cdot 0,03 \cdot 1,55}{0,8} - 1,07 \right) = -17829,6 \quad H \cdot m$$

Суму визначається за формулою[8]:

$$Q_n = f_4 \cdot Q \quad H \cdot m \quad (3.19)$$

де:  $f = 0,57$  - коефіцієнт [8];

$$Q_n = 0,57 \cdot 988762 = 56359,4 \quad H \cdot m$$

Міцність стінки від спільної дії внутрішнього тиску і згину від реакції опор перевіряємо в двох перерізах:

- посередині прольоту;
- над опорою;

Напруга матеріалу корпусу посередині прольоту визначається за формулою[8]:

$$\sigma_1 = \frac{pD}{4(S-C)} + 1,275 \frac{|M_1|}{D^2(S-C)} \leq \varphi[\sigma] \quad (3.20)$$

$$\sigma_1 = \frac{0,23 \cdot 10^6 \cdot 1,55}{4(0,006 - 0,001)} + 1,275 \frac{1583619}{1,55^2(0,006 - 0,001)} \leq \varphi[\sigma]$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$20,425\text{МПа} < 1 \cdot 60\text{МПа}$$

Напругу матеріалу корпусу під опорою визначається за формулою [8]

$$\sigma_2 = \frac{pD}{4(S-C)} + 1,275 \frac{|M_2|}{k_6 \cdot D^2(S-C)} \leq \varphi[\sigma] \quad (3.22)$$

де:  $k_6 = 0,15$  - коефіцієнт [17], ст.297;

$$\sigma_2 = \frac{0,23 \cdot 10^6 \cdot 1,55}{4(0,006 - 0,001)} + 1,275 \frac{17829,6}{0,15 \cdot 1,55^2 (0,006 - 0,001)} \leq \varphi[\sigma]$$

$$30,425\text{МПа} < 1 \cdot 60\text{МПа}$$

Всі вимоги міцності виконуються.

Напругу зрізу в опорному перерізі корпусу визначається за формулою[8]:

$$\tau_1 = 2 \cdot k_7 \frac{Q_n}{D(S-C)} \leq 0,8[\delta] \quad (3.23)$$

де:  $k_7 = 0,88$  - коефіцієнт [17], ст.297;

$$\tau_1 = 2 \cdot 0,88 \frac{56359,4}{1,55(0,006 - 0,001)} \leq 0,8 \cdot 60$$

$$13,23\text{МПа} < 48\text{МПа}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова виконується.

Кільцеве навантаження в нижній точці опорного перерізу визначається за формулою[8]:

$$\sigma_3 = k_{10} \frac{Q}{(S-C)l_e} \leq \varphi[\sigma] \quad (3.24)$$

де:  $k_{10} = 0,65$  - коефіцієнт [17], ст.297;

$$l_e = B + 1,1\sqrt{D(S-C)} \quad \text{м} \quad (3.25)$$

де:  $B = 250\text{мм} = 0,25\text{м}$  - ширина сідлової опори;

$$l_e = 0,25 + 1,1\sqrt{1,55(0,006 - 0,001)} = 0,345 \text{ м}$$

Підставивши всі відомі величини в формулу (3.73) визначимо:

$$\sigma_3 = 0,65 \frac{8976,2}{(0,006 - 0,001) \cdot 0,345} \leq \varphi[\sigma]$$

$$30,12\text{МПа} < 60\text{МПа}$$

Умова виконується.

Кільцеву напругу на гребні сідлової опори визначається за формулою[8]:

$$\tau_2 = \frac{Q}{(S-C)^2} \left[ \frac{S-C}{4 \cdot l_e} + 1,5 \cdot k_{11} \right] \leq \varphi[\sigma] \quad (3.26)$$

де:  $k = 0,0374$ - коефіцієнт [17], рис. 14.20, ст.297;

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau_2 = \frac{98976,2}{(0,006-0,001)^2} \left[ \frac{0,006-0,001}{4 \cdot 0,345} + 1,55 \cdot 0,0374 \right] \leq \varphi[\sigma]$$

$$19,1 \text{ МПа} < 60 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Розрахунок верхньої опори апарата

Загальну масу водяної секції визначаємо по формулі (3.14):

$$G = (4000 + 712)9,8 = 46177,6 \text{ Н}$$

Реакція опори при установці на двох опорах визначаємо по формулі (3.15):

$$Q = 0,5 \cdot 46177,6 = 23088,8 \text{ Н}$$

Згинальний момент в середині апарата визначаємо по формулі (3.16):

$$M = 23088,8(0,24 \cdot 3 - 0,6) = 2770,66 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розрахункова схема для розрахунку опри апарата така ж як і нижньої опори див. рис.3.2.

Для апаратів без кілець жорсткості визначаємо за формулою (3.16):

$$a = 0,2 \cdot 3 = 0,6 \text{ м}$$

Згинальний момент в перерізі над опорою визначаємо за формулою (3.17):

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$M_2 = \frac{230888 \cdot 1,2}{1,07} + \left( 1 - \frac{0,6}{3} + \frac{0,5 \cdot 0,03 \cdot 0,55}{0,6} - 1,07 \right) = -6635,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перерізаюча силу визначаємо за формулою(3.18):

$$Q_n = 0,57 \cdot 230888 = 13160,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де:  $f = 0,57$  - коефіцієнт [8];

Міцність стінки від спільної дії внутрішнього тиску і згину від реакції опор перевіримо в двох перерізах:

- посередині прольоту;
- над опорою;

Напруга матеріалу корпусу посередині прольоту визначаємо за формулою (3.19):

$$\sigma_1 = \frac{0,23 \cdot 10^6 \cdot 0,55}{4(0,005 - 0,001)} + 1,275 \frac{2270,66}{0,55^2 (0,005 - 0,001)} = 7,99 \text{ МПа}$$

$$7,99 \text{ МПа} < 1 \cdot 60 \text{ МПа}$$

Напруга матеріалу корпусу під опорою визначаємо за формулою (3.13):

$$\sigma_2 = \frac{0,23 \cdot 10^6 \cdot 0,55}{4(0,005 - 0,001)} + 1,275 \frac{6635,33}{0,15 \cdot 0,55^2 (0,005 - 0,001)} = 54,9 \text{ МПа}$$

$$54,9 \text{ МПа} < 160 \text{ МПа}$$

Всі вимоги міцності виконуються.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Напруга зрізу в опорному перерізі корпуса визначаємо за формулою (3.20):

$$\tau = 2 \cdot 0,88 \frac{131606}{0,55(0,005 - 0,001)} = 10,53 \text{ МПа}$$

$$10,53 \text{ МПа} < 128 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Напругу розтягнення визначаємо за формулою (3.15):

$$\sigma_3 = \frac{0,23 \cdot 10^6 \cdot 10^6 \cdot 0,55}{4(0,005 - 0,001)} + 2 \cdot 0,34 \frac{131606}{0,55(0,005 - 0,001)} = 11,96 \text{ МПа}$$

$$11,96 \text{ МПа} < 200 \text{ МПа}$$

Кільцеве навантаження в нижній точці опорного перерізу:

$$\sigma_{5(1)} = 0,65 \frac{230888}{(0,005 - 0,001)0,3} = 12,5 \text{ МПа}$$

$$12,5 \text{ МПа} < 1 \cdot 160 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Ефективну довжину обичайки визначаємо за формулою (3.25):

$$l_e = 0,25 + 1,1 \sqrt{0,55(0,005 - 0,005)} = 0,3$$

де  $B = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$  - ширина сідлової опри;

Умова виконується.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кільцеву напругу на гребні сідлової опори визначаємо за формулою (3.26):

$$\tau_2 = \frac{230888}{(0,005 - 0,001)} \left[ \frac{0,005 - 0,005}{4 \cdot 0,3} + 1,5 \cdot 0,0374 \right] = 85,76 \text{ МПа}$$

$$85,76 \text{ МПа} < 160 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

### 3.4 Розрахунок лінзового компенсатора

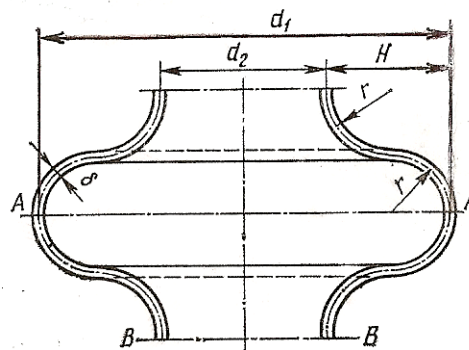


Рис.3.2 Схема розрахунку лінзового компенсатора

Визначаємо товщину стінки лінзи бражного підігрівача за формулою [7]:

$$\delta^l = 0,67H \sqrt{\frac{P}{[\sigma_u]}} \quad \text{м} \quad (3.27)$$

де:  $H$  - висота хвилі лінзи, м;

$$H = 2r \quad \text{м}$$

$$H = 2 \cdot 0,06 = 0,12 \quad \text{м}$$

$r$  - радіус торцевих елементів, м;

$p$  - внутрішній тиск в компенсаторі, МПа;

$[\sigma_u] = 140 \text{ МПа}$  - допустима напруга на згин матеріала стінки лінзи;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ

Арк.

59

Товщину стінки лінзи бражної секції бражного підігрівача визначаємо за формулою (3.27):

$$\delta^l = 0,67 \cdot 0,12 \sqrt{\frac{0,2}{140}} = 0,03 м$$

З врахуванням поправок [7]:

$$\delta = \delta^l \cdot \Delta C \quad м \quad (3.28)$$

$$\delta = 0,003 + 0,001 + 0,0008 + 0,0002 = 0,005 м$$

Приймаємо  $\delta = 6 мм$ .

Повне зусилля , що сприймається стінками лінзи від внутрішнього тиску визначаємо [7]:

$$p_0 = 0,785 p (d_1^2 - d_2^2) \quad МН \quad (3.29)$$

де:  $d_1 = 1,67 м$  - зовнішній діаметр лінзового компенсатори бражної секції;

$d_2 = 1,55 м$  - внутрішній діаметр лінзового компенсатори бражної секції;

Повне зусилля , що сприймається стінками лінзи бражної секції від внутрішнього тиску визначаємо за формулою (3.29) :

$$p_0 = 0,785 \cdot 0,2 (1,67^2 - 1,55^2) = 0,061 МН$$

Зусилля від внутрішнього тиску  $P_A$  розриваючого стінки лінзи по діаметру  $d_1$  в перерізі А-А по формулі [7]:

$$P_A = p_0 \frac{d_1}{d_1 + d_2} \quad МН \quad (3.30)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зусилля від внутрішнього тиску  $P_A$  розриваючого стінки лінзи бражної секції по діаметру  $d$ , в перерізі А-А (див. рис.3.2) визначаємо по формулі (3.30):

$$P_A = \frac{1,67}{1,67+1,55} = 0,018 \text{ МН}$$

Реактивне зусилля, згинаюче стінки лінзи компенсатора по діаметру  $d_1$  визначаємо по формулі [18], ст.168:

$$P_e = p_o - P_A \quad \text{МН} \quad (3.31)$$

Реактивне зусилля, згинаюче стінки лінзи компенсатора бражної секції по діаметру  $d_1$ (див. рис.3.2) визначаємо по формулі(3.48):

$$P_e = 0,061 - 0,018 = 0,043 \text{ МН}$$

Силу  $P_x$  ,яка виникає в компенсаторі від деформації однієї лінзи визначаємо по формулі [7]:

$$P_x = \pm \frac{4EI_{cp} S_n \Delta x}{46S_n - a^2} \quad \text{МН} \quad (3.32)$$

де:  $I_{cp}$  - момент поперечного перерізу хвилі лінзи;

Момент поперечного перерізу хвилі лінзи визначаємо по формулі [7],:

$$I_x = 0,262d_{cp} \delta^3 \quad \text{м}^4 \quad (3.33)$$

де:  $d_{cp}$  - середній діаметр лінзи;

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{м} \quad (3.34)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{cp} = \frac{1,67 + 1,55}{2} = 1,61 \text{ м}$$

Момент поперечного перерізу хвилі лінзи бражної секції визначаємо по формулі (3.33):

$$I_{cp} = 0,262 \cdot 1,61 \cdot 0,006^3 = 0,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

$$S_n = 3,14nr \text{ м} \quad (3.35)$$

де:  $n = 4шт$  - число полулінз в компенсаторі;

$$S_n = 3,14 \cdot 4 \cdot 0,06 = 0,7536 \text{ м}$$

$$a = 6,28 \cdot 4 \cdot 0,06^2 = 0,09 \text{ м}^2$$

$$v = 4,71 \cdot 4 \cdot 0,06^3 = 0,008 \text{ м}^3$$

Силу  $P_x$ , яка виникає в компенсаторі бражної секції від деформації однієї лінзи визначаємо по формулі (3.49):

$$P_x = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,9 \cdot 10^{-7} \cdot 0,7536}{4 \cdot 0,008 \cdot 0,7536 - 0,09^2} = 0,74 \text{ МН}$$

Момент  $M_x$  виникнення деформацією лінзи бражної секції визначаємо по формулі [7]:

$$M_x = \frac{aP_x}{2S_n} \text{ МН} \quad (3.36)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$M_x = \pm \frac{0,09 \cdot 0,74}{2 \cdot 0,7536} = 0,044 \text{ МН}$$

Згинальний момент  $M_a$  в небезпечному перерізі А-А лінзи бражної секції (див. рис.3.2) визначаємо по формулі [7]:

$$M_a = P_x H - M_x \quad \text{МН} \cdot \text{м} \quad (3.37)$$

$$M_a = 0,74 \cdot 0,12 - 0,044 = 0,0448 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Напруга згину від дії моменту в небезпечному перерізі лінзи бражної секції визначаємо по формулі [7]:

$$\sigma_u^I = \frac{M_a \delta}{2aI_A} \quad \text{МПа} \quad (3.38)$$

де:  $I_A$  - момент інерції лінзи в небезпечному перерізі;

Момент інерції лінзи в небезпечному перерізі визначаємо по формулі [7], ст.169:

$$I_A = 0,262d_2\delta^3 \quad \text{м}^4 \quad (3.39)$$

$$I_A = 0,262 \cdot 1,55 \cdot 0,006^3 = 0,87 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Напруга згину від дії моменту в небезпечному перерізі лінзи бражної секції визначаємо по формулі (3.38):

$$\sigma_u^I = \frac{0,0448 \cdot 0,006}{2 \cdot 0,09 \cdot 0,87 \cdot 10^{-7}} = 17,16 \text{ МПа}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруга згину бражної секції від внутрішнього тиску визначаємо по формулі [7]:

$$\sigma_u^{\parallel} = 0,45 \frac{pH^2}{\delta^2} \quad \text{МПа} \quad (3.40)$$

$$\sigma_u^{\parallel} = 0,45 \frac{0,2 \cdot 0,12^2}{0,006^2} = 36 \text{ МПа}$$

Результуюча напруга згину бражної секції визначаємо по формулі [7]:

$$\pm \sigma_u = \sigma_u^{\perp} + \sigma_u^{\parallel} \quad \text{МПа} \quad (3.41)$$

$$\pm \sigma_u = 17,16 + 36 = 53,16 \text{ МПа}$$

Напругу на розрив від внутрішнього тиску бражної секції визначаємо по формулі [7]:

$$\sigma = \frac{0,5pd_2}{\delta} \quad \text{МПа} \quad (3.42)$$

$$\sigma = \frac{0,5 \cdot 0,2 \cdot 1,55}{0,006} = 25,8 \text{ МПа}$$

Результуюча напруга бражної секції визначаємо по формулі [7]:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma^2} \quad \text{МПа} \quad (3.43)$$

$$\sigma_p = \sqrt{53,16^2 + 25,8^2} = 59,6 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Осьове зусилля в корпусі бражної секції визначаємо по формулі [7]:

$$P^l = P_g + P_x \quad \text{МН} \quad (3.44)$$

$$P^l = 0,043 + 0,74 = 0,783 \text{МН}$$

Визначаємо напругу в стінці лінзи в місці кріплення до корпусу за формулою [7]:

$$\sigma_{кор} = \frac{P^l}{\pi d_2 \delta} \leq 140 \text{МПа} \quad (3.45)$$

$$\sigma_{кор} = \frac{0,783}{3,14 \cdot 1,55 \cdot 0,006} = 26,58 \text{МПа} < 140 \text{МПа}$$

Водяна секція.

Визначаємо товщину стінки лінзи водяної секції за формулою (3.27):

$$\delta^l = 0,67 \cdot 0,05 \sqrt{\frac{0,2}{140}} = 0,0013 \text{м}$$

З врахуванням поправок [7] по формулі (3.28):

$$\delta = 0,013 + 0,001 + 0,0008 + 0,0002 = 0,0033 \text{м}$$

Приймаємо  $\delta = 5 \text{мм}$

Повне зусилля, що сприймається стінками лінзи водяної секції від внутрішнього тиску визначаємо формулою (3.29):

$$p_o = 0,785 \cdot 0,2 (0,66^2 - 0,55^2) = 0,021 \text{МН}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зусилля від внутрішнього тиску  $P_A$  розриваючого стінки лінзи водяної секції по діаметру  $d$ , в перерізі А-А(див. рис.3.2) визначаємо по формулі (3.30):

$$P_A = 0,021 \frac{0,66}{0,66 - 0,55} = 0,011 \text{ МН}$$

Реактивне зусилля, згинаюче стінки лінзи компенсатора водяної секції по діаметру  $d_1$  визначаємо по формулі (3.31):

$$P_e = 0,021 - 0,011 = 0,01 \text{ МН}$$

Силу  $P_x$ , яка виникає в компенсаторі водяної секції від деформації однієї лінзи визначаємо по формулі (3.32).

При цьому:

- середній діаметр лінзи визначимо по формулі:

-

$$d_{cp} = \frac{0,55 + 0,66}{2} = 0,605 \text{ м}$$

- момент поперечного перерізу хвилі лінзи визначаємо по формулі (3.33):

$$I_{cp} = 0,262 \cdot 0,605 \cdot 0,005^3 = 1,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

$$S_n = 3,14 \cdot 4 \cdot 0,05 = 0,628 \text{ м}$$

$$a = 6,28 \cdot 4 \cdot 0,05^2 = 0,0628 \text{ м}^2$$

$$v = 4,71 \cdot 4 \cdot 0,05^3 = 0,002355 \text{ м}^3$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_x = \pm \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,628 \cdot 0,21}{4 \cdot 0,002355 \cdot 0,628 - 0,0628^2} = 1,044 \text{ МН}$$

Момент  $M_x$  виникнення деформацією лінзи водяної секції визначаємо по формулі (3.36):

$$M_x = \frac{0,0628 \cdot 1,044}{2 \cdot 0,628} = 0,0522 \text{ МН}$$

Згинальний момент  $M_a$  в небезпечному перерізі А-А лінзи водяної секції (див. рис.3.2) визначаємо по формулі (3.37):

$$M_a = 1,044 - 0,0522 = 0,9918 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Напруга згину  $\sigma_u^I$  від дії моменту в небезпечному перерізі лінзи водяної секції визначаємо по формулі (3.38).

Де:

- момент інерції лінзи в небезпечному перерізі визначаємо по формулі (3.33):

$$I_A = 0,262 \cdot 0,66 \cdot 0,005^3 = 2,1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

$$\sigma_u^{II} = \frac{0,0522 \cdot 0,005}{2 \cdot 0,0628 \cdot 2,1 \cdot 10^{-8}} = 9,9 \text{ МПа}$$

Напруга згину водяної секції від внутрішнього тиску визначаємо по формулі (3.40):

$$\sigma_u^{II} = 0,45 \frac{0,2 \cdot 0,1^2}{0,005^2} = 36 \text{ МПа}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результуюча напруга згину водяної секції визначаємо по формулі (3.41):

$$\pm \sigma_u = 9,9 + 36 = 45,9 \text{ МПа}$$

Напругу на розрив від внутрішнього тиску водяної секції визначаємо по формулі (3.42):

$$\sigma = \frac{0,2 \cdot 0,5 \cdot 0,66}{0,005} = 13,2 \text{ МПа}$$

Результуюча напруга водяної секції визначаємо по формулі (3.43):

$$\sigma_p = \sqrt{45,9^2 + 13,2^2} = 47,76 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа}$$

Осьове зусилля в корпусі бражної секції визначаємо по формулі (3.44 1):

$$P^I = 1,044 + 0,01 = 1,054 \text{ МН}$$

Визначаємо напругу в стінці лінзи в місці кріплення до корпусу за формулою (3.45):

$$\sigma_{кор} = \frac{1,054}{3,14 \cdot 0,55 \cdot 0,005} = 61,0 \text{ МПа} < 140 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4 МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТА

### 4.1 Монтаж розробленого апарата[10]

Для проведення монтажних робіт теплообмінного обладнання потрібна така технічна документація : креслення компонування з специфікацією технологічного і допоміжного обладнання ; проект монтажу обладнання , схеми на виробництво монтажних робіт. Проект організації монтажних робіт розробляється до початку монтажних робіт , а потім уточняється під час його виконання.

Проект організації монтажної площадки повинен захвачувати наступні питання : взаємозв'язок робіт по оснащенню монтажних робіт з планом виробництва будівельних робіт ; організація складського господарства і транспортування обладнання до місця монтажу , організація енергопостачання монтажних робіт , календарне планування робіт , і графік потреби в робочій силі.

Основним документом , який визначає організацію роботи на майданчику, є будівельний генплан: на ньому в контурі буд майданчика розміщують не тільки основні об'єкти , також всі тимчасові і монтажні механізми і матеріали – цегла, труби та ін. На генплані також наносяться всі комунікаційні траси . Рациональна організація подачі обладнання до місця монтажу дуже важлива , так як питома вага цього виду монтажних робіт в загальному обсязі їх велика.

При проектуванні складається календарний план використання і перестановки вантажопідійомних механізмів зв'язаних з календарним планом монтажу обладнання. Також враховується необхідність послідовності монтажних робіт і термінів надходження обладнання.

Складаються дільничні і бригадні плани , на основі яких розробляються декадні завдання.

Кожухотрубні теплообмінники. Ці апарати складаються з циліндрового кожуха і поміщеного в нім пучка труб , тому не дивлячись на конструктивну

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

різноманітність , монтаж таких теплообмінників залежить тільки від їх ваги, розмірів і просторового розташування.

Вага і розміри кожухотрубних теплообмінників дозволяють транспортувати їх до місця монтажу в зібраному повністю на заводі-виготівнику виді.

Для транспортування використовують залізничні платформи , трейлери, автомобілі, сани ін.

Монтаж конденсатора повинен проводитися в такій послідовності:

- 1) виготовлення фундаменту або виготовлення і монтаж опорних конструкцій;
- 2) встановлення і вивірка положення корпусу конденсатора на фундаменті або опорній металевій конструкції;
- 3) монтаж обслуговуючих площадок та східців;
- 4) підготовка, приєднання всіх трубопроводів, герметизація фланцевих з'єднань, набивка і затягування сальникових ущільнень;
- 5) приєднання допоміжних пристроїв і механізмів, встановлення апаратури і контрольно-вимірювальних приладів, встановлення огорожень;
- 6) випробування конденсатора на герметичність;
- 7) проведення теплоізоляційних робіт;
- 8) здача апарата в експлуатацію;

Конденсатори поступають на монтаж в зібраному вигляді.

Правильність встановлення конденсатора перевіряють по рівню. Конденсатор встановлюють на опорні лапи, які після остаточної вивірки апарата приварюються до несучих металевих конструкцій перекриття будівлі.

Монтаж комунікацій паро- і конденсатопроводів, продуктопроводів проводиться після вивірки його положення і закріплення на фундаменті. Конденсат повинен відводитися із самої нижньої точки. На паропроводах повинні бути встановлені крани для спуску конденсату, щоб уникнути гідравлічних ударів при пуску пари в апарат. Необхідно також передбачити крани для періодичного спуску повітря із парового простору апарата.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Трубопроводи слід розташовувати з урахуванням зручного обслуговування апарата і допоміжних пристроїв. Продуктопроводи бажано монтувати з нахилом 3- 5 см на 1 м.

Перед збиранням мідного апарата всі його частини ретельно перевіряються. Трубочаті або змієвикові теплообмінники (підігрівачі, дефлегматори, конденсатори, холодильники) підлягають гідравлічному випробуванню.

Без попереднього гідравлічного випробування теплообмінників встановлювати їх не рекомендується.

Всі вентилі, задвижки, крани зворотні і редуційні клапани, що встановлюються на продуктових, парових, водяних трубопроводах апаратів або на самих апаратах, повинні бути попередньо випробувані на щільність.

Не допускається встановлення не притертої і несправної апаратури.

Всі заготовлені деталі трубопроводів(прямі відрізки, коліна, гідравлічні затвори) повинні бути ретельно очищені і промиті.

Переміщення теплообмінників здійснюється по настилу з дощок і катками, підкладену під раму. До місця встановлення обладнання зручніше подавати через монтажний проєм, розмір якого відповідає найбільшому по габаритах обладнанню.

На верхній поверх подача обладнання проводиться за допомогою ручних лебідок. Лебідки закріплюються за існуючі конструкції, стіни будівлі або спеціально вбиті чи вкопані в ґрунт і надійно закріплені до якоря.

Троси від лебідок протягують через відвідні блоки, потім через підйомні блоки і опускають до фундаменту конденсатора.

До основного підйомного тросу кріпиться трьох- хвостовий ланцюг, а до кінця допоміжного троса кріпиться крюк.

На борт нижньої камери конденсатора вкладається раніше заготовлена стрічкова прокладка.. Частіше всього застосовуються прокладки із листового азбесту і азбестового полотна (при широких бортах), пряді паклі , збитої з свинцевим суриком, або параніту.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед укладкою на борт на прокладці розмічають отвори, що відповідають болтовим отворах у фланцях. Отвори в прокладці пробивають гострим пробійником на дерев'яній підкладці.

Порвану прокладку або підкладку з невірно розміченими і не акуратно пробитими отворами встановлювати не рекомендується.

Зібраний конденсатор перевіряють металевими відвісами.

Заготовлені ділянки трубопроводів збирають і прокладають відповідно схеми або креслення.

При прокладанні трубопроводи ретельно закріплюють хомутами на підвісках або кронштейнах. Всі горизонтальні трубопроводи повинні мати встановлені нахили. Зібрані трубопроводи не повинні мати участків, опущених нище загальної лінії трубопровода, де можливий застій рідини.

Вертикальні участки трубопроводів повинні співпадати з підвісами.

Після монтажу проводять гідравлічне випробування апарату з метою перевірки якості виконаних робіт.

Гідравлічні випробування проводять пробним тиском  $P_{\text{проб.}} = 1,25P_{\text{роб.}}$ . По закінченню випробування ліквідовують всі нещільності і проводять випробування під навантаженням.

Спочатку конденсатор пускають на воді і парі.

Робота в процесі випробування на парі і воді повинна проходити 6-8 годин при умові повного усунення всіх недоліків. В процесі випробування виявляють і усувають всі недоліки монтажу, а внутрішню поверхню всього обладнання пропарюють і промивають. Робота конденсатора на воді і парі враховується нормальною, якщо відсутня течія, конденсатор працює спокійно.

Теплообмінники, розміщені в два яруси і більше, піднімати крупними блоками з декількох апаратів їх взаємного трубопровідного обв'язування, якщо підйомні засоби дозволяють це робити. Для з'єднання однотипних теплообмінників і уніфікації їх трубопровідного обв'язування строго витримують при виготовленні настановні розміри штуцерів на корпусі і на розподільній

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72



камері. При підйомі блок теплообмінників, що обв'язали, вкладають в ґратчастий жорсткий контейнер, за який і проводять строповку.

До трубопровідного обв'язування приступають після остаточної перевірки положення корпусу і закріплення болтів, які з'єднуються з опорами або постаментом. Положення теплообмінника вивіряють рівнем або підвісом, підкладаючи, якщо це необхідно, під опорні площини сталеві планки.

При горизонтальному розташуванні теплообмінника температурні деформації корпусу між опорами можуть досягати декількох міліметрів, тому одна з опор повинна бути рухомою. Нерухому опору, зазвичай встановлюють з боку нерухомих трубних ґраток, закріплюють намертво; гайки болтів рухомої опори, що має овальні вирізи, не затягують на 1—1,5 мм, але фіксують контргайками. Зазор між болтами і овальними вирізами повинен розташовуватися у бік можливого подовження теплообмінника. Поверхні ковзання захищають так, щоб виключити затискання.

Змонтовані теплообмінники повинні бути опресовані на пробний тиск на заводі - виготовлювачі, тому на монтажному майданчику їх поодиночі не опресовують, обмежуючись перевіркою загальної системи теплообміну разом з трубопровідним обв'язуванням після завершення монтажних робіт. У тих випадках, коли відсутній акт заводського випробування або ж апарат тривалий час знаходився на складі або монтажному майданчику, перед монтажем теплообмінник піддають ревізії і, якщо в цьому є необхідність, ремонту.

## 4.2 Ремонт апарата

У теплообмінниках жорсткої конструкції нерухомі трубні ґрати жорстко сполучені з корпусом. Основні їх недоліки - несприйняття ними температурної напруги і неможливість механічного очищення внутрішніх поверхонь корпусів і зовнішніх поверхонь теплообмінних труб від бруду і відкладень. Можливості

відновлення таких теплообмінників шляхом ремонту декілька обмежені. Саме тому їх довговічність може бути забезпечена тільки при дотриманні

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідного режиму експлуатації. Наприклад, не можна перевищувати вказану в паспорті апарату різницю температур між середовищами , що обмінюються теплотою, оскільки це може привести до порушення з'єднань труб з трубними ґратками або до розриву труб. З двох теплообмінюючихся потоків між трубами пускають той , який не містить бруду, корозійноактивних речовин і зважених частинок , погіршуючи теплообмін і підвищуючи гідравлічний опір апарату. Слід враховувати, що огляд зовнішніх поверхонь труб і внутрішніх стінок корпусу апарату не представляється можливим і, отже , стан апарату при експлуатації може виявитися безконтрольним. Необхідність в ремонті встановлюють при обстеженні внутрішніх поверхонь труб, доступних для ремонту і механічного очищення.

Якщо теплообмінники жорсткої конструкції працюють , як конденсатори або холодильники, то для попереднього утворення на поверхнях теплообміну твердих відкладень з накипу і мулу доцільно охолоджуючу воду заздалегідь пропускати через фільтри, що періодично очищаються, або користуватися водою з системи зворотного водопостачання . Не зм'якшена морська вода корозійно активна по відношенню до труб з вуглецевої і навіть з легованих і неіржавіючих сталей . Труби , що зносилися , поступово втрачають здатність сприймати осьові зусилля від тиску на трубні ґрати і від різниці температурних деформацій труб і корпусу , що приводить до порушення щільності з'єднань в місцях розвальцьовування.

Корозійному зносу труб і корпусу можна запобігти або значно зменшити, підбираючи метал для їх виготовлення залежно від властивостей середовища , в яких вони працюють. Є досвід катодного захисту корпусу , труб і кришок теплообмінників від корозії морською водою. Такий захист уповільнює швидкість корозії в 5-6 разів. Залежно від розмірів поверхонь, що захищаються, певна кількість елементів, що підлягають катодному захисту, підвішують у середині кришок апарату ; у міру зносу елементи при ремонтах періодично замінюють новими.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Візуальному огляду підлягають тільки кришки , кінці і внутрішні канали труб, штуцера на корпусі і кришках. Дефекти решти частин апарату можуть бути виявлені тільки при опресовуванні.

Терміни і зміст ревізій і ремонтів визначають виходячи з конкретних експлуатаційних умов. Необхідність в достроковому ремонті обумовлена різким погіршенням теплообміну ( відповідності з технологічною картою) , а також змішуванням теплових середовищ . У першому випадку можливе забруднення внутрішніх або зовнішніх поверхонь (або і тих, інших) труб , у другому розрив однієї або декількох труб або ж порушення щільності в місцях з'єднання труб з трубними решітками. Крізний знос самих трубних ґраток практично виключається із-за великої товщини .Порушення щільності корпусу апарату і його з'єднань і легко виявити візуально при появі протікання.

У цих випадках слідує негайно відключити апарат від системи, що діє, закриттям засувки і вентилів.

Послідовність операцій при ревізії і ремонті теплообмінників жорсткої конструкції приблизно однакова.

Промивка апарату . З трубного і міжтрубного просторів або спеціальні спускові муфти на кришках і корпусі видаляють їхній вміст. Далі протягом часу, визначеного фізико-хімічними властивостями робочого середовища , їх промивають водою, потім прогрівають , для чого в трубопроводному об'язуванні теплообмінників передбачається можливість підключення парової лінії, надійно заглушеної при роботі апаратів в робочому режимі. Промивкою і пропарюванням досягають дві мети : підготовку апарату до розкриття шляхом видалення вариво - і пожежонебезпечних або токсичних речовин і очищення поверхонь від відкладень. Слід мати на увазі , що промивка — єдино можливий спосіб видалення відкладень із зовнішніх поверхонь труб і внутрішніх поверхонь корпусу. Тому при промивці між трубного простору теплообмінника необхідно приділяти особливу увагу.

Бажано промивати апарати гарячою водою , що підігрівається паром. У тих випадках , коли відкладення на поверхнях погано розчиняються в гасі або

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дизельному маслі застосовують кислотне очищення з використанням спеціальних інгібіторів, які запобігають інтенсивній корозії метала труб і корпусу. Зазвичай застосовують соляну кислоту в суміші з інгібридом "унікол". Тривалість промивки визначають на підставі накопленого досвіду для кожної групи теплообмінників залежно від фізико - хімічних властивостей відкладень.

Для великих груп теплообмінників доцільно мати стаціонарні промивні пристрої включаючи ємкості для приготування і відстоювання промивної рідини, насоси і комунікації. Для невеликих і таких, що не часто промиваються теплообмінники - практикується застосування пересувних установок, змонтованих на автомобільних або тракторних причепах.

Промивку теплообмінників залежно від ступеня забруднення і гідравлічного опору, що виникає при промивці, проводять поодиночі або окремими ділянками. Простіше промивати одночасно всі теплообмінники; для цього використовують існуюче трубопровідне обв'язування.

Трубопровідне обв'язування крупних теплообмінних апаратів зазвичай передбачає можливість окремого відключення їх від системи; для апаратів з невеликою поверхнею теплообміну передбачається попарне відключення. Таке обв'язування дозволяє відключити теплообмінники з дефектами від решти апаратів працюючої технологічної установки або блоку.

Аналогічно промивають трубний простір, тобто внутрішні поверхні теплообмінних труб і кришок апарату.

Розбирання. Після промивки апарат надійно від'єднують від комунікацій глухими заглушками і приступають до його розбирання. Для розбирання днищ іноді доводиться демонтувати частину трубопровідного обв'язування. Маса кришок жорстких кожухотрубних теплообмінників значна, а тому для їх знімання і для подальшої установки користуються крани, триноги, стаціонарні підйомні пристрої.

Виявлення і усунення дефектів.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Фактичну товщину стінки днищ і секційних перегородок в них вимірюють шляхом висвердлювання отворів, а також за допомогою ультразвукових товстоміром. Якіст приварювання секційних перегородок до днищ перевіряють, заливаючи воду. Її подають по черзі в кожну секцію, після чого на кришці заздалегідь заглушають всі штуцера, а кришку встановлюють відкритою стороною (чашею) в гору.

Стан кріплення кінців труб в трубних ґратках спочатку перевіряють шляхом візуального огляду. Широко поширено кріплення кінців труб в гніздах трубних ґратках, розвальцьовуванням. Відмітна особливість теплообмінних труб — мала товщина їх, тому кріплення кінців труб в трубних ґратках слід перевіряти особливо ретельно. Якість розвальцьовування оцінюють за станом поверхні, яка повинна бути рівномірно деформована, а також за наслідками вимірів внутрішнього діаметру розвальцьованого кінця труби; він повинен перевищувати початковий діаметр на 15 - 30% товщину стінки труби.

Якість нового розвальцьованого з'єднання характеризує степінь розвальцьовування, яка визначається по формулі:

$$r = \frac{d'_{н} - d_{н'} + D + d_{н}}{D} \cdot 100$$

де  $r$  - степінь розвальцьовування %; для теплообмінників  $r = 0,5 - 1\%$ ;

$d'_{н}$  і  $d_{н'}$  - внутрішній діаметр кінця труби відповідно після розвальцьовування і до неї, мм;

$D$  — діаметр гнізда трубної ґратки під розвальцьовування, мм;

$d_{н}$  - зовнішній діаметр кінця труби до розвальцьовування, мм.

Необхідно, щоб кінці труб виступали над поверхнею ґраток на довжину, рівну товщині стінок труб, і були отбортовані. Кінці труб повинен бути цілими, без розривів і тріщин. Слід звертати увагу на ділянки переходу від

розвальцьованої поверхні стінки труби до не розвальцьованої: вони повинні бути плавними, без гострих підрізів стінок.

В більшості випадків труби швидше зношуються по кінцях, тому, вимірюючи їх товщину, можна судити про стан теплообмінних труб в цілому. Надмірно зношені труби не можуть забезпечити надійність розвальцьованого з'єднання.

У теплообмінниках застосовують також зварне кріплення труб в трубних ґратках, якщо ґрати і труби виготовлені з добре зварювальних металів. Велика різниця товщини ґратки і стінки труби утрудняє якісне виконання зварювальних робіт. При огляді звертають особливу увагу на рівномірність зварного шва і його товщину, оскільки шви в процесі експлуатації підвергаються корозійному і ерозійному зносу.

Візуальним оглядом і шляхом вимірювання діаметрів вільних перетинів встановлюють ступінь забруднення внутрішніх поверхонь труб відкладеннями, які не були видалені при промивці. Ці відкладення знімають механічним очищенням ; вона полягає в розрихленні і зіскоблюванні з поверхні труб відкладень за допомогою різних інструментів. Процес механічного чищення трудомісткий. У простому випадку труби у ручну пронизують шомполами — довгими прутками з наконечником - йоржем . Після цього (а іноді одночасно) труби продувають парою, що подається в кожну з них окремо. При необхідності ці операції чергують кілька разів, поступово збільшуючи діаметр наконечника-йорша.

На заводах знайшли застосування різні пристосування для механізації очистки. У основу їх покладений принцип обертального буріння. Наконечник-бур, що обертається,поволі проштовхується в трубу, що очищається, під дією власної ваги (у разі вертикальних встановлених теплообмінників) або зусиллям робочого(у разі горизонтальних встановлених теплообмінників). Бур на різьбленні сполучений з порожнистим (трубчастим) валом , довжина якого рівна довжині труби , що очищається. Вал приводиться в обертальний рух від пневмо- або електродвигуна через редуктор. Пристосування забезпечене

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



боку ґратки , - спеціальною головкою з різцем , приводом для якого служить вальцювальна турбіна або електродріль. Невеликий різець встановлюють в проріз барабана робочою частиною вгору так , щоб своєю нижньою скошеною торцевою поверхнею він сідає на поверхню падаючого конуса, який пов'язаний з барабаном ковзаючою шпонкою .На барабан насаджена фіксуєча упорна шайба, якою він притискається до трубних ґратках і фіксує положення різця у того листа , де труба повинна бути відрізана . Обертаючи падаючий конус (з ним і барабан з різцем), легким осьовим натиском на нього поступово висувають назовні різець , забезпечуючи його поперечну подачу. Кінці труб, що залишилися в гніздах ґраток , зубилом або бортком сплющують або вибивають. Змінювану трубу за допомогою виточеного по її зовнішньому діаметру облямовування витягують через одну з ґраток і замість неї вставляють нову, кінці якої розвальцьовували в ґратках або приварюють до них.

Важче міняти трубу з привареними кінцями. для цього або пневматичним молотком зрізають шов , а іноді механічно обробляють гніздо в ґратках. На практиці зношені труби замінюють новими дуже рідко ; їх зазвичай заглушають з двох кінців металевими (наприклад , сталевими) пробками , що мають невелику конусність (3 – 5 °).Пробки забивають туго, щоб вони надійно протистояли максимальному тиску в трубах.

Число заглужених труб не повинне перевищувати 10% загального їх числа в пучку , що доводиться на один потік , інакше значно зростає гідравлічний опір і помітно зменшується поверхня теплообміну. У загальному випадку виявлення декількох дефектних труб в давно працюючих теплообмінниках показує неможливість виходу із ладу всіх труб, оскільки вони працюють в однакових умовах. Тому заглуження зношених труб можна підтримати експлуатаційну придатність теплообмінника до найближчого капітального або середнього ремонту , під час якого теплообмінник або його пучок повністю замінюють новим.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Залежно від конструктивного рішення нещільні з'єднання кінців труб з трубними ґратками підварюють електричним зварюванням або розвальцьовуванням. Зварювані ділянки зачищають металевими щітками, виявлені тріщини вирубують зубилом. Велике значення мають якість і діаметр електроду, а також величина струму сварки. Розвальцьовання також вимагає високої кваліфікації виконавця. Надмірним підвальцьовання з'єднання можна вивести його з ладу тому, якщо одно або двократне підвальцьовання не дає результату, трубу з обох кінців приварюють до торців трубних ґраток. В цьому випадку кінці труб, що виступають, після зварювання слід підвальцьовти, щоб зняти вплив нагріву при зварюванні.

Зношені ділянки корпусу знаходять за допомогою гідравлічного опресовування або ультразвукового дефектоскопа. Підозрілі ділянки свердлять для того, щоб зміряти залишкову товщину звичайними вимірювальними інструментами (штангенциркулем, лінійкою і ін.). Корпус ремонтують, накладаючи на його зовнішню поверхню латки з листової сталі тієї ж марки, з якої виготовлений корпус. Латки приварюють в на хлист. Не слід вирізати пошкоджену ділянку корпусу газовим різакон тим, щоб приварити потім латку стиковим швом: газовим різакон можна пошкодити сусідні труби, і, крім того, підганяти латку для стикового зварювання дуже важко. Розміри латки, що накладається, повинні бути такими, щоб, по-перше, вона повністю покривала зношену ділянку і, по-друге, зварювання доводиться на ділянки корпусу з достатньою товщиною. Описаний спосіб ремонту корпусу не придатний для апаратів, які підлягають інспекції котлонагляду.

Зборка і випробування.

Після ремонту теплообмінник піддають опресовуванню при знятих кришках, потім кришки вішають і закріплюють. Всі муфти і вентиля в корпусі і кришках повинні бути очищені.

Зібраний апарат піддають остаточному опресовуванню водою. Спочатку опресовують на контрольний тиск міжтрубний простір (корпус) при відкритих спускових муфтах на кришках, потім з нього повністю спускають воду і при

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

відкритих спускних муфтах на корпусі опресовують трубний простір. Величина контрольного тиск зазвичай вказується в паспорті апарату. За відсутності в паспорті цих даних корпус апарату (міжтрубний простір) випробовують як ємкість, а трубний простір — на подвоєний робочий тиск.

Відсутність течі через спускне і фланцеве з'єднання свідчить про надійну щільність і міцність. Після зняття заглушок апарат здають в експлуатацію.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Питання підвищення продуктивності праці і збільшення економічного ефекту підприємства багато в чому залежить від безпечних і нешкідливих умов праці. Широке впровадження автоматизації, механізації і сучасної високопродуктивної техніки разом зі здійсненням спеціальних заходів щодо техніки безпеки й оздоровлення умов праці є основними напрямками подальшого зниження травматизму і захворювань на підприємствах хімічної та харчової промисловості. Досить важливим представляється використання автоматизованих пристроїв з дистанційним керуванням, забезпечення цехів, у приміщенні яких можлива поява токсичних і шкідливих речовин, ефективною системою вентиляції, максимальна герметизація устаткування, проведення санітарно - оздоровчих заходів і профілактика уражень електричним струмом.

При проектуванні й експлуатації виробництв необхідно керуватися ГОСТ 12.3.002-75 ССБП. Процеси виробничі.

Загальні вимоги безпеки. [11]

При проектуванні і реконструкції виробництв, технологічних процесів, які пов'язані з утворенням чи використанням шкідливих речовин, треба прагнути до заміни речовин на менш шкідливі та нешкідливі, сухих способів переробки матеріалів мокрими, і до випуску кінцевих продуктів у некиплячих формах. Технологія виробництв повинна базуватися на замкнутих циклах автоматизації, комплексній механізації, дистанційному керуванні, що виключає контакт людини зі шкідливими речовинами. Виробниче устаткування і комунікації не повинні допускати виділення шкідливих речовин у повітря робочої зони. Технологічні викиди повинні проходити очищення з метою уловлювання, рекуперації і нейтралізації шкідливих речовин, що містяться в газах, що відходять, промивних стічних водах. Виробництво повинно бути оснащено аварійною вентиляцією, засобами вибухоподавлення, активним і пасивним вибухозахистом. На кожному виробництві повинні бути специфічні нормативно-технічні документи з безпеки праці, застосування і збереження шкідливих речовин, що включають дані про

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

токсикологічні характеристики шкідливих речовин і вказівки щодо засобів захисту (колективних та індивідуальних), що відповідають вимогам ГОСТ 12.4.001-75 „ССБП. Засоби захисту працюючих. Класифікація”. На виробництвах, де працюють зі шкідливими речовинами 1-го класу небезпеки, повинен здійснюватися безперервний контроль їх вмісту в повітрі робочого середовища. Вміст речовин 2, 3 і 4-го класів контролюється періодично. Безперервний контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони повинен передбачати застосування самописних автоматичних приладів, що видають сигнали перевищення рівня ГДК. Чутливість методів контролю не повинна бути нижче 0,5 рівня ГДК, а їх похибка не повинна перевищувати  $\pm 25\%$  від обумовленої величини.

Всі особи зайняті на виробництві і які мають контакт зі шкідливими речовинами повинні в обов'язковому порядку проходити попередній і періодичний медичний огляд і знати методи надання невідкладної долікарської допомоги потерпілим при аварії.

Вимоги до устаткування при виробництві спирту

1) Герметичність апаратури. Технологічна апаратура і комунікації, призначені для робіт з вибухонебезпечними і шкідливими продуктами повинні бути герметичними. Герметизуючі пристрої всіх агрегатів необхідно систематично оглядати й у місцях порушення герметичності їх варто негайно виправити.

2) Установка вогневих перешкоджувачів. На повітряних відтяжках технологічних апаратів, у яких знаходяться вибухонебезпечні речовини, повинні встановлюватися вогневі перешкоджувачі або інші засоби обмеження полум'я. Установка вогневі перешкоджувачів на апаратах з азотним подихом або іншим інертним середовищем не потрібна; після запобіжних клапанів вогнеперешкоджувачі не встановлюються. Зовнішні кінці стояків воздушек у зимовий час повинні оглядатися й очищатися від снігу і від льоду. При цьому повинна бути забезпечена безпека цих робіт.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

3) Розташування устаткування. Розташування устаткування повинно забезпечити безпеку і зручність його обслуговування і ремонту. Технологічні апарати зі зрідженими пальними газами, ЛВЖ, ГЖ, винесені з цеху, але технологічно пов'язані з ним, повинні бути розташовані на відстані не менше 10 м від віконних і дверних прорізів приміщень виробництв категорій В, Г і Д. У випадку, коли цей розрив менше 10 м, необхідно віконні прорізи приміщень виробництв категорій В, Г и Д заповнювати склоблоками.

При установці устаткування варто передбачати:

а) основні проходи в місцях постійного перебування працюючих, а також по фронту обслуговування щитів керування (при наявності постійних робочих місць) шириною не менше 2 м;

б) основні проходи по фронту обслуговування апаратів, що мають „гребінки” керування, місцеві контрольно-вимірвальні прилади при наявності постійних робочих місць, шириною він не менше 1,5 м;

в) проходи між апаратами, а також між апаратами і стінами приміщень, при необхідності кругового обслуговування шириною не менше 1 м;

г) проходи для огляду і періодичної перевірки і регулювання апаратів і приладів шириною не менше 1 м;

д) ремонтні площадки, достатні для розбирання і чищення апаратів і їх частин без захарачення робочих проходів, основних і запасних виходів і площадок сходів.

4) Наявність аварійних ємностей. Ємнісна технологічна апаратура з ЛВЖ, пальними газами повинна мати пристрій для звільнення її перед ремонтом і у випадку аварії і пожежі. Після використання аварійної ємності остання повинна бути звільнена від продукту й у залежності від характеру цього продукту ємність повинна бути продута інертним газом або водяною парою і, якщо потрібно, промита водою.

5) Промивання і продувка технологічних апаратів. Для промивання і продувки технологічних апаратів з вибухонебезпечними і токсичними

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовинами перед ремонтом, внутрішнім оглядом або іспитом повинні бути передбачені штуцера для приєднання ліній води, пари або інертного газу.

6) Установка сигналізаторів граничного верхнього рівня на ємнісній апаратурі. Ємнісна апаратура (сепаратори, збірники) повинні забезпечуватися сигналізаторами граничного верхнього рівня незалежно від регулятора рівня, встановленого на апараті.

7) Наявність пристроїв, що огорожують, при розташуванні устаткування, що обслуговується (технологічних апаратів, приладів, арматури та ін.) на висоті більш 1,8 м. Для доступу до нього повинні бути улаштовані стаціонарні сход із поручч і площадки з огороженням. Ширина сходів повинна бути не менше 0,7 м, а крок сходиці – не більше 0,25 м, а ширина сходиці – не менше 0,12 м. Ухил сходів повинний бути не більше  $45^{\circ}$ . Для доступу до устаткування, що рідко обслуговується, (прилади, арматури), що знаходиться на висоті не більше 3 м, допускається пристрій сходів з ухилом  $60^{\circ}$ , а в окремих випадках - користування драбинами.

Усі частини машин і технологічних апаратів, що рухаються й обертаються (маховики, вали, муфти, передачі й ін.), розташовані на висоті не менше 2 м над рівнем підлоги або площадки обслуговування, повинні мати сітчасте або суцільне загородження. Знімати огороження для ремонтів технологічних апаратів дозволяється тільки після повної зупинки механізмів.

8) Механізація трудомістких, важких і небезпечних робіт. Для монтажу, демонтажу і ремонту технологічної апаратури, устаткування й арматури повинні застосовуватися підйомно-транспортні засоби і механізми. При використанні підйомно-транспортних засобів і механізмів повинні передбачатися міри, що забезпечують їх безпечну експлуатацію у вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечних приміщеннях.

9) Захист від корозії. Апарати, встановлені в прийманнях із засипанням або в землі при безканалному прокладанні повинні бути захищені від корозії. Захисне фарбування й ізоляція повинні здійснюватися тільки після його технічного огляду й випробувань.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10) Нанесення умовних позначок. На кожний технологічний апарат повинний бути нанесений номер, що відповідає його номеру на технологічній схемі.

11) Порядок підготовки устаткування до огляду і їх проведення. Робота виробничого устаткування, норми його навантаження й основні параметри процесу повинні відповідати вимогам установленого технологічного режиму і паспортних даних. Прийом і здача кошторису повинен супроводжуватися оглядом всього устаткування з оцінкою результатів огляду в журналі. Усі виявлені несправності повинні бути усунуті.

12) Від'єднання технологічних апаратів, що не використовуються при проведенні процесів.

13) Заходи у вибухо- і вибухопожежонебезпечних цехах з попередження утворення іскор при ударах і перегрівів працюючих частин. Необхідно систематично стежити за температурою нагрівання і регулярним змащенням тертьових частин устаткування.

14) Контроль за динамічними навантаженнями і температурними впливами на технологічне устаткування. Не дозволяється різко змінювати тиск і температуру при зупинці, пуску і роботі апарата; допускати вібрацію машин, трубопроводів і споруджень; залишати незахищеними від атмосферних впливів сильно нагріті частини апарата і трубопроводів.

Проведення випробувань на герметичність (на стендах). Технологічні апарати і комунікації перевіряють на герметичність на місці при повній зборці схеми. На проведення випробувань повинна бути складена інструкція з безпечного ведення робіт, затверджена головним інженером підприємства.

Розрахунок системи штучної вентиляції апаратного відділення

Однією з необхідних умов здорової й високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря в робочих приміщеннях. Концентрація шкідливих речовин у виробничій зоні та час їх впливу є вирішальними факторами в забезпеченні безпеки праці.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Санітарними нормами проектування промислових підприємств регламентовано гранично допустимі концентрації шкідливих домішок у повітрі робочого середовища, тобто концентрації, тривалий і систематичний вплив яких на організм людини не викликає отруєнь і професійних захворювань.

Розрахунок вентиляційної системи зводиться до визначення необхідного повітрообміну, типу й розміру вентилятора й приводного електродвигуна.

У приміщенні апаратного відділення при роботі підігрівача бражки присутні виділення шкідливих речовин – етилового спирту. Тому розрахунок вентиляції ведемо за концентрацією шкідливих речовин у робочій зоні. ГДК етилового спирту в робочій зоні – 1000 мг/м<sup>3</sup>.

Розрахунковий повітрообмін характеризується кратністю обміну:

$$\bar{K} = \frac{V_{\text{вент}}}{V_{\text{пом}}}, \quad (6.1)$$

де  $\bar{K}$  – кратність повітрообміну;

$V_{\text{вент}}$  – обсяг повітря, необхідний для обміну, м<sup>3</sup>/година;

$V_{\text{пом}}$  – обсяг приміщення, м<sup>3</sup>.

Необхідний для обміну обсяг повітря визначається залежно від кількості шкідливих парів, що виділяються:

$$V_{\text{вент}} = \frac{G}{K_2 - K_1}, \quad (6.2)$$

де  $V_{\text{вент}}$  – обсяг повітря, необхідний для обміну, м<sup>3</sup>/година;

$K_1$  – концентрація шкідливих парів у зовнішньому повітрі, мг/м<sup>3</sup>;

$K_2$  – допустима концентрація шкідливих парів у приміщенні, мг/м<sup>3</sup>;

$G$  – пари, що виділяються, г/година.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Кількість парів, що виділяються, визначається за формулою:

$$G = \frac{K \cdot \gamma}{K_{\text{вих}} - K_{\text{пр}}}, \quad (6.3)$$

де  $G$  – пари, що виділяються, кг/година;

$K$  – загальна кількість шкідливих речовин, що надходять у робочу зону, г/година;

$\gamma$  – питома вага повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$K_{\text{вих}}$  – концентрація виділень у повітрі, що видаляється, г/м<sup>3</sup>;

$K_{\text{пр}}$  – концентрація виділень у приточному повітрі, г/м<sup>3</sup>.

Загальна кількість шкідливих речовин  $K$ , що надходять у робочу зону в наслідок роботи підігрівача бражки, буде визначатися величиною витoku через ущільнення фланцевих з'єднань. Ця величина становить  $K = 3,1$  г/година. Концентрація виділень етилового спирту в повітрі, що видаляється, дорівнює 1,15 г/м<sup>3</sup>. Концентрація виділень у приточному повітрі повинна бути по можливості мінімальною,  $K_{\text{пр}} \leq 0,3 \cdot K_2$ , де ГДК для етилового спирту дорівнює 1000 мг/м<sup>3</sup> [11]. Виходить,  $K_{\text{пр}} = 0,3$  мг/м<sup>3</sup>.

$$G = \frac{3,1 \cdot 1,2}{1,15 - 0,3} = 4,4 \text{ кг/год.}$$

Приймаємо, що концентрація етилового спирту в зовнішньому повітрі дорівнює  $K_{\text{пр}} = 0,3$  мг/м<sup>3</sup>.

$$V_{\text{вент}} = \frac{4,4 \cdot 10^6}{1000 - 300} = 6285,7 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Обсяг приміщення виходячи з його геометричних розмірів дорівнює:

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{ном} = a \cdot b \cdot c, \quad (6.4)$$

де  $V_{ном}$  – обсяг приміщення,  $m^3$ ;

$a$  – довжина приміщення, м;

$b$  – ширина приміщення, м;

$c$  – висота приміщення, м.

$$V = 10 \cdot 15 \cdot 6 = 900 m^3,$$

Кратність повітрообміну дорівнює:

$$\bar{K} = \frac{6285,7}{900} = 6,98$$

Приймаємо кратність повітрообміну  $K=7$ .

Вибір вентилятора робимо на підставі розрахункових даних про необхідну продуктивність по діаграмах і таблицях [5]. Розрахункова продуктивність для систем місцевих заборів збільшується на 10 %.

$$V_{розр} = 1,1 \cdot 6285,7 = 6914,3 m^3 / год.$$

Даній продуктивності відповідає відцентровий вентилятор Ц9–57 №6, що забезпечує витрату повітря  $Q = 23320 m^3/год$  при опорі мережі  $H=70 \text{ кг/м}^2$ , ККД вентилятора 0,56, число обертів 950 об/хв. Вентилятор повинен бути укомплектований електродвигуном А 02-42-6 потужністю 4 кВт при 950 об/хв [14]. Система вентиляції повинна бути спроектована з опором не більше  $70 \text{ кг/м}^2$ . Аварійна вентиляція повинна забезпечувати 8-кратний повітрообмін, додатково до основної системи вентиляції.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра передбачено проектування брагоректифікаційної установки у виробництві етилового спирту з розробкою кожухотрубного конденсатора бражної колони .

В роботі приведено опис використаної технологічної схеми , теоретичні основи процесів перегонки і ректифікації.

При проектуванні прийнято раціональну конструкцію дефлегматора бражної колони. Матеріал, з якого виготовлений апарат, є корозійностійким до бражки і бражного дистиляту , що дозволяє уникнути додаткових витрат на відповідні ремонтні роботи.

Технологічними та конструктивними розрахунками підтверджено працездатність апаратів та установки в цілому.

Проведені розрахунки на міцність, які підтверджують доцільність прийнятих технічних и конструктивних рішень.

Результатом кваліфікаційної роботи є кожухотрубний конденсатора бражної колони у виробництві етилового спирту.

В роботі проаналізовані використані методи монтажу , можливі недоліки в роботі обладнання та способи проведення ремонтних робіт , визначені правила експлуатації обладнання спиртового виробництва і приведений розрахунок штучної вентиляції брагоректифікаційного відділення.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список літератури

1. Технологія спирту / В.О. Маринченко, В.А.Ломарецький, П.Л.Шпян, В.М. Швець, П.С Циганков, І.Л. Жолнер. - Вінниця: "Поділля-2000", 2003 - 496с.
2. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности/В.И.Попов, И.Т.Кретов, В.Н.Стабников, В.К.Предченский. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983-465с.
3. Цыганков П.С. Ректификационные установки спиртовой промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность,1984 –396с.
4. Марценюк О.О.,Мельник Л.М.Процеси і апарати харчових виробництв.- К.,НУХТ,2011.- 407 с.
5. Малежик І.Ф. Процеси і апарати харчових виробництв.Курсове проктування-К.,НУХТ,2012.- 543 с.
6. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. — Л.: Химия, 1981.— 560 с.
7. О.Г.Лунин, В.Н.Вельтешев. Теплообменные аппараты пищевых производств. М: Агропромиздат,1987. – 352с.
8. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – Л., «Машиностроение», 1970.- 752 с.
9. Фарамазов В.Н. Ремонт и монтаж химического и нефте-перерабатывающего оборудования: -М.: Химия, 1985.-246с.
10. Циганков П.С. Монтаж і експлуатація брагоректифікаційних установок.- Київ: Техніка,1970.-315с.
- 11.Основи охорони праці / М. П. Купчик, М. П. Гандзюк, І. Ф. Степанець та ін.// К.: Основа, 2000. – 416 с.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92