

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА  
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра «Процеси та обладнання хімічних  
і нафтопереробних виробництв»

**Кваліфікаційна робота бакалавра  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
ОП «Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних  
виробництв»**

**Тема роботи : Брагоректифікаційна установка для отримання  
зневодненого спирту. Розробити бражну колону**

**Виконав:**

студентка групи ХМдн-72чк Васильченко М.С.

прізвище та ініціали

**Залікова книжка № \_\_\_\_\_**

**Захищений з оцінкою:**

**Керівник:**

СТ.ВИКЛ,К.Т.Н СкиданенкоМ.С.

посада, прізвище та ініціали

\_\_\_\_\_

підпис

**СУМИ**

**2020**

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв»

**ЗАВДАННЯ до кваліфікаційної роботи бакалавра**

Студенту

**Васильченко Марині Сергіївні**

1 **Тема роботи** : Брагоректифікаційна установка для отримання зневодненого етилового спирту. Розробити бражну колону

2 **Вихідні дані:** Продуктивність установки 48000 кг безводного спирту на добу, концентрація спирту у бражці 8.25 % мас., вміст сухих речовин в бражці 10%.

3 **Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуш А1):**

- 1) Схема технологічна 1 А1
- 2) Колона бражна 1 А1
- 3) Тарілка ситчаста 1 А1
- 4) Опора 1 А1

4 **Рекомендована література**

Згідно Методичних вказівок по виконанню випускової кваліфікаційної роботи бакалавра, Суми, 2019 рік.

5 **Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра:**

Етапи і розділи проектування	Т И Ж Н І									
	1-й, 2-й	3-й, 4-й, 5-й, 6-й	7-й, 8-й, 9-й	10-й, 11-й, 12-й, 13-й	14-й					
1 Вступ	XX									
2 Технологічна частина		XXXX								
3 Розрахункова частина			XXX							
4 Розроблення креслень					XXXX					
5 Оформлення записки										X
6 Захист роботи										X

Дата видачі завдання

\_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник

ст. викл. к. т. н Скиданенко М. С.

підпис

посада, прізвище та ініціали

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 78 сторінок., рис., 11 літературних джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарата, креслення складальних одиниць - всього 4 листи формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи: *"Брагоректифікаційна у виробництві безводного спирту. Розробити бражну колону з ситчатими тарілками."*

В технологічній частині виконано опис технологічної схеми, приведені теоретичні основи процесу перегонки, приведено опис бражної колони і принцип її роботи та проведений вибір основних конструктивних матеріалів. В розрахунковій частині наведені технологічні, проектні, конструктивні розрахунки, визначено гідравлічний опір апарата, виконано вибір допоміжного обладнання.

При виконанні розрахунків на міцність і герметичність визначено товщину корпусу і кришки, проведені розрахунки фланцевого з'єднання, опор апарата.

Розрахунки на міцність підтверджують працездатність та надійність роботи апарата.

Описана методика монтажу та ремонту обладнання. В розділі з охорони праці визначено основні небезпечні і шкідливі чинники, які виникають при обслуговуванні обладнання, визначено необхідну товщину теплоізоляції.

Ключові слова: ПЕРЕГОНКА, БРАЖКА, КОЛОНА, ДИСТИЛЯТ, РОЗРАХУНОК, КОНДЕНСАТОР, БАРДА, БАРБОТЕР, КИП'ЯТИЛЬНИК,

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Технологічна частина	
1.1 Опис технологічної схеми виробництва.....	7
1.2 Теоретичні основи процесу.....	11
1.3 Опис об'єкту розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів.....	18
2. Технологічні розрахунки процесу і апарата	
2.1. Матеріальний та тепловий баланси.....	23
2.2. Технологічні розрахунки.....	29
2.3. Конструктивні розрахунки апарата.....	33
2.4. Гідравлічний опір апарата.....	39
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	41
3. Розрахунки апарата на міцність та герметичність	
3.1. Визначення товщини стінки апарата і кришки.....	49
3.2. Розрахунок фланцевого з'єднання.....	52
3.3. Розрахунок опори апарата.....	62
4. Монтаж та ремонт апарата	
4.1 Монтаж розробленого апарата.....	66
4.2 Ремонт апарата.....	67
5. Охорона праці.....	69
Висновки.....	77
Список літератури.....	78
Додаток Б - Специфікації	

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	Брагоректифікаційна установка у виробництві зневодненого етилового спирту			Літ.	Арк.	Архівів		
Розроб.		Васильченко								4	78	
Перевір.		Скиданенко						СумДУ, гр. ХМдн-74чк				
Н. контр.		Скиданенко										
Затв.		Складінський										

## ВСТУП

Рівень розвитку сучасного суспільства характеризується ресурсо- та енергоємністю ВВП. Енергоємність ВВП України на сьогодні становить 0,98 кг умовного палива на 1 долар США, що у 26 разів перевищує середній рівень енергоємності індустріально розвинутих країн світу. Висока енергоємність ВВП – це наслідок суттєвого економічного відставання та незадовільної життєвої структури національної економіки.

Для здійснення економічного прориву в умовах членства України в СОТ та входження в ЄС розпорядженням Кабінету Міністрів України схвалена конституція проекту Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2017 року, в якій визначається, що вітчизняна промисловість характеризується економічною відсталістю та низькою інноваційною активністю суб'єктів господарства і, як наслідок, посилення технологічної залежності від інших країн світу.

До пріоритетних напрямків програми запровадження ресурсо- та енергозберігаючих технологій, освоєння технологій моторного палива з рослинної сировини, використання в технологічних процесах альтернативних та відновлювальних джерел енергії та сировини, в тому числі діетанолу.

При входженні України в СОТ, та у зв'язку з будівництвом в країнах СНД великої кількості спиртових підприємств, вітчизняна спиртова галузь опинилася в умовах жорсткої конкуренції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках, що поставило під загрозу існування більшості спиртових заводів в Україні.

Причиною впровадження виробництва ВКД послужили наступні обставини: при потребі в нафті для виробництва нафтопродуктів – 70 млн. тон Україна видобуває 5 млн. тон нафти. Решта забезпечується за рахунок імпорту нафти. Крім того, слід відзначити, що нафтопереробні підприємства України мають недосконале устаткування і як наслідок – низький коефіцієнт глибини переробки нафти. Природний вихід із кризової ситуації – пошук інших

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

видів моторного палива, яким можна було б частково або повністю замінити бензин. Виробництво високооктанової добавки до бензинів на спиртових заводах – це один із шляхів вирішення цієї проблеми.

Крім того, через відсутність збуту етилового спирту, а також обмеження його експортних поставок у спиртовій галузі склалася надзвичайно складна ситуація. Простоюють майже всі спиртові заводи, які виробляють спирт із меляси. Зараз при потребі 10 млн. дал етилового спирту на рік, виробничі потужності на мелясних заводах складають 34 млн. дал на рік. Тому доцільно здійснювати реконструкцію частини спиртових заводів з метою організації випуску нових видів продукції, зокрема, високооктанової кисневмісної добавки до бензину.

Пройдені роботи по освоєнню та виробництву нових видів вітчизняного обладнання, БРУ. Високі конструктивні та експлуатаційні характеристики БРУ стали основою для сирійного їх виробництва та впровадження, що дало змогу відновити й модернізувати тезхнічну базу 33 спиртзаводів України. Україна стала експортером обладнання для спиртових заводів, поставляючи його до країн СНД. Організація випуску вітчизняного обладнання сприяла прискоренню відновлення технічної бази спиртзаводів, створенню нових робочих місць.

Враховуючи те, що потужність спиртових заводів України завантажена лише на третину, одним з головних завдань спиртової галузі є розширення асортименту продукції у відповідності до потреб ринку.

Налагодження виробництва біоетанолу-сирцю та біоетанолу дозволить збільшити завантаженість спиртових заводів і покращення їх конкурентоспроможності, що підвищить енергонезалежність України.

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

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис технологічної схеми виробництва

При використанні цукровмісної сировини та життєдіяльності дріжджів-сахароміцетів технологія перероблення цукровмісної сировини відбувається згідно технологічних інструкцій кожного етапу технологічного процесу, контролюючись «Типовим технологічним регламентом №ТТР 000 32744-3508-2005» від 01.01.2006 року.

Технологія виробництва «БІО-100» ведеться методом адсорбції із головної фракції компоненту моторного палива альтернативного, супутніх домішок та води при брагоректифікації мелясної бражки .

Діючі на заводах схеми біотехнологічної конверсії цукристих речовин з використанням процесів звичайної брагоректифікації доповнюються установкою зневоднення, що забезпечує виробництво компоненту моторного палива альтернативного (КМПА) методом адсорбції. КМПА є основною складовою частиною палива моторного «БІО-100» та є хімічною продукцією паливного призначення. Таке цільове призначення забезпечується присутністю в цьому продукті речовин, що крім підвищення якості палива виключають його використання для виробництва підакцизної продукції.

В якості адсорбентів використовують синтетичні цеоліти (молекулярні сита), виготовлені на базі мікропористих алюмосилікатів.

Технологічний процес на установці проводять в такій послідовності:

Бражку з бродильного відділення подають насосом (поз.1) в підігрівники бражки (поз.2) і далі направляють в сепаратор CO<sub>2</sub> ( поз.6 ), після якого бражку направляють на тарілку живлення бражної колони ( поз.3 ). Перегнану бражку (барду) відводять з нижньої частини колони.

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

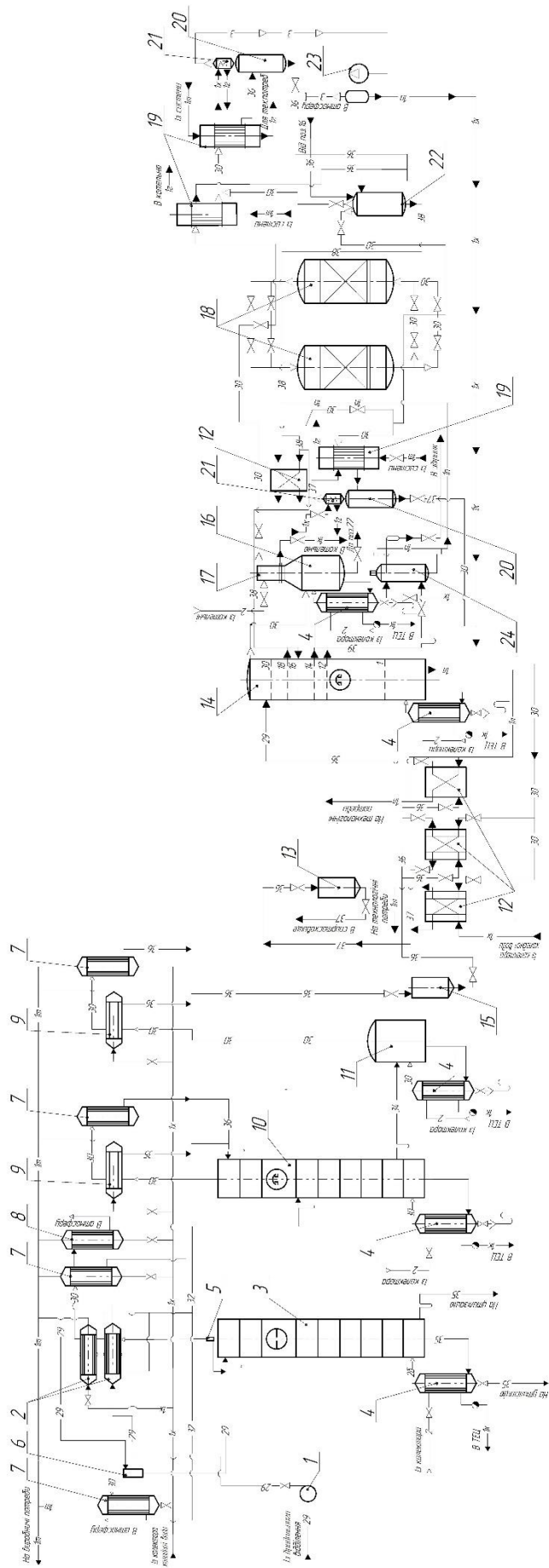


Рисунок 1.1 – Схема технологічна отримання безводного спирту

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

ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ



Гази із сепаратора CO<sub>2</sub> ( поз.6 ) відводять в конденсатор ( поз.7 ) і в спиртоуловлювач ( поз.7 ). Незконденсовані гази із спиртоуловлювача ( поз.7) відводять в атмосферу.

Пару бражного дистиляту з бражної колони ( поз.3 ) направляють в підігрівники бражки ( 2 ), водяну секцію ( 2 ), конденсатор ( 7 ), спиртоуловлювач ( 8 ) для конденсації.

Бражний дистилят із конденсаторів ( 7 ) ( 8 ), підігрівників бражки ( 2 ), водяної секції ( 2 ), а також із спиртоуловлювача ( 7 ) направляють на тарілку живлення концентраційної колони ( 3 ). Одночасно із збірника ( ) на тарілку живлення через витратомір ( 10 ) подається МТБЕ (ЕТБЕ) і низькооктанова суміш вуглеводнів в кількості не менше 1%.

Концентраційна колона ( 10 ) має дефлегматор ( 9 ), конденсатор ( 7 ), спиртоуловлювач ( 9 ) і кип'ятильник ( 4 ). Концентраційну колону обігривають котельною парою із колектора через кип'ятильник ( 4 ). Конденсат пари з кип'ятильника відводять в котельну.

Пару КМПА з концентраційної колони конденсують послідовно в дефлегматорі ( 9 ) та конденсаторі ( 7 ). Гази, які не конденсуються, через спиртовловлювач ( 8 ) відводять в атмосферу.

Регенераційна колона 14 призначена для випаровування (переведення у парову фазу) вихідної суміші, а також для виділення регенерації спирту із водно-спиртової суміші. Яка утворюється на стадії десорбції та для видалення із суміші сивушного масла, у разі його надмірної кількості. Колону виготовлено із нержавіючої сталі, в ній 30 багатоковпачкових тарілок і обігривається вона парою тиском 0,4 МПа через кип'ятильник 5. Використання кип'ятильника дає змогу зменшити розбавлення лютерної води парою, повторно використовувати конденсат та уникнути попадання в колону домішок, які можуть бути у парі.

Лютерна вода із регенераційної колони 14 відкачується насосом через пластинчастий теплообмінник 12, віддаючи теплоту на нагрівання вихідної суміші, що подається у регенераційну колону.

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

Водно-спиртова пара із регенераційної колони 14 через сепаратор-краплевідокремлювач надходить у пароперегрівач 4. Він служить для перегрівання водно-спиртової пари з метою недопущення її випадкової конденсації в адсорбері і порушення робочого циклу, тому що змочений адсорбент не може поглинути воду із водно-спиртової суміші. Поглинальна здатність випадково змоченого адсорбенту може бути відновлена повним висушуванням і наступною регенерацією. Пароперегрівач обігривається водяною парою тиском 0,6 МПа. Водно-спиртова пара в перегрівачі 4 нагрівається до 118...120 °С. не нижче 117 °С.

Перегріта спиртово-водна пара надходить в один з двох адсорберів, які працюють в циклічному режимі. На схемі показано випадок, коли перегріте водно-спиртова пара надходить у лівий-адсорбер 18 у той час як правий адсорбер 8 працює в циклі регенерації сорбенту. У стадії адсорбції перегріта пара проходить згори вниз крізь шар зернистого сорбенту - при цьому більш дрібні молекули водяної пари заходять всередину пор сорбенту і утримуються там, а більш крупні молекули спирту і його домішок проходять крізь шар сорбенту не поглинаючись.

Звільнена від води (дегідратована) спиртова пара з адсорбера надходить у поверхневий конденсатор 19 і конденсується в ньому, утворюючи готовий продукт у рідкому стані - ВКД. З конденсатора 19 ВКД стікає у збірник 20, з якого насосом через пластинчасті теплообмінники 12 подається у напірний збірник ВКД 13. У теплообміннику 19 ВКД охолоджується, віддаючи теплоту для нагрівання вихідної суміші, а теплообміннику 19 ВКД доохолоджується артезіанською водою до температури, яка не повинна перевищувати 20°C.

Із напірного збірника ВКД через епруветку надходить у спиртово-вимірювальний апарат.

Конденсат гріючої водяної пари з кип'ятильника 4 збірник конденсату і насосом подають у котельню.

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

## 1.2 Теоретичні основи процесу

Перегонкою називають процес розділення суміші, яка складається з двох або більшої кількості летких компонентів. Розділення перегонкою ґрунтується на різниці в леткості і температурі кипіння окремих компонентів, які входять в склад суміші. При кипінні суміші більш леткий компонент переходить в парову фазу в відносно більшій кількості, ніж менш леткий, що збагачує пару легколетким компонентом. При конденсації цієї пари отримують рідину, яка відрізняється за складом відносно вихідної і містить більшу кількість легколеткого компонента. В суміші, що залишається при частковому випарюванні, збільшується кількість важколетких компонентів.

При багатократній перегонці суміш таким чином може бути розділена на більш-менш чисті складові.

На харчових виробництвах застосовують два способи розділення сумішей – просту перегонку і ректифікацію.

Проста перегонка (дистиляція) являє собою процес однократного часткового випарювання рідкої суміші і конденсації утвореної пари. Цей спосіб використовують коли не потрібно повного розділення суміші і коли легкість компонентів суміші значно відрізняється. Просту перегонку використовують у виробництві коньяка, олії і ефірних масел.

Ректифікація являє собою процес багатократної перегонки при протитечній взаємодії пари, що утворюється при перегонці, з рідиною, яку отримують при конденсації пари. Здійснюють ректифікацію в колонних апаратах. Ректифікація забезпечує більш повне розділення суміші, отримують більш чисті кінцеві продукти з мінімальним вмістом домішок.

Ректифікація широко використовується в спиртовому і лікєро-горілочаному виробництвах, в виноробстві, в виробництві ефірних масел.

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

Ректифікація, як метод розділення складних розчинів на майже чисті індивідуальні компоненти, базується на процесах часткового випару рідких сумішей різного складу та часткової або повної конденсації пари.

Ці процеси багаторазово повторюються на контактних пристроях шляхом протитечійного і багаторазового контактування парової і рідкої фаз нерівноважного складу. У результаті таких багаторазово повторюваних процесів, що відбуваються в колонних апаратах - ректифікаційних колонах, висхідна парова фаза по висоті колони поступово збагачується низькокиплячим компонентом і з верхньої частини колони відводяться майже чиста пара НКК. З іншого боку, рідка фаза, що стікає по колоні зверху вниз, збагачується висококиплячим компонентом і знизу ректифікаційної колони виводиться практично чистий ВКК.

Таким чином, фізична сутність процесу ректифікації базується на багаторазовій протитечійній взаємодії парової і рідкої фаз нерівноважних концентрацій, у результаті якої на контактних пристроях відбуваються процеси конденсації і випаровування фаз, а також термодифузійний масообмін речовинами між взаємодіючими фазами. Однокубова установка періодичної дії з двома перегонними кубами і однією колоною використовується у виробництві етилового спирту з виноградних вичавок.

Для розділення складних сумішей ректифікацією використовують багатоколонні установки. Так, для розділення трикомпонентної суміші потрібна двоколонна установка. В виробництві етилового спирту для виділення чотирьох основних фракцій використовується триколонна установка. При ректифікації складних сумішей в певних зонах колон встановлюється максимальна концентрація окремого компонента або групи компонентів. Визначивши зону накопичення домішок і відбираючи їх з цієї зони, можна значно зменшити кількість колон.

При традиційному веденні процесу брагоректифікації, щоб очистити етиловий спирт необхідно вилучити головні і кінцеві домішки з нього з найменшою кількістю етанолу в концентрованому вигляді, тим самим забезпечити найбільший вихід ректифікованого спирту.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Звичайно відбирають до 5 % ефіро-альдегідної фракції, 0,3-0,5% сивушного спирту.

Вихід ректифікованого спирту при переробці меляси складає біля 95 %. При цьому незначна частка домішок-ефірів, альдегідів та вищих спиртів залишається в ректифікованому спирті. Зріла бражка - багатокомпонентна система, що складається з води (82...90% мас), сухих речовин D... 10 % мас.) та етилового спирту із супровідними леткими домішками E...9 % мас, або 6...11 об. %). У бражці завжди міститься деяка кількість діоксиду вуглецю. Його вміст у бражці, відібраної безпосередньо з бродильного апарата, складає 1...1,5 г/дм<sup>3</sup>. При подачі бражки до ректифікаційного відділення 35...45 % діоксиду вуглецю втрачається. Кислотність бражки 0,5°, рН 4,5...5,2. Склад бражки значно змінюється в залежності від виду вихідної сировини і прийнятих 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, незброжені 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 E...7 %), і особливо у картопля- картопляній C...4 %).

Леткі домішки спирту характеризуються великою різноманітністю, на цей час їх 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.

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

Домішки частково переходять із сировини, води, допоміжних матеріалів, частково утворюються в процесі приготування суслу, однак більша їх частина з'являється в процесі бродіння.

Більше всього домішок 0,35... 0,45 % до кількості етилового спирту) припадає на частку спиртів - метилового, пропілового, ізобутилового, ізоамілового. Останні три спирти складають основу сивушного масла (звичайно 0,3...0,45 % до кількості етилового спирту в бражці). Метиловий спирт міститься у зерно-картопляній і буряковій бражці - не більше 0,2 % до кількості етилового спирту.

З альдегідів у спирті найбільше оцтового. У мелясній бражці альдегідів багато (біля 0,05 % до кількості етилового спирту), що в 10...50 разів більше, ніж у зерно-картопляній бражці. Вміст альдегідів у бражці різко зростає при посиленому аеруванні суслу в процесі дріжджогенерування.

Летких кислот (оцтової, масляної, пропіонової, валеріанової та ін.) небагато - біля 0,005...0,1 % до кількості етилового спирту. У бражці міститься біля 0,05 % ефірів до кількості етилового спирту. Група ефірів в основному представлена оцтовоетиловим, мурашиноетиловим, оцтовометиловим, ізомаляноетиловим.

Виділення спирту із бражки може здійснюватись простою перегонкою (рис. 10.1) і за допомогою перегонки в ректифікаційних (бражних) колонах.

У першому випадку процес здійснюється в апаратах періодичної дії, у другому - безперервної. В обох випадках з бражки виділяється спирт разом із леткими домішками й одержується бражний дистилят, який містить спирту 30...50 об. % (слабкоградусний спирт-сирець).

Вільний від спирту залишок - барда, містить усі сухі речовини бражки й залишкову 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 технічний спирт категорії В (концентрацією не менше 96 об. %).

У першому і другому випадках бражний дистилят звільняється тільки від води. При виробництві спирту харчових кондицій (ректифікованого), технічного і

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

спеціального призначення бражний дистилят (або спирт-сирець) піддається очистці від супутніх летких домішок та води також за допомогою ректифікації.

На цей час у закордонній практиці виділення спирту з бражки та його концентрування почали здійснювати більш прогресивним (менш енергомістким) методом з використанням напівпроникних мембран (зворотний осмос, первапюрація) і молекулярних сит. Проте тонка очистка спирту, внаслідок якої в промислових масштабах одержують спирт найвищих харчових кондицій, здійснюється виключно ректифікацією.

За органолептичними показниками спирт етиловий ректифікований згідно з ГОСТ 5962-67 і спирт-сирець згідно з ГОСТ 131-67 мають відповідати таким вимогам:

Зовнішній вигляд: прозора, безбарвна рідина без сторонніх частинок.

Смак і запах: характерні для кожного виду етилового спирту, що виробляється з відповідної сировини, без присмаку і запаху сторонніх речовин.

Спирт етиловий ректифікований, що атестується на 1-у категорію якості, повинен мати дегустаційну оцінку (в балах) не нижче:

I сорт 8,5

вищої очистки 9,0

"Екстра" 9,3

"Люкс" 9,5

Для виробництва спирту етилового ректифікованого "Екстра" і "Люкс" використовуються усі види кондиційного зерна (пшениці, жита, кукурудзи, ячменю та ін.), а в окремих випадках до 35 % якісної здорової картоплі.

Технічний спирт виробляється з некондиційного зерна, меляси, спиртовмісних побічних продуктів спиртового (головна фракція, сивушний спирт) й виноробного виробництва.

Технічний спирт категорії Б і В може бути жовтуватого відтінку, а спирт етиловий (головна фракція) може бути безбарвним, злегка жовтуватим або зеленуватим з характерним запахом ефірів та альдегідів.

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

Технічний спирт перед випуском із заводу повинен піддаватись денатурації шляхом добавки до нього денатуруючих речовин, які надають стійкого неприємного смаку і запаху, та барвників.

У головній фракції етилового спирту, що одержують при переробці картоплі, вміст метилового спирту допускається до 2,5 об. %, а при переробці змішаної сировини (зерно-картопляної й цукрового буряка) - до 6 об. %.

Крім спирту-сирцю, ректифікованого і технічного спирту, спиртова промисловість виробляє так званий абсолютний спирт з концентрацією 99,5.. 99,8 % об. Не варто плутати поняття безводний (100 %-ний) і абсолютний спирт, який містить води до 0,2... 0,5 % об. Безводний спирт промисловістю не виробляється.

Нижче наведена загальна характеристика чистого безводного етанолу (етилового, або винного спирту).

Молекулярна маса $C_2H_5OH$ .....	46,069
Густина $\rho$ (при 20° C), кг/дм <sup>3</sup> .....	0,78945
Динамічна в'язкість $\eta$ (при 20° C), мПа • с .....	1,20
Коефіцієнт поверхневого натягу $\sigma$ (при 20° C), Н/м .....	0,0223
Питома теплоємність $C$ (при 20° C), кДж/(кг • К) .....	2,39
Теплота згоряння $H$ , МДж/кг .....	27
Температура кипіння $t_k$ (при тиску 101,3 кПа), °C .....	78,33
Питома теплота пароутворення $g$ (при тиску 101,3 кПа), кДж/кг .....	840

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 ректифікації спирту базується на основі законів П.Д.Коновалова і М.С.Вревського.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



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

Летка частина бражки складається в основному з води і етанолу, тому в процесі виділення спирту бражку розглядають як бінарну суміш етанолу і води. У - верхній частині рис. 10.3 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 спирту  $K_{ес} = Y/X$  із водно-спиртової суміші. При малих концентраціях спирту в суміші значення  $K_{ес}$  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, додавання якого до рідини підвищує загальний тиск пари над нею.

Колонні апарати в залежності від способу контакту фаз розділяють на тарілчаті, насадкові та плівкові.

Найбільш розповсюджені на харчових підприємствах ректифікаційні тарілчаті колонні апарати.

Тарілчатий колонний апарат складається з вертикального корпусу циліндричної форми, сферичної кришки і днища. Корпус колони може бути виготовлений зварним або з окремих царг, якщо тиск в апараті не перевищує 1,6 МПа. В спиртовому виробництві найчастіше використовують колони в царговому виконанні. Діаметр колон складає 400 – 4000 мм. В середині корпусу змонтовані тарілки. Висота колони залежить від кількості тарілок і відстані між ними. При перегонці рідини, що не піниться, мінімальна відстань рекомендується в межах 170-200 мм. З ростом діаметру колони відстань між тарілками збільшується.

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

На корпусі ректифікаційної колони розміщені штуцери: вводу сировини, пари, флегми і виводу пари, кубового залишка. При закритому обігріванні колона в нижній частині додатково оснащена штуцерами для виводу пари з випарника і вводу циркулюючої кубової рідини в випарник. Окрім цього колона обладнання штуцерами для вимірювання тиску і температури по висоті колони, відбору проб і ін.

Колони періодичної дії мають куби великої ємності, яка достатня для завантаження необхідної кількості продукту. В колонах безперервної дії кубом є нижня частина колони висотою 1-1,5 м.

Місце вводу сировини в колону визначає склад вихідної суміші, який повинен відповідати складу рідини на певній тарілці по висоті колони. Тобто місце вводу сировини і виводу проміжних фракцій визначає їх відповідний склад. Відповідно повинні бути розміщені штуцери в колоні.

### 1.3 Опис конструкції запроектованого апарата [1]

Бражна колона призначена для того, щоб виділити із бражки спирт. Разом із спиртом виділяють і легкі домішки. Вміст етилового спирту в бражці залежить від виду вихідної сировини і

способу її переробки. Зазвичай він коливається в межах 6-11%од. В зрілій бражці завжди розчинена деяка кількість діоксиду вуглецю. Мелясні бражки майже містять твердої фази, але в них більша кількість поверхнево-активних речовин, вони легко перенасичуються діоксином вуглецю і сильно міняється.

Бражна колона даної технологічної установки виробництва безводного спирту дії являє собою типову відгонну ректифікаційну колону. Бражка подається на верхню тарілку при температурі 60-90 С. Попередньо підігріта бражка пропускається через сепаратор діоксиду вуглецю і звільняється від звичайної частки CO<sub>2</sub>. В установках прямої і деяких видах непрямої дії бражка перед надходженням в бражну колону піддається сепарації, в результаті чого вона

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

звільняється від головних домішок і залишку діоксину вуглецю. Місце вводу сировини в колону визначає склад вихідної суміші, який повинен відповідати складу рідини на певній тарілці по висоті колони. Тобто місце вводу сировини і виводу проміжних фракцій визначає їх відповідний склад. Відповідно повинні бути розміщені штуцери в колоні.

Ситчаста тарілка є одним з найпростіших тарілчастих контактних пристроїв.

Ситчаті тарілки працюють при помірних швидкостях пари й незначному бризковиносі, мають високу ефективність (КПД: 0,3- 0,5) у широкому діапазоні навантажень. Цей тип тарілок рекомендується використовувати в бражних колонах при перегонці малясної бражки так із дробленої зерно- картопляної сировини.

Бражка подається на верхню тарілку при температурі 60-90 С.

Попередньо підігріта бражка пропускається через сепаратор діоксину вуглецю і звільняється від звичайної частки CO<sub>2</sub>. В установках прямої і деяких видах непрямої дії бражка перед надходженням в бражну колону піддається сепарації, в результаті чого вона звільняється від головних домішок і залишку діоксину вуглецю. Місце вводу сировини в колону визначає склад вихідної суміші, який повинен відповідати складу рідини на певній тарілці по висоті колони. Тобто місце вводу сировини і виводу проміжних фракцій визначає їх відповідний склад. Відповідно повинні бути розміщені штуцери в колоні.

Ситчаста тарілка є одним з найпростіших тарілчастих контактних пристроїв.

Ситчаті тарілки працюють при помірних швидкостях пари й незначному бризковиносі, мають високу ефективність (КПД: 0,3- 0,5) у широкому діапазоні навантажень. Цей тип тарілок рекомендується використовувати в бражних колонах при перегонці малясної бражки так із дробленої зерно- картопляної сировини.

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

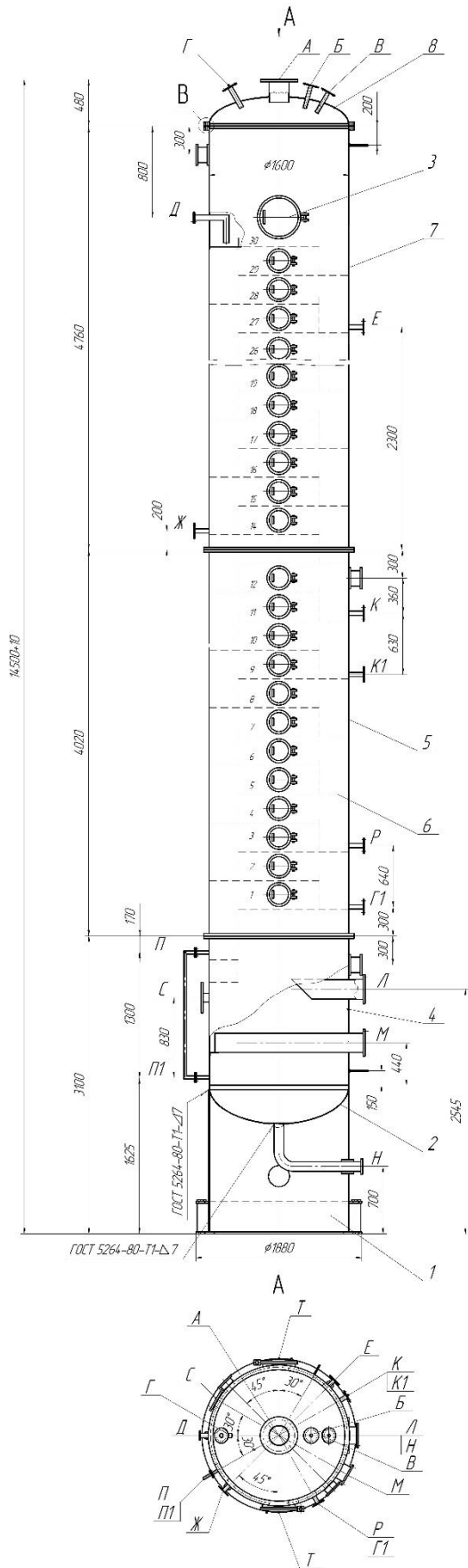


Рисунок 1.2 – Колона бражна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ

Арк.

20

Апарат працює в такий спосіб. Зріла бражка подається насосом у трубний простір бражних підігрівачів, де підігрівається до температури 85°C теплом водно-спиртових пар, які частково конденсуються в міжтрубному їх просторі. Підігріта бражка проходить через оглядовий ліхтар і надходить на верхню тарілку бражної частини колони, куди також надходить і флегма з розташованої вище спиртової частини колони. Бражка, що стікає по тарілках, підігрівається пором до кипіння й з неї виділяються етиловий спирт і летучі домішки. Сягаючи виварної камери барда, що містить сліди спирту (до 0,015 %), через бардяної регулятор віддаляється з апарата.

Водно-спиртові пари конденсуються близько 50 % мас. із бражної колони надходять у міжтрубний простір бражних підігрівачів, де частково конденсуються в міжтрубному їх просторі. Пари, що пройшли дефлегматор, надходять у конденсатор, де конденсуються, і разом з конденсатом з дефлегматора надходить на тарілку живлення концентраційної колони.

#### Вибір конструкційних матеріалів

При виборі конструкційного матеріалу основним критерієм є його хімічна і корозійна стійкість в заданому середовищі. В переважній більшості випадків вибирають матеріал абсолютно або достатньо стійкий в середовищі при її робочих і розрахункових параметрах і до розрахункової товщини добавляють на корозію відповідні прибавки в залежності від терміну роботи апарата. Разом з тим слід враховувати і інші види корозії ( міжкристалічну, точечну, корозійне розтріскування ), до яких схильні деякі матеріали в агресивних середовищах.

Другим критерієм при виборі матеріалів є розрахункова температура стінок апарата, а також, якщо ця температура є допустимою для апаратів, які встановлюються на відкритих площадках або в неопалювальному приміщенні, необхідно враховувати абсолютну мінімальну зимню температуру зовнішнього повітря ( для географічного району встановлення апарата ), при якій апарат може знаходитися під тиском або вакуумом.

Харчова промисловість виносить жорсткі вимоги до органолептичних

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

якостей продукції і виключає попадання продуктів корозії в кінцевий продукт. Тому всі частини, які знаходяться в безпосередньому контакті з водно-спиртовими розчинами і парами, повинні бути виготовленні із високолегованої харчової сталі 12Х18Н10Т.

Механічні властивості.

Межа короточасної 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)]	462А інші, по можливості, із сталі звичайної якості Ст3. В якості матеріалу для прокладки слід використовувати пароніт.

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

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу [7]

Вихідні дані:

Продуктивність апарату - 48000 кг/добу;

Концентрація спирту в бражці – 8,25%мас.;

Початкова температура бражки - 70° С;

Тиск гріючої пари - 1,5 кгс/см<sup>2</sup> (0,147 мПа);

Втрати спирту при браго ректифікації - 0,6%, (етанолу) в бражці, з них в бражній колоні - 0,2%.

Для доведення 100 кг бражки до кипіння необхідно затратити кількість тепла:

$$Q_H = (t_{\text{кип}} - t_{\text{дс}})C \times 100 \quad (2.1)$$

де С - визначаємо по рівнянню Знаменського

$$C_M = 1,019 - 0,0095 V \quad (2.2)$$

де V - склад сухих речовин в бражці, приймаємо 10%мас.;

тоді:

$$C = (1,019 - 0,0095 \cdot 10) \cdot 4,187 = 3,85 \text{ кДж/кг } ^\circ\text{C}$$

тоді:

$$Q_H = (93,35 - 70) \cdot 3,85 \cdot 100 = 9287 \text{ кДж}$$

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

По графіку XI - 3 знаходимо концентрацію етанолу на живильній тарілці, вона складає 8.25 % маси (3,29% мол), а по таблиці XI - 1 [3, с. 168]- температуру її кипіння - 93,35 ° С.

Водно-спиртові пари, що виділяються на живильній тарілці мають концентрацію етанолу 58,06% маси (26,21%мол). Кількість водно-спиртових парів G, що відводяться з бражної колони, на 100 кг бражки (з врахуванням 2% втрат - 99,8 кг) визначаємо по формулі:

$$G = 99,8 \cdot x_{др} / y \quad (2.3)$$

де  $x_{др}$  і  $y$  - склад етанолу в бражці, що надходить на перегонку, і в парах, що виходять з колони, %мас.

тоді:

$$G = 99,8 \times 8,25 / 58,06 = 14,18 \text{ кг}$$

Якщо прийняти коефіцієнт надлишку пари  $\beta = 1,05$ , то дійсна кількість водно-спиртових парів  $G_g$  :

$$G_g = G \cdot \beta = 14,18 \cdot 1,05 = 14,89 \text{ кг}$$

Звідси дійсна концентрація спирту в бражному дистиляті:

$$y_g = 8,25 \times 99,8 / 14,89 = 55,3\% \text{ мас (33,4\% моль)}$$

Складаємо рівняння матеріального балансу бражної колони (на 100 кг бражки):

$$100 + P = 14,89 + R \quad (2.4)$$

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



Звідси

$$R = 85,11 + P$$

де Р - кількість пари що надходить (таблиця XII - 3);

Р - кількість барди.

Концентрація сухих речовин в зрілій бражці – 8,25%мас., в барді – 8 % мас.

Визначаємо кількість безводного спирту , який поступає з бражкою в бражну колону за формулою [3.с.185] :

$$G = \frac{П}{24 \cdot 3600} \text{ кг/с.} \quad (2.5)$$

де П=48000кг/добу – продуктивність відносно по безводному спирту ;

ρсп=0,789 кг/л – густина спирту.

Таким чином :

$$G = \frac{480000}{24 \cdot 3600} = 0,5556 \text{ кг/с}$$

Визначаємо добові витрати бражки при умові вмісту спирту в ній 8,25 % за формулою [16.185]:

$$G_{\text{бр}}^{\text{л}} = \frac{G \cdot 86400 \cdot 100}{a} \text{ кг/добу} \quad (2.6)$$

де : a=8,25% мас. – вміст спирту в бражці;

$$G_{\text{бр}}^{\text{л}} = \frac{0,5556 \cdot 86400 \cdot 100}{8,25} = 5806588 \text{ кг/добу}$$

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

Визначаємо витрати бражки з урахуванням вмісту в ній сухих речовин за формулою [16.185]:

$$M = \frac{100+B}{100} G_{бр}^I \text{ кг/добу} \quad (2.7)$$

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

Таким чином :

$$M = \frac{100+10}{100} 5806588 = 6387247 \text{ кг/добу}$$

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 57,9% мас.

Визначаємо кількість водно – спиртових парів , які поступають в підігрівач бражки [3.с.185]:

$$A = \frac{G \cdot 100 \cdot 86400}{X_A} \text{ кг/добу} \quad (2.8)$$

де :  $X_A = 58,06\%$  мас. – вміст спирту в водно-спиртових парах;

$$A = \frac{0,5556 \cdot 100 \cdot 86400}{58,06} = 82684,8 \text{ кг/добу}$$

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

$$G_D = \frac{A}{86400} - \frac{G \cdot 0,5}{100} \text{ кг/с.} \quad (2.9)$$

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

$$G_d = \frac{82684,8}{86400} - \frac{0,5556 \cdot 0,5}{100} = 0,954 \text{ кг/с.}$$

Матеріальний баланс бражної колони приведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Продукт	Кількість кг/добу
Прихід	
Бражка $G_{бр}$	580658,8
Витрата	
Пар бражного дистиляту $G_d$	82684,8
Барда	497974

Складаємо рівняння матеріального балансу бражної колони:

$$G_{бр} = G_d + B \quad (2.10)$$

де  $G_{бр} = 580658,8$  кг/добу – витрати зрілої бражки по спирту

$G_d = 82684,8$  кг/добу – кількість бражного дистиляту

$B$  – кількість барди, що виводиться з колони, кг/добу

Розраховуємо з рівняння кількість барди, що виводиться з колони (в кг/добу)

$$B = G_{бр} - G_d = 580658,8 - 82684,8 = 497974$$

Визначаємо кількість тепла, що поступає з бражкою (в кВт) по формулі [4. Ст. 331]

$$Q_6 = (G_{бр} \cdot C_m \cdot t_6) / 86400 = (580658,8 \cdot 3,85 \cdot 70) / 86400 = 2199,31 \quad (2.11)$$

Знаходимо кількість тепла (в кВт), що виноситься з парами бражного

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

дистиляту за формулою [4. ст. 332]

$$Q_d = (i \cdot G_d) / 86400 = (1964,47 \cdot 82684,8) / 86400 = 1880 \quad (2.12)$$

де  $i$  – 1964,47 кДж/кг – ентальпія пару бражного дистиляту

Визначаємо кількість тепла (в кВт), що виходить з бардою по формулі [4. ст. 332]

$$Q_R = (B \cdot t_R \cdot C_R) / 86400 = (497974 \cdot 105 \cdot 4,06) / 86400 = 2457 \quad (2.13)$$

де  $t_R = 105^\circ\text{C}$  – температура барди

$C_R = 4,06$  кДж/(кг·К) – теплоємність барди

Знаходимо загальну кількість втрат тепла (в кВт) по формулі [4. ст 31]

$$Q_{\text{втр}} = (Q_b + Q_d + Q_R) \cdot 0,03 = (2199,31 + 1880 + 2457) \cdot 0,03 = 196,1 \quad (2.14)$$

де 0,03 – витрати тепла в навколишнє середовище

Складаємо рівняння теплового балансу колони

$$Q_b + Q_{\text{п}} = Q_d + Q_R + Q_{\text{втр}} \quad (2.15)$$

де  $Q_{\text{п}}$  – тепло, що передає гріюча пара, кВт

Розраховуємо з рівняння кількість тепла, що передає гріюча пара (в кВт):

$$Q_{\text{п}} = Q_d + Q_R + Q_{\text{втр}} - Q_b = 1880 + 2457 + 196,1 - 2199,31 = 2333,79 \quad (2.16)$$

Знаходимо температуру конденсату (в °C) по формулі [4 ст. 332]

$$t_k = t_{\text{п}} - 2^\circ\text{C} = 133,8 - 2 = 131,8 \quad (2.17)$$

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

де  $t_n = 133,8^\circ\text{C}$  – температура гріючої пари

Визначаємо витрату гріючої пари (в кг/с) по формулі [4, с. 332]

$$P = Q_n / (i_n - C_k \cdot t_k) = 2333,79 / (2725,5 - 4,19 \cdot 131,8) = 1,07 \quad (2.18)$$

де  $i_n = 2725,5$  кДж/кг – ентальпія гріючої пари

$C_k = 4,19$  кДж/(кг·°C) – теплоємність конденсату

$t_k = 131,8^\circ\text{C}$  – температура конденсату

Визначаємо витрату пари на 1 кг спирту (в кг/с) по формулі

$$P_1 = P/G = 1,07/0,5556 = 1,93 \quad (2.19)$$

де  $G = 0,5556$  кг/с – кількість безводного спирту, що поступає в колону з бражкою.

## 2.2 Технологічні розрахунки [2]

Для визначення числа тарілок бражної колони необхідно скласти рівняння робочої лінії колони:

$$y = L/G \cdot (x - x_R) \quad (2.20)$$

Знаходимо величину парового потоку  $G$  в молях на 100 кг бражки. Кількість введеної пари складає 15,92 кг. Її молярна маса - 18. Так як тиск граючої пари мало відрізняється від тиску в колоні, то можна прийняти, що кількість молів пари що піднімається в колоні складе:

$$15,92/18 = 0,885.$$

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

Потік рідини L складається із бражки та конденсату пари, що підходить на нагрів бражки до кипіння на живильній тарілці.

100 кг бражки складають:  $9,5/46 + 90,5/18 = 5,207$  моль

На нагрів 100 кг бражки знадобилося 2218 ккал (9201 кДж) тепла, що відповідає:

$$9240/2260 = 4,15 \text{ кг пари } (4,15/18 = 0,25 \text{ моль})$$

$$L = 5,207 + 0,25 = 5,457 \text{ моль}$$

Рівняння робочої лінії тепер буде мати такий вигляд:

$$y = 5,457/0,885 \cdot (x-0,004)$$

Побудуємо на графіку рівноваги пряму лінію, що відповідає даному рівнянню  $x = x_{\text{пит.}} = 3,945\% \text{ мол.}$ ;  $y = 6,16(3,945-0,004) = 24,3\% \text{ мол.}$

Знайдемо число ступенів концентрації маси значенням концентрації від 0,2 до 24,3 % мол. графічним шляхом.

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

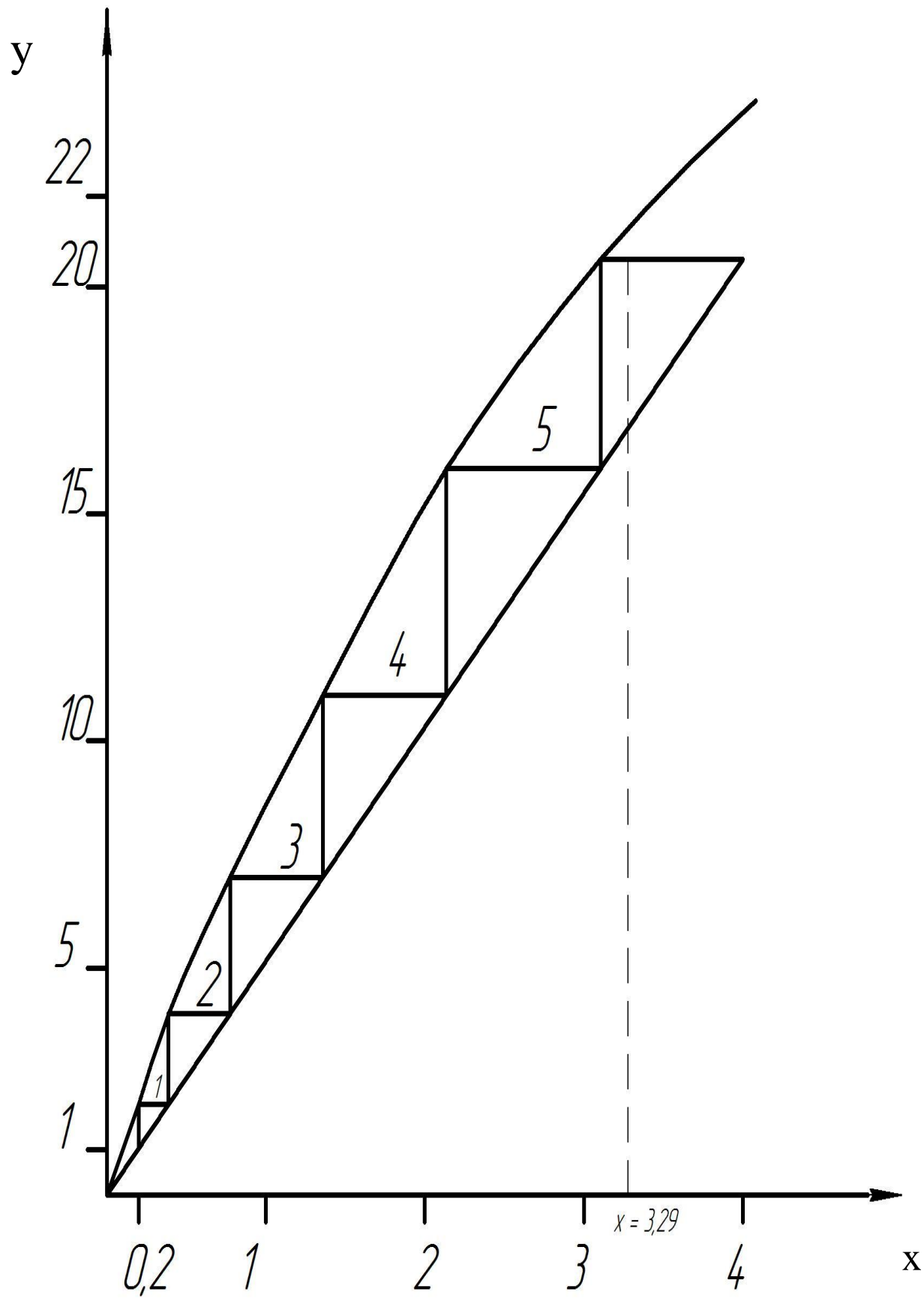


Рис.1.1 Знаходження числа ступенів зміни концентрації

Число тарілок ,визначене графічним шляхом становитиме 5 шт.

Визначаємо кількість тарілок по формулі Сореля – Харіна в межах 0,2 % моль-0,004 % моль:

$$n = \frac{\lg \left[ 1 + \frac{x_0}{x_R} \cdot \left( \frac{KG}{L} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{KG}{L}} \quad (2.21)$$

де  $x_0 = 0,2$  % моль;

$x_R = 0,004$  % моль;

$K$  – коефіцієнт випаровування етанолу в інтервалі його малих концентраціях

$$n = \frac{\lg \left[ 1 + \frac{0.2}{0.004} \cdot \left( \frac{13 \cdot 0.885}{5.457} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{13 \cdot 0.885}{5.457}} = 5,4 \text{ шт.}$$

Отже, загальне число теоретичних тарілок буде 10,4 реальних тарілок буде 29,7 ( при ккд= 0,35).

Приймаємо 30 тарілок.

Величину парового потоку в колоні визначимо з умови:

$$G_n = \frac{P \cdot I_n}{I} = \frac{1,07 \cdot 2725,5}{2674} = 1,09 \text{ кг/с} \quad (2.22)$$

де  $I=2674$  кДж/ кг-ентальпія пари у колоні.

Величину рідинного потоку визначимо по формулі:

$$G = \frac{G_{\text{оп}} \cdot c_M (t_k - t_n)}{I - c_k \cdot t_k} = \frac{6,72 \cdot 3,85(89,97 - 85)}{2674 - 4,19 \cdot 131,8} = 0,06 \text{ кг/с} \quad (2.23)$$

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



де  $t_n=85^{\circ}\text{C}$ - температура бражки згідно завдання.

Загальна кількість рідинного потоку становить:

$$L=G_{\text{бр}}+G_{\text{к}}=6,72+0,06=6,78 \text{ кг/с.} \quad (2.24)$$

### 2.3 Конструктивні розрахунки [6]

Для визначення конструктивних розмірів колони швидкість пари в колоні визначається за формулою В.М.Стабнікова:

$$\omega = \frac{0,305 \cdot h}{60 + 0,05 \cdot h} - 0,012 \cdot z \quad (2.25)$$

де  $h$  - відстань між тарілками. Згідно рекомендацій приймаємо  $h$  рівну 500 мм.

$z$  - глибина барботажного шару. Приймаємо  $z=40$  мм.

Підставляючи ці дані, маємо:

$$\omega = \frac{0,305 \cdot 600}{60 + 0,05 \cdot 600} - 0,012 \cdot 40 = 1,55 \text{ м/с.}$$

За умови перегонки пінної бражки швидкість парів приймаємо 0,85 м/с [3, с.96]

При робочому тиску в колоні 1,15 ат густина водяної пари складатиме  $\gamma = 0,66 \text{ кг/м}^3$ .

Об'єм парів ( $\text{м}^3$ ), що піднімається за 1 с в колоні, визначаємо по формулі:

$$V_n = 0.785 \cdot d^2 \cdot \omega_n \quad (2.26)$$

звідки:

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

$$d = \sqrt{V_n / 0.785 \cdot w_n} = \sqrt{1,09 / 0,66 \cdot 0.785 \cdot 0.85} = 1,57 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр колони 1600 мм

Висоту тарілчастої частини колони визначимо з рівняння :

$$H_T = (N_D - 1)h_{MT}; \quad (2.27)$$

де  $h_{MT} = 0,5$  м- висоту міжтарілчастої відстані;

$$H_T = (30 - 1) \cdot 0,6 = 17,4 \text{ м.}$$

Висоту сепараційного простору верхньої частини колони вибираємо конструктивно з умови, що вона становить  $(0,4 - 0,5)$  діаметра колони:

$$H_B = 0,5 \cdot 1,6 = 0,8 \text{ м.}$$

Відстань від днища колони до нижньої тарілки:

$$H_N = (0,75 \dots 1)D = (0,75 \dots 1) \cdot 1600 = (1200 \dots 1600) \text{ мм}$$

Приймаємо 1600 мм.

Висота кришки колони

$$H_K = (0,3 \dots 0,4)D = (0,3 \dots 0,4) \cdot 1600 = (480 \dots 640) \text{ мм}$$

Приймаємо  $H_K = 500 \text{ мм}$ .

Приймаємо висоту опори колони  $h_o = 2600 \text{ мм}$ .

Загальна висота бражної колони становитиме:

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

$$H = H_m + H_v + H_n + H_k \pm h_o = 17400 + 800 + 1200 + 500 + 2600 = 22500 \text{ мм}$$

Діаметр патрубків визначимо по формулі:

$$d_{\text{п}} = \sqrt{\frac{V_{\text{сек}}}{0,785 \cdot \omega}} \quad (2.28)$$

де  $V_{\text{сек}}$  - секундна витрата рідини або пари,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\omega$  - швидкість рідини або пари;

$\omega = (0,5-2,5)$   $\text{м}/\text{с}$  - швидкість рідини в напірних трубопроводах;

$\omega = (0,1-0,5)$   $\text{м}/\text{с}$  - швидкість рідини в трубі;

$\omega = (5-20)$   $\text{м}/\text{с}$  - швидкість пари в патрубку.

Патрубок виходу пари в бражні підігрівачі:

$$d = \sqrt{\frac{1,09}{0,785 \cdot 0,66 \cdot 20}} = 0,3243 \text{ м.} \quad (2.29)$$

Приймаємо  $d = 350$  мм.

Патрубок входу бражки

$$d = \sqrt{\frac{6,72}{0,785 \cdot 2,5 \cdot 746,88}} = 0,067 \text{ м.} \quad (2.30)$$

Приймаємо  $d = 70$  мм.

Патрубок до вакуум-переривника приймаємо 40 мм, для пробного холодильника 20 мм, патрубок для зливу рідини (дренаж) і для промивання приймаємо 25 мм, монтажні люки 400 мм, гільзи термопари 32 мм.

Діаметр патрубка для введення гріючої пари визначаємо по формулі:

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

$$d_1 = \sqrt{\frac{P \cdot 4}{\rho_1 \cdot \pi \cdot V_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,07}{3,14 \cdot 1,62 \cdot 20}} = 0,205 \text{ м.} \quad (2.31)$$

Приймаємо  $d_1=210$  мм.

де  $\rho_1=1,62$  кг/м<sup>3</sup> - щільність гріючої пари;

$V_1=20$  м/с - швидкість руху гріючої пари.

Діаметр патрубк для відведення конденсату:

$$d_2 = \sqrt{\frac{P \cdot 4}{\rho_K \cdot \pi \cdot V_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,07}{935 \cdot 3,14 \cdot 0,5}} = 0,054 \text{ м.} \quad (2.32)$$

Приймаємо  $d_2=60$  мм,

де  $\rho_K=935$  кг/м<sup>3</sup> – густина конденсату,

$V_2=0,5$  м/с - швидкість руху конденсату .

Виходячи з формули:

$$Q = G \cdot C_M (t_R - t'_6), \quad (2.33)$$

Визначимо кількість киплячої рідини

$$G = \frac{Q}{c_M (t_R - t'_6)} = \frac{2333790}{3850(105 - 92,25)} = 47,54 \text{ кг/с} \quad (2.34)$$

де  $Q=1034,3$  кВт - теплове навантаження;

$t_r=105$  °С - температура в нижній частині колони;

$t'_6=92,25$ °С - температура кипіння бражки;

$C_M=3,85$  кДж/(кг·к) - теплоємність бражки.

Діаметр патрубк для входу й виходу цього продукту

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

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot V_3}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 47,54}{3,14 \cdot 914 \cdot 0,5}} = 0,364 \text{ м.} \quad (2.35)$$

Приймаємо  $d_3=400$  мм,

де  $\rho=914$  кг/м<sup>3</sup>- щільність киплячої рідини;

$V_3=0,5$  м/ с- швидкість руху рідини патрубку.

При необхідності обігрівання бражної колони гострою парою діаметр барботера становитиме:

$$d_b = \sqrt{\frac{4V_n}{\pi W}} \quad (2.36)$$

де,  $W = 10$  м/с

Тоді:

$$d_b = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,07}{3,14 \cdot 10 \cdot 1,62}} = 0,29 \text{ м} = 290 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр барботера 300мм

Площа паровипускних отворів

$$S_o = 1,25 \frac{\pi d_b^2}{4} = 1,25 \frac{3,74 \cdot 300^2}{4} = 105488 \text{ мм}^2 \quad (2.37)$$

Діаметр отворів приймаємо 15 мм.

Число отворів:

$$n_o = \frac{4S_o}{\pi d_o^2} = \frac{4 \cdot 105188}{3,14 \cdot 225} = 599 \text{ шт.} \quad (2.38)$$

Довжина ділянки барботера зайнятого отворами:

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

$$l = D - (100 \dots 200) \quad (2.39)$$

де D – діаметр колони, 1600 мм

$$l = 1600 - 200 = 1400 \text{ мм}$$

Крок між отворами приймаємо 25 мм, число отворів в даному ряді:

$$n = l/t + 1 = 1400 / 25 + 1 = 56 \text{ шт.} \quad (2.40)$$

Число повздовжніх рядів:

$$n_n = \frac{n_o}{n_t} = \frac{599}{56} = 10,7 \quad \text{рядів} \quad (2.41)$$

Приймаємо 11 повздовжніх рядів.

Вираховуємо перерахунок кількості отворів в одному ряді:

$$n = 599/11 = 54,45 \text{ шт.} \quad (2.42)$$

Приймаємо 55 отворів.

Крок між рядами:

$$t_1 = \frac{\pi d_o}{2(n_{np} - 1)} = \frac{3.14 \cdot 300}{2(11 - 1)} = 47.1 \text{ мм} \quad (2.43)$$

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

## 2.4 Гідравлічний опір апарата [5]

Вибираємо стандартну тарілку типу ОСТ 26-805-73 з наступними параметрами:

Робочий перетин тарілки,  $1,834\text{м}^2$

Діаметр отворів,  $d$ , мм 4

Крок між отворами,  $t$ , мм 10

Відносний вільний перетин тарілки, % 10

Перетин переливу,  $\text{м}^2$  0,088

Периметр зливу,  $\text{м}^2$  0,8

Гідравлічний опір тарілок колони  $\Delta p$  визначаємо по формулі:

$$\Delta p_K = \Delta p \cdot N, \quad (2.43)$$

де  $\Delta p$  - гідравлічний опір тарілки колони відповідно, Па;

$N$  - число тарілок у колоні відповідно 30.

Повний гідравлічний опір однієї тарілки  $\Delta p$  складається із трьох складових

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_n + \Delta p_b. \quad (2.44)$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_c = \xi \frac{\omega_o^2 \cdot \rho_n}{2F_c^2} \quad (2.45)$$

де  $\xi$  - коефіцієнт опору сухої тарілки, застосовуємо  $\xi = 1,85$ ;

$\omega_o$  - швидкість пари, м/с;

$\rho_n$  - щільність пари, кг/м<sup>3</sup>.

Таким чином

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

$$\Delta p_c = 1,85 \frac{0,85^2 \cdot 1,96}{2 \cdot 0,159^2} = 52,4 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір паро-рідинного прошару на тарілці:

$$\Delta p_{\pi} = g \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot h_0, \quad (2.46)$$

де  $h_0$  - висота світлого шару рідини, ухвалюємо 0,02 м;

$\rho_{\text{ж}}$  - щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Тоді:

$$\Delta p = 9,81 \cdot 739,9 \cdot 0,02 = 145 \text{ Па}$$

Гідравлічний опір, обумовлене силами поверхневої напруги рівно:

$$\Delta p_{\delta} = 4\delta / d_0, \quad (2.47)$$

де  $\delta = 4,5 \cdot 10^{-2}$  Н/М - поверхневий натягу рідини;

$d_0 = 0,004$  м - діаметр отворів тарілки.

$$\Delta p_{\delta} = \frac{4 \cdot 4,5 \cdot 10^{-2}}{0,004} = 45 \text{ Па.}$$

Повний гідравлічний опір однієї тарілки верхньої й нижньої частини колони дорівнює:

$$\Delta p = 52,4 + 145 + 45 = 242,4 \text{ Па} \quad (2.48)$$

Повний гідравлічний опір бражної колони

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



$$\Delta p_K = \Delta p \cdot N = 242,4 \cdot 30 = 7272 \text{ Па.}$$

Перевіримо, дотримується чи при відстані між тарілками  $h = 0,6 \text{ м}$  необхідне для нормальної роботи тарілок умова:

$$h > 1,8 \frac{\Delta p}{\rho_{жс} \cdot g} = \frac{1,8 \cdot 242,4}{739,9 \cdot 9,81} = 0,06 < 0,6 \text{ м} \quad (2.49)$$

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання [7]

### Розрахунок кип'ятильника

Площа поверхні теплообміну кип'ятильника визначаємо по формулі:

$$F = Q / (K \cdot \Delta t); \text{ м}^2 \quad (2.50)$$

де  $Q = 2333,79 \text{ кВт}$  - теплове навантаження,

$K$  - коефіцієнт теплопередачі;  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$\Delta t$  - корисна різниця температур;  $^{\circ}\text{C}$ .

Корисну різницю температур визначимо по формулі:

$$\Delta t = t_n - t_b - 2; \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (2.51)$$

де  $t_n = 133,8 \text{ } ^{\circ}\text{C}$  - температура пари;

$t_b = 104 \text{ } ^{\circ}\text{C}$  – температура кипіння барди;

$\sum \Delta = \eta^{\circ}$  - температурна депресія;

$$\Delta t = 133,8 - 104 - 2 = 27,8 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Коефіцієнт теплопередачі визначається по формулі:

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}; \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}) \quad (2.52)$$

де  $\alpha_1$  - коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

$\alpha_2$  - коефіцієнт тепловіддачі від стінці до бражки;

$\lambda$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу труби;  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$

$\delta$  - товщина стінки.

Коефіцієнт тепловіддачі від, що гріє пари до стінки визначимо по формулі:

$$\alpha_1 = 1,21\lambda \left( \frac{\rho_2 \cdot r \cdot g}{\mu \cdot H} \right)^{1/3} \cdot q^{-1/3} \quad (2.53)$$

де  $\lambda = 68,5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  - коефіцієнт теплопровідності конденсату;

$\rho = 935 \text{ кг}/\text{м}^3$  - щільність конденсату;

$r = 2165,8 \text{ кДж}/\text{кг}$  - теплота переутвору;

$\mu = 219 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості конденсату;

$H = 2 \text{ м}$  - висота труб кип'ятильника;

$g = 28000 \text{ Вт}/\text{м}^2$  - питоме теплове навантаження.

Таким чином:

$$\alpha_1 = 1,21 \cdot 68,5 \cdot 10^{-2} \left( \frac{935^2 \cdot 2165,8 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{219 \cdot 10^{-6} \cdot 2} \right)^{1/3} \cdot 1,76 \cdot 2800^{-1/3} = 3359,84$$

Коефіцієнт тепловіддачі од стінці до предмета визначимо по формулі:

$$\alpha_2 = A_1 \cdot g^{0,5}; \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{C}) \quad (2.54)$$

де  $A_1$  - коефіцієнт залежності від фізичних властивостей киплячої рідини;

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_1 = 780 \frac{\lambda^{1,3} \cdot \rho^{0,5} \cdot \rho^{0,06}}{G^{0,5} \cdot r^{0,6} \cdot \rho_c^{0,06} \cdot c^{0,3} \cdot \mu^{0,3}}; \quad (2.55)$$

де  $\lambda=0,359$  Вт/(м·к) - коефіцієнт теплопровідності водно-спиртового розчину  
 $\mu=0,6 \cdot 10^{-3}$  Па·с - коефіцієнт динамічної в'язкості киплячої рідини;  
 $G$  - коефіцієнт поверхні натягу киплячої рідини (Н/м).

$$G = \left( \frac{\rho_n \cdot \rho_p}{M} \right) = \frac{23,29 \cdot 10^{-3} \cdot 914}{46} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м} \quad (2.56)$$

де  $\rho_p=914$  кг/м<sup>3</sup> - щільність киплячої рідини;  
 $\rho_n=0,69$  кг/м<sup>3</sup> - щільність пари при робочому тиску;  
 $\rho_c=0,887$  кг/м<sup>3</sup> - щільність пари при тиску  $P=105$  Па;  
 $r=155,3 \cdot 10^3$  Дж/кг - питома теплота паротворення;  
 $c=3,85 \cdot 10^3$  кДж/(кг·°С) - питома теплоємність киплячої рідини.

Таким чином

$$A_1 = \frac{780 \cdot 0,359^{1,3} \cdot 914^{0,5} \cdot 0,69^{0,06}}{(4,5 \cdot 10^{-2})^{0,5} (1553 \cdot 10^3)^{0,6} (0,887)^{0,06} (3,85 \cdot 10^3)^{0,3} (0,6 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 4,66$$

Звідси коефіцієнт тепловіддачі складе:

$$A_2 = 466 \cdot 28000^{0,6} = 2171 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)}.$$

Коефіцієнт теплопровідності для нержавіючої сталі складе

Визначимо коефіцієнт теплопередачі для кип'ятильника:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{9517} + \frac{0,0015}{15,1} + \frac{1}{2171}} = 1504 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

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

Необхідна площа поверхні теплопередачі кип'ятильника складе:

$$F = \frac{2333790 \cdot 1,04}{1504 \cdot 27,8} = 58,1 \text{ м}^2.$$

Приймаємо кип'ятильник двохсекційний, площею поверхні теплопередачі 80 м<sup>2</sup>, діаметр кожуха 600/1000 мм, діаметр труб 32x2/55x3

### Розрахунок бражного підігрівника

Площа поверхні бражного підігрівника визначимо для зони охолодження бражкою й водою.

Кількість тепла бражкою, що приділяється, складе:

$$Q_1 = G_M \cdot c_M (t_2 - t_1); \text{ кВт} \quad (2.57)$$

де  $c_M$  - питома теплоємність бражки;

$$Q = \frac{5806588 \cdot 3,85(85 - 25)}{86400} = 1552,5 \text{ Вт.}$$

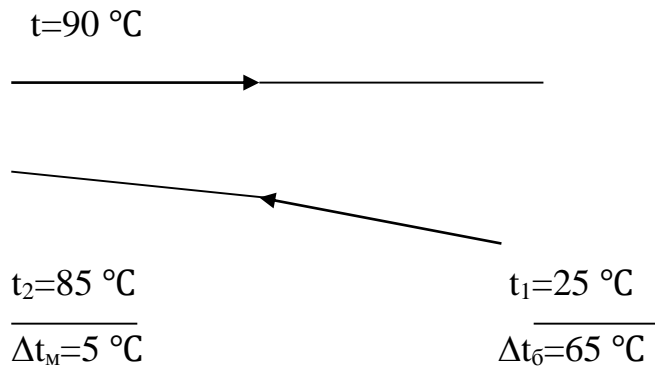
Теплота, яка припадає на водну частину підігрівача складе:

$$Q_2 = Q_d - Q_1 = 1880 - 1552,5 = 327,5 \text{ кВт}$$

де  $Q_d$  - тепло, що приходить у підігрівник із бражним дистилятом.

Визначимо корисну різницю температур для зони охолодження бражкою:

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



Визначимо коефіцієнт теплопередачі для бражного підігрівника по формулі:

$$K = \beta^3 \sqrt{v^2} \quad (2.58)$$

де  $\beta = 709$  - емпіричний коефіцієнт для сталевих труб;

$v$  - швидкість плинину рідини в трубах (для бражки  $v = 0,2$  м/с, для води - 0,1 м/с).

Таким чином коефіцієнт теплопередачі зони охолодження бражкою складе:

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

Коефіцієнт теплопередачі в зоні охолодження водою складе:

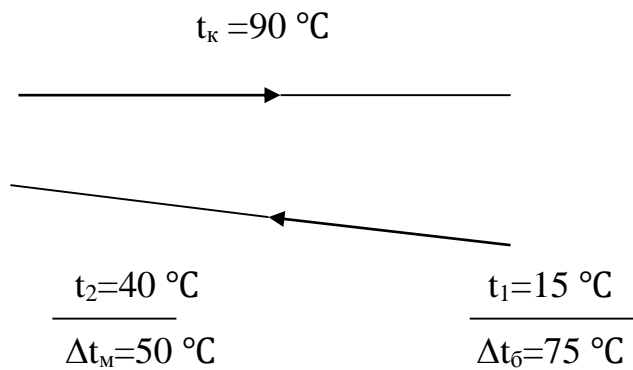
$$K_2 = 709^3 \sqrt{0,1^2} = 152,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

При цьому:  $\Delta t_6 / \Delta t_m > 2$ , тоді

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,31g \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} = \frac{65 - 5}{2,31g \frac{65}{5}} = 23 \text{ °C}$$

Визначимо корисну різницю температур для зони охолодження водою:

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



Таким чином  $\frac{\Delta t_\delta}{\Delta t_M} < 2$ , то

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta t_\delta + \Delta t_M}{2} = \frac{50 + 75}{2} = 65,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Тоді

$$F_1 = \frac{1552,5 \cdot 10^3}{242,5 \cdot 23} = 278,4 \text{ м}^2$$

$$F_2 = \frac{327,5 \cdot 10^3}{152,8 \cdot 62,5} = 34,3 \text{ м}^2.$$

Необхідна загальна поверхня теплопередачі складе:

$$F = 278,4 + 34,3 = 312,7 \text{ м}^2.$$

До установки застосовуємо 2 підігрівники бражки загальною площею поверхні підігріву  $160 \text{ м}^2$  кожний з діаметром корпусу для верхньої частини: 600 мм, для нижній частини: 1000 мм.

Розрахунок конденсатора

$G_d = 82684,8 \text{ кг/добу}$  – кількість бражного дистилляту

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

Визначаємо поверхню теплопередачі конденсатора бражної колони. При концентрації водно-спиртової пари, яка надходить із підігрівача  $X=75,8\%_{\text{мас}}$ , початкова температура конденсації  $t'_k=83,2^{\circ}\text{C}$ , кінцева -  $t''_k=80^{\circ}\text{C}$ ,  $r_1=1236 \text{ кДж/кг}$

Визначаємо кількість водно-спиртової пари, яка надходить в конденсатор по формулі [4с.253]

$$G=D^1-G_n \quad (2.59)$$

де  $D^1=1,78 \text{ кг/с}$  - кількість водно-спиртової пари, яка виходить із колони

$G_n=1,54 \text{ кг/с}$  - кількість водно-спиртової пари, яка конденсується в підігрівачі

$$G=1,78-1,54=0,24 \text{ кг/с}$$

Визначаємо теплове навантаження на поверхню конденсації по формулі [4с.253]

$$Q^1_k=G \cdot r^1 \quad (2.60)$$

$$Q^1_k=0,24 \cdot 1236=297 \text{ кВт}$$

Визначаємо витрату води на конденсатор по формулі [4с.253]

$$W=Q^1_k/[C(t''-t')] \quad (2.61)$$

де  $t''=35^{\circ}\text{C}$  - температура води на виході із конденсатора

$t'=17^{\circ}\text{C}$  - температура води на вході в конденсатор

$$W=297/[4,19(35-17)]=3,94 \text{ кг/с}$$

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

Визначаємо середню різницю температур для конденсатора по формулі [4с.253]

$$\Delta t_k = [(t''_k - t') + (t'_k - t'')]/2 \quad (2.62)$$

$$\Delta t_k = [(80 - 17) + (83,2 - 35)]/2 = 55^\circ\text{C}$$

Визначаємо поверхню теплообміну по формулі [4с.253]

$$F_k = Q_k / \Delta t_k K_k \quad (2.63)$$

де  $K_k = 400 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  - коефіцієнт теплопередачі для конденсаційної частини

$$F_k = 297000 / (55 \cdot 400) = 13,5 \text{ м}^2$$

З урахуванням можливого перевантаження колони збільшуємо розрахункову поверхню на 20% по формулі [4с.253]

$$F^1 = F \cdot 1,2 \quad (2.64)$$

$$F^1 = 13,5 \cdot 1,2 = 16,2 \text{ м}^2$$

Приймаємо до встановлення конденсатор з площею поверхні теплопередачі  $20 \text{ м}^2$ , діаметр апарата 500мм, висота 3475мм, маса 674кг.

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



## 3 Розрахунки на міцність та герметичність [7]

### 3.1 Розрахунки товщини стінки корпусу і кришки

Приймаємо розрахункові параметри, згідно умов експлуатації й завдання на проектування.

За розрахункову температуру ухвалюємо максимально можливу температуру куба в робочому стані бражної колони:

$$t = 107^{\circ}\text{C}.$$

Розрахунковий тиску прийняти рівним максимально можливому при мінімальному протіканні технологічного процесу без обліку гідростатичного, тому що тиску стовпа рідини не перевищує 5% від робітника (гідровипробування проводять у горизонтальному положенні), [8]

$$p = 0,10 \text{ Мпа (надлишковий)}.$$

Збільшення на корозію в цьому випадку дорівнює нулю, тому що застосовується харчова нержавіюча сталь 12Х18Н10Т:

$$c=0.$$

Коефіцієнт міцності зварених швів - для стикової із двостороннім проваром, виконаним автоматичним і напівавтоматичним зварюванням при контролі швів по довжині до 50% [8, 10].

Напруга, що допускається для матеріалу (сталь 12Х18Н10Т) циліндричної стінки царг колони й еліптичного днища (кришки) при 20 і розрахунковій температурі відповідно:

$$[\sigma]_{20} = 184 \text{ МПа};$$

$$[\sigma] = 173 \text{ МПа}.$$

Розрахункове значення границі текучості для сталі 12Х18Н10Т [10]:

$$\sigma_{m20} = 276 \text{ МПа}.$$

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

Допускають напруга в умовах гідравлічних випробувань (гідровипробування

проводяться визначається по формулі:

$$[\sigma]_u = \sigma_{m20} / 1,1 = 276 / 1,1 = 251 \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

Пробний тиск при гідровипробуванні [7]:

$$P_u = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 p[\sigma]_{20} / [\sigma] \\ 0,2 \end{array} \right\} \quad (3.2)$$

$$P_u = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,10 \cdot \frac{184}{173} = 0,16 \text{ МПа} \\ 0,2 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,2 \text{ МПа}$$

Розрахункова (номінальна) товщина стінки обичайки визначається по формулі:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} pD / (2\varphi[\sigma] - p) \\ p_u D / (2\varphi[\sigma]_u - p_u) \end{array} \right\} = \quad (3.3)$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,10 \cdot \frac{1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 173 - 0,10} = 0,51 \text{ мм} \\ 0,20 \cdot \frac{1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 251 - 0,20} = 0,71 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,62 \text{ мм}$$

де D - внутрішній діаметр обичайки царги колони, мм.

Виконавча товщина аркуша для обичайки корпусу колони:

$$s \geq s_p + c = 0,71 + 0 = 0,71 \text{ мм.} \quad (3.4)$$

Остаточно ухвалюємо товщину циліндричної обичайки з урахуванням стійкості при виготовленні рівної:

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

$s = 6 \text{ мм.}$

Перевіряємо умову застосовності формул безмоментної теорії:

$$(s-c)/D \leq 0,1; \quad (3.5)$$

$$(6-0)/1600=0,004,$$

,що менше 0,1 - умова застосовності формул виконане.

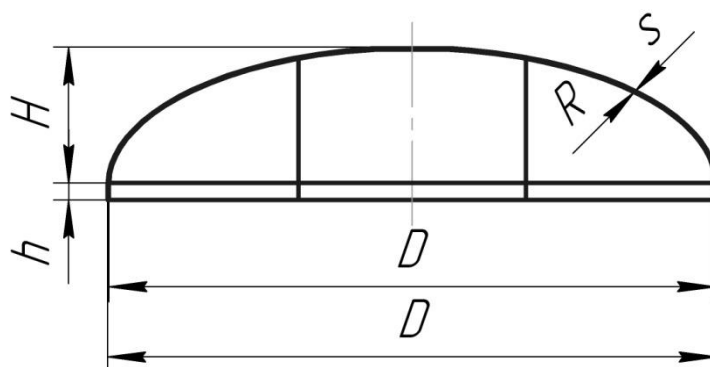


Рис. 3.1 Схема еліптичного днища

Приймаємо еліптичне днище з висотою  $H=0,25D$ , для якого розрахунковий параметр  $R=D=1600 \text{ мм.}$

Розрахунковий параметр еліптичного днища визначаємо по формулі:

$$S_{1p} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{pR}{2\varphi[\sigma]-0,3p} \\ p_u R / (2\varphi[\sigma]_u - 0,5p_u) \end{array} \right\} = \quad (3.6)$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,10 \cdot \frac{1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 173 - 0,10} = 0,51 \text{ мм} \\ 0,20 \cdot \frac{1600}{2 \cdot 0,9 \cdot 251 - 0,20} = 0,71 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,62 \text{ мм}$$

Виконавча товщина аркуша для днища по формулі (3.5):

$$S_1 \geq 0,71 + 0 = 0,71 \text{ мм.}$$

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

Остаточна товщину еліптичного днища рівна:

$$S = 6 \text{ мм.}$$

Перевіряємо умову застосовності формул безмоментної теорії:

$$(s-c)/D \leq 0,1; \quad (3.7)$$

$$(6-0)/1600 = 0,004,$$

що менше 0,1 - умова застосовності формул виконане

### 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання [7]

Внутрішній діаметр апарата.....  $D=1600$  мм

Товщина стінки кожуха.....  $S=6$  мм

Матеріал корпусу..... сталь 12X18H10T

Температура робочого середовища.....  $t=90^\circ\text{C}$

Розрахунковий тиск.....  $P_p = 0,21$  МПа

Матеріал фланця..... сталь 20

Конструктивні розміри фланця

Товщину втулки фланця приймаємо  $S_0 = 8 \text{ мм}$ , що задовольняє умову

$$S_0 > S \quad (8 \text{ мм}) > (6 \text{ мм})$$

Для плоских приварних фланців приймаємо  $S_1 = S_0$ .

Висота втулки фланця:

$$h_g > 0,5 \sqrt{D(S_0 - c)} \quad \text{мм} \quad (3.8)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_g > 0,5\sqrt{1600(8-1)} = 52,9\text{мм}$$

Відповідно примітці табл.13.7[19], табл.235 висоту втулки приймаємо  $h_g = 158\text{мм}$ .

Діаметр осьового кола болтів:

$$D_g = D + (2S_o + d_g + u) \quad \text{м} \quad (3.9)$$

де  $d_g$  - зовнішній діаметр болта, при  $D=1600$  мм і  $p_p=0,21\text{МПа}$ ,  $d_g=20$  мм[19], табл.1.40 ст.94;

$u$  - нормований зазор,  $u = 4\text{мм}$ [19],ст.95;

$$D = 1600 + 2(2 \cdot 8 + 20 + 4) = 1680\text{мм} = 1,68\text{м}$$

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_n = D_g + a \quad \text{мм} \quad (3.10)$$

де  $a$  – конструкційна добавка; для шестигранних гайок при  $d_g = 20\text{мм}$ ,  $a = 40\text{мм}$  [19], табл.1.41, табл.95;

$$D_n = 1680 + 40 = 1720\text{мм}$$

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{nn} = D_g - l \quad \text{мм} \quad (3.11)$$

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

де:  $l$  - конструктивна величина , для плоских прокладок  $l = 30\text{мм}$  [19] ,  
табл.1.41 , . табл.95.

$$D_{nn} = 1680 - 30 = 1650\text{мм}$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{cn} = D_{nn} - e \quad \text{мм} \quad (3.12)$$

де:  $e$  - конструктивна величина , для плоских прокладок  $e = 15\text{мм}$  [19] ,  
табл .1.42 , табл.96;

$$D_{cn} = 1650 - 15 = 1635\text{мм}$$

Кількість болтів , необхідних для забезпечення герметичності з'єднання:

$$n_{\delta} \approx \pi D_{\delta} / t_{uu} \quad \text{шт} \quad (3.13)$$

де:  $t_{uu}$  - шаг розташування болтів М20 на болтова окружність , при  
 $p_p = 0,21\text{МПа}; t_{uu} = (4,2 + 5)d_{\delta} = 4,5d_{\delta} = 4,5 \cdot 20 = 90\text{мм}$  [19] , табл.1.43 , табл.97.

$$n_{\delta} = \frac{3,14 \cdot 1680}{90} = 58,64\text{шт}$$

Приймаємо  $n_{\delta} = 60\text{шт}$  , кратне чотирьом.

Висота ( товщина фланця ):

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

$$h_{\phi} > \lambda_{\phi} \sqrt{D \cdot S_{\text{эк}}} \quad \text{мм} \quad (3.14)$$

де  $\lambda_{\phi}$  - коефіцієнт: для плоских фланців  $\lambda = 0,34$  при  $p_p = 0,21 \text{ МПа}$  [19], рис. 1.40, табл. 97;

$$S_{\text{эк}} = S_o = 8 \text{ мм}, \text{ так як для плоских фланців } \beta_1 = S_1 / S_o = 1;$$

$$h_{\phi} > 0,34 \sqrt{1550 \cdot 8} = 38,46 \text{ мм}$$

Приймаємо  $h_{\phi} = 40 \text{ мм}$

Розрахункова довжина болта:

$$l_{\delta} = l_{\delta,o} + 0,28d_{\delta} \quad \text{м} \quad (3.15)$$

де:  $l_{\delta,o}$  - відстань між опорами поверхонь опри головки болта і гайки при товщині прокладки  $h_n = 2 \text{ мм}$ :

$$l_{\delta,o} = 2(h_{\phi} + h_n) \quad \text{мм}$$

$$l_{\delta,o} = 2(40 + 2) = 84 \text{ мм}$$

$$l_{\delta} = 84 + 0,28 \cdot 20 = 89,6 \text{ мм} \approx 90 \text{ мм} \approx 0,090 \text{ м}$$

Навантаження діючі фланець.

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$F_{\delta} = \frac{p_p \pi D_{\text{сн}}^2}{4} \quad \text{МН} \quad (3.16)$$

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

$$F_{\delta} = \frac{0,21 \cdot 3,14 \cdot 1,635^2}{4} = 0,4222 \text{ МН}$$

Реакція прокладки:

$$R_n = \pi D_{cn} \epsilon_{\delta} K_{np} p_p \quad \text{МН} \quad (3.17)$$

де  $K_{np}$  - коефіцієнт, для фторопласта – 4  $K_{np} = 2,5$  [19], , ст. 98;

$\epsilon_{\delta}$  - ефективна ширина прокладки;  $\epsilon_{\delta} = \epsilon = 15 \text{ мм}$  [19], ст.97;

$$R_n = 3,14 \cdot 1,635 \cdot 0,015 \cdot 2,5 \cdot 0,21 = 0,040 \text{ МН}$$

Зусилля, які виникають при температурній деформації:

$$F_t = \frac{y_{\delta} \cdot n_{\delta} \cdot f_{\delta} \cdot E_{\delta} (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_{\delta} \cdot t_{\delta})}{y_p + y_{\delta} + 0,5 \cdot y_{\phi} (D_{\delta} - D_{cn})^2} \quad \text{МН} \quad (3.18)$$

де  $\alpha_a, \alpha_{\delta}$  - відповідно коефіцієнт лінійного розширення матеріала фланців сталь 20 і болтів 35Х;  $\alpha_{\phi} = 12,0 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  і  $\alpha_{\delta} = 13,3 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  [19], табл.ХІ, ст.286;

$t_{\phi}$  - розрахункова температура не ізолюваного фланця  
 $t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 100 = 96^{\circ}\text{C}$  [19], табл.1.37, ст.92;

$t_{\delta}$  - розрахункова температура болтів  $t_{\delta} = 0,95t = 0,95 \cdot 100 = 95^{\circ}\text{C}$ ;

$y_{\delta}$  - лінійна податливість болтів;

$$y_{\delta} = \frac{l_{\delta}}{E_{\delta} \cdot f_{\delta} \cdot n_{\delta}} \quad \text{м/МН} \quad (3.19)$$

$$y_{\delta} = \frac{0,090}{1,9 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 60} = 33,6 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН}$$

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



де  $E_{\delta}$  - модуль пружності матеріалів болтів,  $E_{\delta} = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

$f_{\delta}$  - розрахункова площа поперечного перерізу болта  $f_{\delta} = 21,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$   
[19], ст.98;

$y_p$  - лінійна податливості прокладки:

$$y_p = \frac{k_n \cdot h_n}{E_n \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot \epsilon} \quad \text{м/МН} \quad (3.20)$$

$$y_n = \frac{1 \cdot 0,002}{2000 \cdot 3,14 \cdot 1,635 \cdot 0,015} = 12,98 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН}$$

де  $k_n$  - коефіцієнт обжаття прокладки;  $k_n = 1$  [19], ст.99;

$E_n$  - модуль пружності прокладки;  $E_n = 2000 \text{ МПа}$ ;

$y_{\phi}$  - кутова податливість фланця:

$$y_{\phi} = \frac{[1 - \nu(1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi}^1)] \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E} \quad 1/\text{МН} \cdot \text{м} \quad (3.21)$$

де:

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi}^1 (1 + \psi_{\phi}^1 \cdot h_{\phi}^2 / S_{\text{ок}}^2)} \quad (3.22)$$

де:  $\psi_1, \psi_2$  - коефіцієнти: 2.35

$$\psi_1 = \frac{1,28 \cdot l_{\delta} \cdot D_n}{D} = \frac{1,28 \cdot l_{\delta} \cdot 1720}{1550} = 0,04 \quad (3.23)$$

$$\psi_2 = \frac{D_n + D}{D_n - D} = \frac{1720 + 1550}{1720 - 1550} = 27,7$$

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

$$\lambda_{\phi}^1 = \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot S_{\text{эк}}}} = \frac{40}{\sqrt{1550 \cdot 8}} = 0,35 \quad (3.24)$$

Тоді , підставивши знайдені величини у формулу (2.22) отримаємо:

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,35(1 + 0,04 \cdot 0,04^2 / 0,008^2)} = 0,61$$

По формулі (2.21) визначаємо:

$$y_{\phi} = \frac{[1 - 0,61(1 + 0,9 \cdot 0,35)] \cdot 2,27}{0,004^3 \cdot 2 \cdot 1,91 \cdot 10^5} = 0,45 \text{ 1/МН} \cdot \text{м}$$

Підставивши всі відомі величини в формулу (2.18) визначимо:

$$F_t = \frac{33,6 \cdot 10^{-6} \cdot 60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,9 \cdot 10^5 (12 \cdot 10^{-6} \cdot 96 - 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 95)}{12,98 \cdot 10^{-6} \cdot 33,6 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 0,45(1,68 - 1,635)^2} = -0,020 \text{ МН}$$

При  $F_t < 0$  повинна виконуватися умова:

$$[\sigma]_{\phi} \cdot n_{\phi} \cdot f_{\phi} - |F_t| > F_{\phi 2} \quad (3.25)$$

Болтове навантаження в умовах монтажу:

$$F_{\phi 1} = \max \left\{ \begin{array}{l} K_{\text{жс}} \cdot F_{\phi} + R_n = 1,52 \cdot 0,4222 + 0,04 \text{ МН} \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{сс}} \cdot \sigma_{\phi} \cdot p_{\text{np}} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,535 \cdot 0,015 \cdot 10 = 0,385 \text{ МН} \end{array} \right\} = 0,68 \text{ МН} \quad (3.26)$$

де  $p_{\text{np}} = 10 \text{ МПа}$  - для прокладки з пароніта, [19], табл.144;

Болтове навантаження в робочих умовах:

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

$$F_{\delta 2} = F_{\delta 1} + (1 - K_{ж})F_{\delta} + F_t = 0,68 + (1 - 1,52)0,4222 + (-0,020) = 0,44 \text{ МН} \quad (3.28)$$

Провіримо чи виконується умова (3.21):

$$230 \cdot 60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} - |-0,02| = 3,223 \text{ МН} > 0,44 \text{ МН}$$

Умова (3.21) виконується.

Провіримо згинальний момент:

$$M_o = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5(D_{\delta} - D_{cn})F_{\delta 1} \\ 0,5[(D_{\delta} - D_{cn})F_{\delta 2} + (D_{cn} - D - S_{эж})F_{\delta}] \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \end{array} \right\} =$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 0,5(1,68 - 1,635)0,68 = 0,0153 \text{ МН} \cdot \text{м} \\ 0,5[(1,68 - 1,635) \cdot 0,44 + (1,635 - 1,6 - 0,008)0,4222] \frac{147}{142} = 0,016 \text{ МН} \cdot \text{м} \end{array} \right\} =$$

$$= 0,016 \text{ МН} \cdot \text{м} \quad (3.29)$$

де:  $[\sigma]_{20}, [\sigma]$  - нормативно допустимі напруги матеріала фланця при  $t = 20^{\circ}\text{C}$  і робочій температури відповідно  $[\sigma]_{20} = 147 \text{ МПа}$ ,  $[\sigma + 142 \text{ МПа}]$  [19], табл.11;

Перевірка міцності і герметичності з'єднання.

Умова міцності болтів при монтажі фланцевого з'єднання і в його робочім стані виконується:

$$\frac{F_{\delta 1}}{n_{\delta} \cdot f_{\delta}} \langle [\sigma]_{\delta, 20} \rangle \frac{0,68}{60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 48,23 \langle 230 \text{ МПа} \rangle \quad (3.30)$$

$$\frac{F_{\delta 2}}{n_{\delta} \cdot f_{\delta}} \langle [\sigma]_{\delta} \rangle ; \frac{0,44}{60 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 31,2 \langle 230 \text{ МПа} \rangle \quad (3.31)$$

де:  $[\sigma]_{\delta, 20}$  і  $[\sigma]_{\delta} = 230 \text{ МПа}$  - допустимі напруження для болтів з сталі 35Х при  $20^{\circ}\text{C}$  і робочій температурі відповідно.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Умова міцності прокладки виконується:

$$\frac{F_{\delta.\max}}{\pi \cdot D_{cn} \cdot e} \langle [p_{np}] \rangle \quad (3.32)$$

$$\frac{0,68}{3,14 \cdot 1,635 \cdot 0,015} = 8,82 \text{ МПа} \langle 40 \text{ МПа} \rangle$$

де:  $[p_{np}] = 40 \text{ МПа}$  [5], табл.1.44, табл.11;

$$F_{\delta.\max} \max\{F_{\delta 1}; F_{\delta 2}\} = \max\{0,68 \text{ МН}; 0,44 \text{ МН}\} = 0,68 \text{ МН}$$

Максимальне напруження в перерізі, обмеженим розміром  $S_0$ , з врахуванням формул:

$$\sigma_0 = f_{\phi} \cdot \sigma_1 = \frac{f_{\phi} \cdot T_{\phi} \cdot M_0}{D^* (S_1 - c)^2} \quad \text{МПа} \quad (3.33)$$

так як у плоского привареного фланця втулка циліндрична  $S_1 = S_0$ ,  $f_{\phi} = 1$ , так як  $S_1 / S_0 = 1$  [19], табл. 1.42,  $D^* = D = 1,55m$ , так як  $D > 20S_0$  ( $1,6m > 20 \cdot 0,008 = 0,16m$ );

$$T_{\phi} = \frac{D_n^2 \left[ 1 + 8,55l_{\phi} \left( \frac{D_n}{D} \right) \right] - D^2}{(1,05D^2 + 1,94D_n^2) \left( \frac{D_n}{D} - 1 \right)} \quad (3.34)$$

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

$$T_{\phi} = \frac{1,72^2 \left[ 1 + 8,55 l_0 \left( \frac{1,72}{1,55} \right) \right] - 1,55^2}{(1,05 \cdot 1,55^2 + 1,945 \cdot 1,72^2) \left( \frac{1,721}{1,55} - 1 \right)} = 1,88$$

Тоді по формулі (3.32) визначаємо:

$$\sigma_{\circ} = \frac{1 \cdot 1,88 \cdot 0,016 \cdot 1,61}{1,55(0,008 - 0,001)^2} = 234 \text{ МПа}$$

Напруження у втулці від внутрішнього тиску:

тангенціальне:

$$\sigma_t = \frac{p_p D}{2(S_{\circ} - c)} = \frac{0,21 \cdot 1,55}{2(0,008 - 0,001)} = 24 \text{ МПа} \quad (3.35)$$

меридіольне:

$$\sigma_m = \frac{p_p D}{4(S_{\circ} - c)} = \frac{0,21 \cdot 1,55}{4(0,008 - 0,001)} = 12 \text{ МПа} \quad (3.36)$$

Умова міцності для перерізу обмеженого розміром  $S_{\circ} + 8 \text{ мм}$  виконується:

$$\sqrt{(\sigma_{\circ} + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_{\circ} + \sigma_m) \cdot \sigma_t \langle \phi[\sigma_{\circ}] \rangle \quad (3.37)$$

$$\sqrt{(234+12)^2 + 24^2} - (234+12) \cdot 24 = 234 \text{ МПа} \langle 0,9537 \rangle = 515,7 \text{ МПа}$$

де:  $[\sigma]_{\circ} = 0,003E = 0,003 \cdot 1,91 \cdot 10^5 = 537 \text{ МПа}$  - для сталі 20 в перерізі  $S_{\circ}$  при  $p_p = 0,21 \text{ МПа}$  ;

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

Кругова напруга в кільці фланця по формулі:

$$\sigma_{\kappa} = \frac{M \circ [1 - \nu(1 + 0,9\lambda_{\phi}^2)] \nu_2}{Dh_{\phi}^2} \quad \text{МПа} \quad (3.38)$$

$$\sigma_{\kappa} = \frac{0,016[1 - 0,61(1 + 0,9 \cdot 0,35)]27,7}{1,55 \cdot 0,04^2} = 34,2 \text{ МПа}$$

Умова герметичності фланцевого з'єднання виконується:

$$\theta = (\sigma_{\kappa} / E)(D/h_{\phi})[\theta] \quad \text{рад}$$

$$\theta = (34,2/1,91 \cdot 10^5)(1,55/0,04) = 7,16 \cdot 10^{-3} < 0,013 \text{ рад} \quad (3.39)$$

де:  $[\theta]$  - допустимий кут повороту плоского фланця ,  $[\theta] = 0,013 \text{ рад}$  [19], ст.102.

### 3.3 Розрахунок опори апарата [7]

Вертикальні апарати встановлюють на стійках: при відношенні  $H/D > 5 \left( \frac{225000}{1600} = 14,1 \right)$  апарати встановлюють на так звані бічні опри (циліндричні або конічні). Висота циліндричної опори повинна бути не менше 600 мм.

Підбір опори здійснюємо при мінімальному, максимальному навантаженні на опори.

Мінімальне приведенне навантаження – сила від ваги порожнього апарату

$$Q_{min} = (M_k + M_m) \cdot g \quad (3.40)$$

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

де  $M_k$  – маса колони, кг;

$M_T$  – маса тарілок, кг.

$$M_k = (V_u + 2V_d) \cdot \rho \quad (3.41)$$

де  $\rho$  – густина матеріалу колони;

$V_u$  – об'єм циліндричної частина колони;

$V_d$  – об'єм днища/кришки.

$$V_u = S_u H_u \quad (3.42)$$

де  $S_u$  – площа поперечного перерізу обичайки;

$H_u$  – висота циліндричної частини.

$$V_u = \pi H_u (D + 2S) S = 3,14 \cdot 19,4 (1,6 + 2 \cdot 0,06) 0,06 = 6,28 \text{ м}^3 \quad (3.43)$$

$$V_d = \pi \left[ (H_g + S_1)^2 \left( R + S_1 - \frac{H_g + S_1}{3} \right) - H_g^2 \left( R - \frac{H_g}{3} \right) \right] \quad (3.44)$$

$$\begin{aligned} V_d &= 3,14 \left[ (0,3 + 0,006)^2 \left( 1,6 + 0,006 - \frac{0,3 + 0,006}{3} \right) - 0,3^2 \left( 1,6 - \frac{0,3}{3} \right) \right] = \\ &= 0,0271 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

$$M_k = (6,28 + 2 \cdot 0,0271) \cdot 7850 = 49723,5 \text{ кг}$$

$$M_m = m_m \cdot n \quad (3.45)$$

де  $m_T$  – маса тарелки,  $m_T = 68,6$  кг

$$M_m = 30 \cdot 68,6 = 2058 \text{ кг}$$

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

$$Q_{min} = (49723,5 + 2058) \cdot 9,81 = 507976,52 \text{ H}$$

$$Q_{min} = 0,51 \text{ MN}$$

Максимальне приведенне навантаження – з врахуванням ваги рідини

$$M_p = V_p \cdot \rho_p \quad (3.46)$$

$$V_p = 0,785D^2 \cdot H_u + \pi H_\delta^2 \left( R - \frac{H_\delta}{3} \right) \quad (3.47)$$

$$V_p = 0,785 \cdot 1,6^2 \cdot 19,4 + 3,14 \cdot 0,3^2 \left( 1,6 - \frac{0,3}{3} \right) = 21,83 \text{ м}^3$$

$$M_p = 21,83 \cdot 1000 = 21833 \text{ кг}$$

$$Q_{max} = (Q_{min} + M_p) \cdot g \quad (3.48)$$

$$Q_{max} = (51781,5 + 22300) \cdot 9,81 = 726739,52 \text{ H} = 0,727 \text{ MN}$$

Тоді по даним таблиць для  $Q_{min}$  до 0,111 MN і  $Q_{max}$  до 1,47 MN вибираємо циліндричну опору.

Перевіримо міцність зварного з'єднання в місцях з'єднання корпусу з обичайною опори

$$\sigma = \frac{Q_{max}}{\pi D a_1} \leq \varphi \cdot \min\{[\sigma]_o; [\sigma]_к\} \quad (3.49)$$

де  $a_1$  – розрахункова товщина зварного шва;  $a_1=7$  мм;

$[\sigma]_o, [\sigma]_к$  - допустиме навантаження для матеріалу опори і колони;

$\varphi$  - коефіцієнт міцності зварного шва,.

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



$[\sigma]_o = 136 \text{ МПа}$  для сталі В. Ст. 3,  $\text{см}^3$

$[\sigma]_к = 155 \text{ МПа}$  для сталі 12Х18Н10Т.

$\varphi = 0,7$

$$\sigma = \frac{726739,52}{3,14 \cdot 1,6 \cdot 0,007} = 20,6 \text{ МПа} \leq 0,7 \cdot 136 = 95,2 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

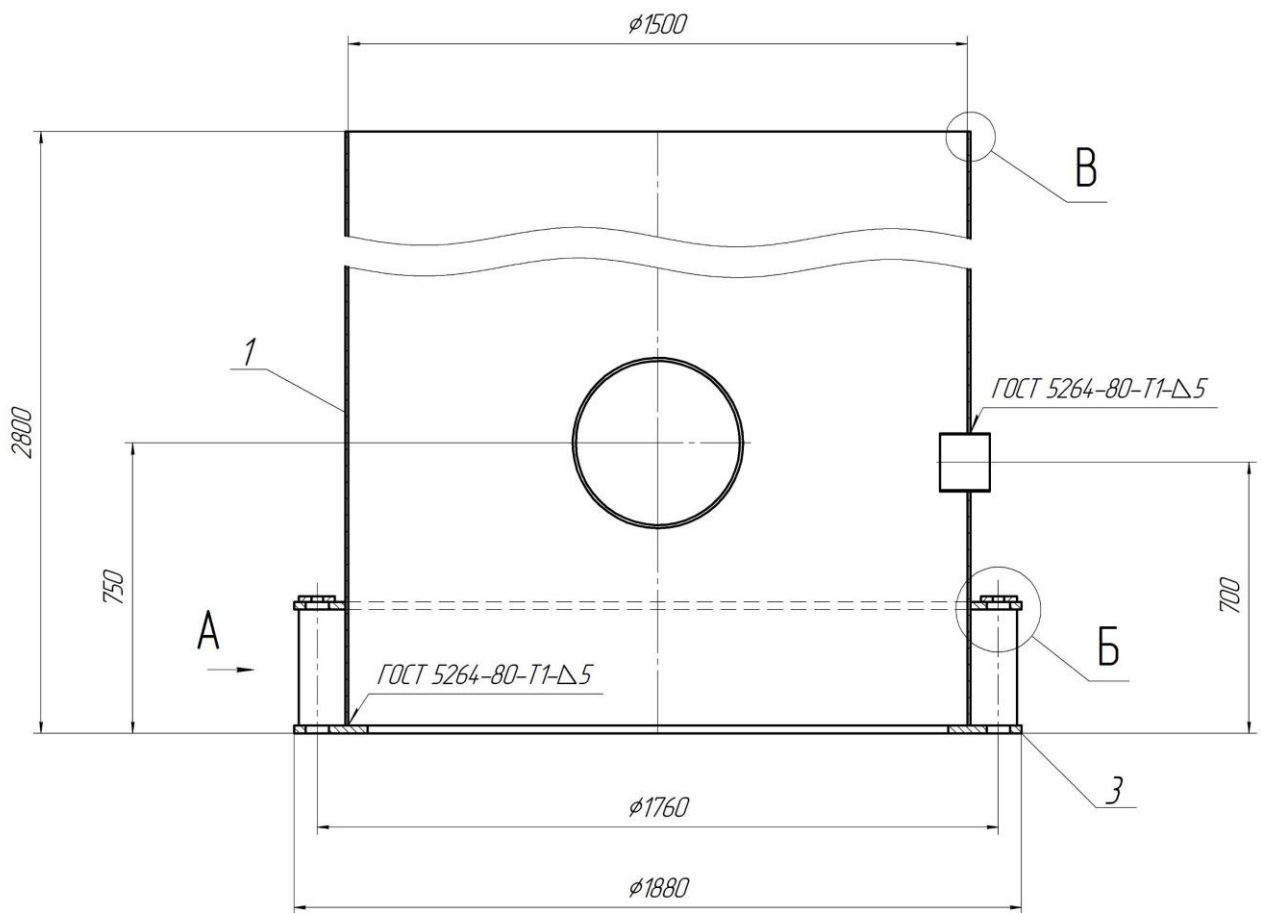


Рисунок 3.3 - Опора

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

## 4 Монтаж та ремонт апарата [9]

### 4.1 Монтаж розробленого апарата

Браго ректифікаційні установки розміщуються всередині будівлі, компоновка й розміри приміщення залежать б основному від кількості колон і продуктивності установки. Установку розміщують б ізольованому кам'яному приміщенні до якого примикає сходова клітка.

По висоті будівля займає не менше чотирьох поверхів. На нижньому поверсі розташовують фундаменти під бражку та ректифікаційні колони, а також нижні частини колон, регулятори підведення барди й лютеру або гідрозатвори, насоси для передачі бражки й лютерної води проміжні збірники лютерної води й барди.

На другому поверсі знаходиться робоче місце апаратника де зосереджено всі контрольно-вимірювальні та регулювальні прилади, допоміжне обладнання БРУ (ліхтарі, вакуум-переробники, пробні холодильники, колектори води, контр. снаряди та інше).

Третій поверх може мати холодильники для спирту та других побічних продуктів I ефірно-альдегідної й сивушної фракції).

Четвертий поверх займає теплообмінна апаратура підігрівачі бражки, дефлегматори, конденсатори, спиртоловушки, піноловушки бражної колони, сепаратори CO<sub>2</sub> також тут розміщені напірний збірник лютерної води, спирту-сирцю верхні вакуум-перервачі.

При компоновці обладнання необхідно враховувати в першу чергу зручність обслуговування; довжина трубопроводів повинна бути мінімальною.

Після монтажу брагоректифікаційна установка підлягає перебірці та випробуванню на герметичність як по окремим елементах, так і в цілому.

Особливо ретельно повинен бути виконаний монтаж (уплотнювання) елементів установки, так як виявити щільність в них досить складно.

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

Після монтажу та гідравлічного або пневматичного випробування проводиться підготовка установки до запуску. Приміщення цеху ретельно прибирають; з цеху видаляють сторонні предмети та все обладнання для гідравлічного та пневматичного випробування, окрім інструментів; проводять маркеровку запірної апаратури на колекторі пари та води, пробних холодильників контрольно-вимірювальних приборів, ліхтарів. Контрольно-вимірювальні прибори (б тому числі і контрольні снаряди для спирту перевіряють і тарують.

В процесі роботи в брагоректифікаційній установці можливі різні неполадки та вихід з ладу деталей та вузлів. В процесі ремонту брагоректифікаційну установку спочатку оглядають, визначають стан і ступінь неполадки.

## 4.2 Ремонт апарата

Головною частиною установка є три колони (бражка епюраційна і ректифікаційна, які час від часу виходять з ладу. В процесі ремонту колон спочатку їх оглядають, вивчають стан корпусу, тарілок, стаканів, стійок. В корпусі можуть бути різного виду тріщини, вм'ятини. Такі пошкодження можуть бути не лише в колонах, також вони можуть бути і в інших апаратах та обладнанні, яке входить до складу брагоректифікаційної установки, в таких наприклад як конденсаторах, кип'ятильниках, дефлегматорах, підігрівачах бражки і інші.

Вм'ятини виправляють ударами кувалди по мідній підкладці, яку один з робітників пересуває по краях пошкодженої ділянки, поступово наближаючись до центру. При цьому місце виправлення перед правкою прогрівають. Тріщини в корпусі або зварному шві, які виникають в наслідок спрацювання металу чи порушення температурного режиму в обладнанні, заварюють газозварюванням. Якщо тріщина займає велику ділянку (більше 150 міліметрів), або пошкодження являє собою ряд близько розташованих тріщин, то на пошкоджене місце кладуть заплату, яку вирізають з такого ж матеріалу що і корпус обладнання, яке ремонтується.

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

Розмір заплат повинен перевищувати пошкоджену ділянку на 100... 150 міліметрів. Так як корпуса обладнання в брагоректифікаційній установці в більшості мають циліндричну поверхню, то і заплату, що вирізають газовим різачком вичиняють по формі відповідного циліндра.

Кромки заплати опилують напилником або зачищають наждачним кругом.

Незначні викривлення технологічних патрубків невеликого діаметра (до 25 міліметрів) усувають невеликим ломиком, який використовують як важиль. Потім перевіряють, чи не утворилися в зварювальних швах патрубка тріщини.

Пошкоджені штуцери вирізають із корпуса різачком, краї отвору обжимають. Новий штуцер вставляють в отвір, повертаючи взаємно штуцер і трубопровід, домагаються щільного прилягання фланців і співпадання отворів, потім штуцер приєднують в трьох - чотирьох місцях точковим зварюванням, трубопровід відводять в сторону, а штуцер повністю приварюють до корпусу.

При роботі колон можливе спрацювання або переніс тарілок Це призводить до зниження коефіцієнта корисної дії тарілок. Потрібно добре оглянути і відремонтувати тарілки, очистити їх від бруду, накипу, усунути їх перекіс або переніс коти. Зливні стакани виготовляють із ділянок труб і закріплюють газозварюванням. Ремонт фланців на обладнанні брагоректифікаційної установки проводиться по двом основним причинам пошкодження поверхні в результаті пробивання прокладки і стираючої дії струменя продукту, а також пошкодження поверхні при роз'єднанні, коли для цього застосовують зубило. Ремонт заключається в усуненні порушеної герметичності в наслідок спрацювання прокладок, послаблення фланцевих з'єднань, спрацювання різьби, шпильок. Після розбирання поверхонь з'єднань проводять очищення від бруду, старої прокладки і слідів корозії, перевіряють паралельність фланців, підбирають прокладку і знову збирають, шпильки затягують рівномірно. В якості прокладок використовують пароніт. Збирання з'єднань проводять вільно, без підгонки і значних зусиль. Спрацюванню підлягає ущільнюючий матеріал - гумові або паронітові прокладки. Ущільнювачі необхідно замінити на нові.

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

## 5 Охорона праці [11]

Брагоректифікаційне відділення не є джерелом підвищеного шуму та вібрації, але, разом з тим, деяка частина допоміжного обладнання є джерелом шуму і вібрації. Найбільші з них - це насоси, бардорегулятор, піногасник. Все це допоміжне обладнання розміщене всередині приміщення. Крім того, конденсатори є джерелом газовиділення; підігрівники бражки є джерелом незначного тепловиділення; все обладнання, що оснащено електроприводами є джерелом електробезпеки.

Зменшення шуму та вібрації досягається встановленням обладнання на віброоснови; для запобігання газовиділення корпуси та газовідвідні труби ретельно ізолюються; все електрообладнання заземляється.

Для підвищення працездатності та збереження здоров'я робітників важливо створити стабільні метеорологічні умови за ГОСТ 12.0.005-84 ССБТ. В поняття метеорологічні умови повітряного середовища входять: температура повітря; відносна вологість; швидкість руху повітря; інтенсивність теплового опромінення.

Нормальне самопочуття людини під час виконання будь-якої роботи може бути досягнуто за певної комбінації цих параметрів. Значення параметрів, які забезпечують найкраще самопочуття і найвищу працездатність людини, вважають оптимальними нормами мікроклімату.

Норми мікроклімату встановлюються в залежності від періоду року та категорії робіт. Періоди року поділяються на теплий і холодний (середньодобова температура  $> +10^{\circ}\text{C}$  та  $< -10^{\circ}\text{C}$  відповідно до сезону). Службу охорони праці на підприємстві очолює інженер з охорони праці та техніки безпеки, який призначений директором підприємства. Служба техніки безпеки підпорядкована головному інженеру службою охорони праці на підприємстві розроблено організаційно-технічні заходи по охороні праці, які включають заходи по запобіганню нещасних випадків і профзахворювань на виробництві і по загальному поліпшенню умов праці.

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

Служба охорони праці на підприємстві здійснює постійний контроль за додержанням працівниками технологічних процесів, правил поводження з машинами, механізмами та устаткуванням, виконанням робіт у відповідності до вимог щодо охорони праці.

В цехах та робочих місцях вивішені "Інструкції з техніки безпеки"

Санітарні умови праці на виробництві

Етиловий спирт - прозора, безкольорова ЛЗР густиною 0,79 кг/дм<sup>3</sup>, легкозаймиста речовина. При попаданні в організм викликає наркотичне отруєння. Пари спирту теж шкідливі для організму людини. ГДК у повітрі робочої зони для парів етилового спирту - 1000 мг/м<sup>3</sup>, токсична концентрація - 16 г/м<sup>3</sup>, при якій можлива смерть.

Таблиця 5.1 Санітарні умови у брагоректифікаційному відділенні

Найменування професій	Шкідливості у повітрі робочої зони			Група виробничих процесів за СНиП	Санітарна характеристика виробничого процесу
	Найменування	Клас небезпеки за ГОСТ	Величина ГДК, мг/м		
Апаратник перегонки і ректифікації спирту	Спирт етиловий	<b>IV</b>	<b>1000</b>	<b>IV</b>	Процеси, які спричиняють забруднення речовинами 3 і 4 класів небезпеки тіла і спецодягу, що видаляється із

Мікроклімат виробничого приміщення.

Мікроклімат, або метрологічні умови виробничих приміщень, визначаються такими параметрами: температурою повітря в приміщенні, відносною вологістю повітря, рухливістю повітря тощо.

Згідно з ГОСТ 21.1.005-88 ССБТ "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны" мікрокліматичні умови подані у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 Норми мікрокліматичних параметрів в повітрі робочої зони

Найменування	Катег	Холодний період року						Теплий період року					
		Температура,		Відносна вологість,		Швидкість		Температура, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		мін	макс	мін	макс	Допустима, не більше	Допустима, не більше	мін	макс	мін	макс	Допустима, не більше	Допустима, не більше
Апаратник перегонки і ректифікації спирту	Па	18-20	17-23	40-60	75	0,2	0,3	21-23	27-30	40-60	75	0,3	0,4

### Загазованість повітря

Нормативи щодо забезпечення санітарно-побутовими приміщеннями та обладнанням підприємств лікєро-горілкової галузі (Згідно з ГОСТ 21.1.005-88 ССБТ "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны").

### Освітлення виробничих приміщень

У цеху БР застосовується природне і штучне освітлення. Допустиме значення освітленості за СНиП II-4-79 тут – 0.8%, а виміряне – 0.4% .

Штучне освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп типу ЛСП-18. Основними недоліками цих ламп є: складність схеми вмикання; обмежена одинична потужність і великі розміри при даній потужності; залежність характеристик ламп від температури навколишнього середовища і напруження мережі живлення; шкідливі для зору пульсації світлового потоку при живленні лампи змінним струмом, які можливо виправити вмиканням ламп у протифазі або за допомогою спеціальних схем вмикання.

Але люмінесцентні лампи мають ряд істотних переваг: висока світлова віддача, яка досягає 76 лм/Вт; великий термін служби; можливість мати різний спектральний склад світла; незначний нагрів поверхні трубки, тощо.

Для загального освітлення освітлювальна арматура розміщується у верхній зоні приміщення. Вмикання освітлення здійснюється із щита освітлення. Цей щит монтується на висоті 1,2 м. від рівня підлоги. Також на заводі передбачено і аварійне освітлення.

#### Шум і вібрація, методи боротьби

У приміщенні, де розташована БК, утворюється шум та вібрація від роботи основного технологічного обладнання, а також від роботи інших допоміжних механізмів. За ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ та ГОСТ 12.1.012-90 рівень шуму тут повинен складати 80, а фактично є 83. Заходи по боротьбі з шумом і вібраціями можна розділити на дві основні групи: організаційні і технічні.

Основними організаційними заходами є:

- мінімальні динамічні навантаження, правильний монтаж обладнання;
- правильна експлуатація обладнання, своєчасне проведення ремонтів;
- проведення санітарно-профілактичних заходів (раціональні режими праці і відпочинку, профогляди та ін.) для працюючих.

До основних технічних заходів відносять: використання основ і фундаментів, що відповідають динамічному навантаженню обладнання;

- ізоляція фундаментів від несучих конструкцій і технологічних комунікацій;
- теплоізоляція трубопроводів.

Головними напрямками боротьби з шумом є його послаблення або ліквідація безпосередньо в джерелі утворення.

Розрахунок системи штучної вентиляції апаратного відділення

Однією з необхідних умов здорової й високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря в робочих приміщеннях. Концентрація шкідливих

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



речовин у виробничій зоні та час їх впливу є вирішальними факторами в забезпеченні безпеки праці.

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.

Технічні засоби профілактики виробничих шкідливостей являють собою різні види вентиляції, засновані на видаленні із приміщення забрудненого повітря (витяжна вентиляція) і уведення замість його чистого, найчастіше спеціально обробленого (приточна вентиляція).

Будь-яка механічна вентиляція складається з витяжної та всмоктувальної систем, кожна з яких включає наступні елементи [41]:

- повітрязаборні пристрою;
- пристрої для обробки повітря;
- вентилятор з електродвигуном;
- повітроводи;
- викидні отвору.

Повітрязаборні пристрої витяжної вентиляції виконуються у вигляді відкритих, напівзакритих і зовсім закритих відсосів. Головна увага при устрої відсосів приділяється двом факторам - найбільш повному покриттю місця виділення шкідливих речовин і розташуванню відсосів у повній відповідності із природним напрямком руху парів і газів. Повітроприймальний отвір приточної вентиляції влаштовується в прорізі зовнішньої стіни або у вигляді спеціальної повітрязаборної шахти з жалюзійними ґратами на висоті 2-3 м від місця викиду забрудненого повітря.

Вентилятор переміщує повітря шляхом створення різниці тисків, необхідної для подолання сил тертя. За характером руху повітря вентилятори поділяються на осьові й відцентрові [41]. У відцентрових вентиляторах повітря під дією відцентрової сили міняє напрямок руху в кожусі вентилятора на перпендикулярне. Такі вентилятори більше продуктивні.

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

Повітроводи призначені для переміщення повітря від місця забору до приміщення або місця викиду, а також для розподілу повітря по приміщенню.

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:

$$\bar{K} = \frac{V_{\text{вент}}}{V_{\text{пом}}}, \quad (5.1)$$

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:

$$V_{\text{вент}} = \frac{G}{K_2 - K_1}, \quad (5.2)$$

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.

Кількість парів, що виділяються, визначається за формулою:

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

$$G = \frac{K \cdot \gamma}{K_{\text{вых}} - K_{\text{пр}}}, \quad (5.3)$$

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>;

$K_{\text{вых}}$  – 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> [4]. Виходить,  $K_{\text{пр}} = 0,3$  мг/м<sup>3</sup>.

$$G = \frac{3,1 \cdot 1,2}{1,15 - 0,3} = 4,4 \text{ кг} / \text{годину},$$

Приймаємо, що концентрація етилового спирту в зовнішньому повітрі дорівнює  $K_{\text{пр}} = 0,3$  мг/м<sup>3</sup>.

$$V_{\text{вент}} = \frac{4,4 \cdot 10^6 \text{ мг} / \text{час}}{1000 - 300 \text{ мг} / \text{м}^3} = 6285,7 \text{ м}^3 / \text{годину},$$

Обсяг приміщення виходячи з його геометричних розмірів дорівнює:

$$V_{\text{ном}} = a \cdot b \cdot c, \quad (5.4)$$

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

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 [11]. Розрахункова продуктивність для систем місцевих відсосів збільшується на 10 %.

$$V_{расч} = 1,1 \cdot 6285,7 = 6914,3 m^3 / час,$$

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.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

В проекті розраховано і розроблено бражну колону з ситчатими тарілками у виробництві біоетанолу, визначені конструктивні розміри апарата

В технологічній приведені: опис технологічної схеми виробництва біоетанолу, теоретичні основи процесу та опис об'єкта розроблення і вибір основних конструкційних матеріалів.

У проектно-конструкторській частині апарат розрахований на міцність, визначені товщина стінки, розраховано фланцеве з'єднання і опора.

Проведені розрахунки на міцність, жорсткість и герметичність, які підтверджують доцільність прийнятих технічних і конструктивних рішень.

					ПОХНВ.Р.00.00.00.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список літератури

1. Технологія спирту / В.О. Маринченко, В.А.Ломарецький, П.Л.Шпян, В.М. Швець, П.С Цыганков, І.Л. Жолнер. - Вінниця: "Поділля-2000", 2003 - 496с. .
2. Цыганков П.С. Ректификационные установки спиртовой ромышленности. – М.: Легкая и пищевая ромышленность,1984 –336с.
3. Ильинич В.В., Устинников Б.А., Бучурин И.И , Громов С.И.Технология спирта и спиртпродуктов – М.: ВО Агропромиздат, 1987.—333с.
4. Михалев М.Ф., Третьяков Н.П., Мильченко А. И., Зобнин В.В. Расчет конструктирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи – Л.: Машиностроение, 1984 – 301 с.
5. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов – Л.: Химия, 1981 – 560 с.
6. Попов В.И. Примеры расчетов по курсу технологического оборудования предприятий бродильной ромышленности.– М.: Пищевая ромышленность, 1968.
7. Лунин О.Г., ВельтешевВ.Н. Теплообменные аппараты пищевых производств. Москва ВО"Агропромиздат",1987. -310с.
8. Грязнов В.П. Практическое руководство по ретификации спирта.- М.:Пищевая ромышленность,1968.-298с.
9. Лазарев И.А. Ремонт и монтаж оборудования предприятий пищевой ромышленности. – М.: Легкая и пищевая ромышленность, 1981.
10. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. 2-е изд., перераб. — М.- 1980. — 312 с, ил.
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		78