

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

## Кваліфікаційна робота магістра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"  
освітня програма "Обладнання хімічних виробництв  
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Брагоректифікаційне відділення виробництва харчового етилового спирту з меляси. Розробити та модернізувати епюраційну колону

Виконав:

студент групи ХМ.м-91

Ставичний Денис Ігорович

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота магістра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викладач

Острога Руслан Олексійович

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 99 с., 20 рис., 6 табл., 1 додаток, 20 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема брагоректифікаційної установки, схема автоматизації епюраційного відділення, монтажне креслення епюраційного відділення, складальне креслення епюраційної колони, віртуальна модель епюраційного відділення та епюраційної колони – усього 6 аркушів графічної частини (5,5×А1).

Тема кваліфікаційної роботи «Брагоректифікаційне відділення виробництва харчового етилового спирту з меляси. Розробити та модернізувати епюраційну колону».

У роботі проведено аналіз літературних джерел, а саме обґрунтовано вибір технологічної схеми виробництва харчового етилового спирту, наведено теоретичні основи процесу ректифікації спирту з бражного дистиляту. Виконані технологічні та конструктивні розрахунки проєктованого апарату. Проведені розрахунки апарату на міцність та герметичність, що підтверджують працездатність і надійність роботи колони. Розроблено схему автоматизації технологічного процесу з використанням сучасних контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації. Подано аналіз потенційних небезпек і шкідливостей, що виникають при експлуатації обладнання в епюраційному відділенні брагоректифікаційної установки, запропоновані заходи щодо їх усунення. Виконано розрахунок системи вентиляції.

Ключові слова: БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНА УСТАНОВКА, ЕТИЛОВИЙ СПИРТ, БРАЖКА, МЕЛЯСА, ЕПЮРАЦІЙНА КОЛОНА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВЕНТИЛЯЦІЯ.

## ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМАТИКОЮ РОБОТИ	8
1.1 Обґрунтування вибору технологічної схеми виробництва	8
1.2 Новизна проектною розробки та її економічна доцільність	15
1.3 Пристрій і принцип дії проєктованого апарата	17
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	20
2.1 Опис технологічної схеми виробництва	20
2.2 Теоретичні основи процесу	23
2.3 Технологічні розрахунки	31
2.4 Конструктивні розрахунки	46
2.5 Визначення гідравлічного опору апарата	53
2.6 Вибір допоміжного обладнання	56
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	61
3.1 Вибір конструкційних матеріалів	61
3.2 Розрахунки апарата на міцність, стійкість та герметичність	63
4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА	66
4.1 Обґрунтування компонування обладнання установки	66
4.2 Монтаж та ремонт основного технологічного обладнання	70
5 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ	77
5.1 Вибір і обґрунтування параметрів контролю і регулювання	83
5.2 Вибір і обґрунтування технічних засобів автоматизації	85
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	87
6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей під час роботи установки	87

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>										
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Епюраційна колона Пояснювальна записка					Літ.	Лист	Листів			
Розроб.	Ставичний									к	р	м	4	99	
Перев.	Острога									СумДУ, ХМ.м-91					
Т.контр.															
Н. контр.															
Затв.	Склабінський														

6.2 Розрахунок системи вентиляції	92
ВИСНОВКИ	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	98
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

Останнім часом у промисловості все більшого поширення набувають установки з епюрацією бражки (брагоректифікаційні установки побічно-прямоточної дії), з боковим відводом двох сортів ректифікованого спирту, з направленим виділенням домішок в епюраційні колони і концентруванням головної фракції етилового спирту. Перераховані брагоректифікаційні установки, у порівнянні з установками побічної дії, сприяють [1]:

- підвищенню якості готового продукту;
- збільшенню виходу продукту;
- зниженню витрати пари на перегонку бражки і ректифікацію спирту;
- зростання продуктивності праці.

У спиртовій галузі промисловості, у якості типових, прийняті брагоректифікаційні установки побічної дії. Технологічний процес у них заснований на послідовності перетікання рідинного потоку з колони в колону і супроводжується наступними операціями [1]:

- у бражній колоні – перегонка бражки і отримання спирту-сирцю (бражного дистиляту);
- в епюраційній колоні – епюрація спирту-сирцю, концентрування і виділення з нього головних домішок;
- у ректифікаційній колоні – зміцнення і пастеризація спирту, виведення компонентів сивушного масла із зон їх концентрування;
- в колоні остаточного очищення – повторне очищення ректифікованого спирту.

Окрім ректифікованого спирту, головної фракції і сивушного масла при перегонці бражки і ректифікації спирту утворюються барда і лютерна вода, що є відходами спиртового виробництва, а також напівпродукти ректифікації – непастеризований і сивушний спирти, які відбираються і направляються на повторне очищення [1].

									Лист
									6
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ				

Дана магістерська робота має елементи науково-практичної новизни та є самостійною працею, яку виконано у відповідності до методичних вказівок [9]. У даній кваліфікаційній роботі застосовувалися методи математичного моделювання, а розрахунки та узагальнення одержаних результатів проводилися із використанням комп'ютерних прикладних програм.

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		7







водно-спиртовими парами бражної колони. Процес епюрації бражки є загальновідомим технологічним прийомом брагоректифікації і заснований на виділенні домішок, супутніх етанолу, безпосередньо з бражки тобто з середовища слабких водно-спиртових розчинів, в яких їх відносна летючість вище летючості етилового спирту.

При відборі з бражної колони 60–80 % спирту, що міститься у вихідній бражці, в бражний дистилят переходять практично всі домішки, крім метанолу. Це дозволяє використовувати інші 20–40 % етанолу у вигляді епюрованих водно-спиртових парів для обігріву епюраційної колони. Окрім того, паровий потік, що вводиться в епюраційну колону, витрачається для обігріву не тільки спирту, що міститься у вихідній бражці, а спирту, що надійшов в колону з бражним дистилятом, тобто питома витрата пари на процес епюрації за схемою побічно-прямоточної дії в 1,2–1,6 рази вища, ніж за схемою побічної дії. Це сприяє отриманню епюрату, а, отже, і ректифікованого спирту підвищеної якості.

Переведення брагоректифікаційної установки зі схеми непрямой дії на схему побічно-прямоточної дії може бути здійснений на будь-якому з спиртових заводів із незначними капітальними витратами. Для організації зазначеної технології бражну колону необхідно дообладнати циліндричною або конічною обичайкою з патрубком для відводу епюрованих водно-спиртових парів і трьома 4–5-тарілчастими царгами, з яких дві царги призначені для епюрації бражки і одна (верхня) – для уловлювання частинок бражки з метою запобігання їх винесення.

У виварній камері епюраційної колони, в паровий її простір, необхідна вирізка патрубка для введення епюраційних парів. Патрубки в обичайці і в виварній камері епюраційної колони через піноловушку з'єднуються трубопроводом епюрованих водно-спиртових парів. Верхні 3–4 тарілки царги бражної колони використовуються для роботи в режимі «сухих тарілок», для чого з їх зливних пристроїв знімаються переливні воронки.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		10

Для регулювання величини відбору спирту, який надходить з паровим потоком в підігрівач бражки, на трубопроводі водно-спиртових парів перед підігрівачем бражки і піноловушкою встановлюють дві шиберні засувки, одна з яких, розташована на трубопроводі епюрованих водно-спиртових парів, повинна бути в процесі роботи установки відкрита повністю, а друга, розташована перед підігрівачем бражки, відкрита на 8–10 оборотів.

В установках продуктивністю 3000 і 6000 дал/добу, що мають 25 тарілок, для епюрації бражки використовуються існуючі тарілки колони і колона дооснащується тільки піноуловлювальною царгою і розмежувальною циліндричною обичайкою з патрубком для відводу епюрованих парів.

При установці царг для епюрації бражки зливні стакани нижньої царги повинні бути нарощено на висоту нижче розташованої обичайки з зануренням їх в рідку фазу верхньої тарілки виварної частини бражної колони. При обігріві епюраційної колони епюрованими водно-спиртовими парами бражної колони гостра пара в епюраційну колону не подається.

Робота установки здійснюється наступним чином. Бражка, нагріта в підігрівачі водно-спиртовими парами, які надходять з бражної колони, до 70–75°C, направляється в сепаратор, звільняється в ньому від діоксиду вуглецю і надходить на верхню тарілку епюраційної частини бражної колони. Виділені при епюрації бражки водно-спиртові пари з домішками етилового спирту послідовно проходять через бражні і водяну секції підігрівача бражки і конденсатор бражної колони, де вони конденсуються і спільно з дистилятом з конденсатора CO<sub>2</sub> через збірний колектор бражного дистиляту надходять на тарілку живлення епюраційної колони.

Бражка, звільнена при епюрації від основної маси домішок спирту, з епюраційної частини бражної колони переходить в виварну її частину, на тарілках якої з неї повністю відганяється спирт. Епюровані водно-спиртові пари з циліндричної обичайки, розташованої над верхньою тарілкою виварної частини бражної колони, через піноловушку надходять в виварну камеру епюраційної колони. Відведення барди здійснюється через бардорегулятор.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		11

З епюраційної колони спиртові пари, що містять головні домішки, надходять в дефлегматор і конденсатор. Погони з дефлегматора і частково з конденсатора у вигляді флегми повертаються на верхню тарілку колони. Відбір головної фракції проводиться з конденсатора.

Очищення спирту від метанолу, що надійшов в епюраційну колону з епюрованими водно-спиртовими парами, відбувається в ректифікаційній колоні, яка має розвинену зону пастеризації, що досягається установкою над гребінкою відбору спирту 1–2 5–8-тарілчастих царг. Відбір ректифікованого спирту при цьому відбувається з 14–16-ї (рахуючи зверху) тарілок колони. В іншому робота ректифікаційної колони і установки в цілому аналогічна роботі брагоректифікаційної установки непрямої дії.

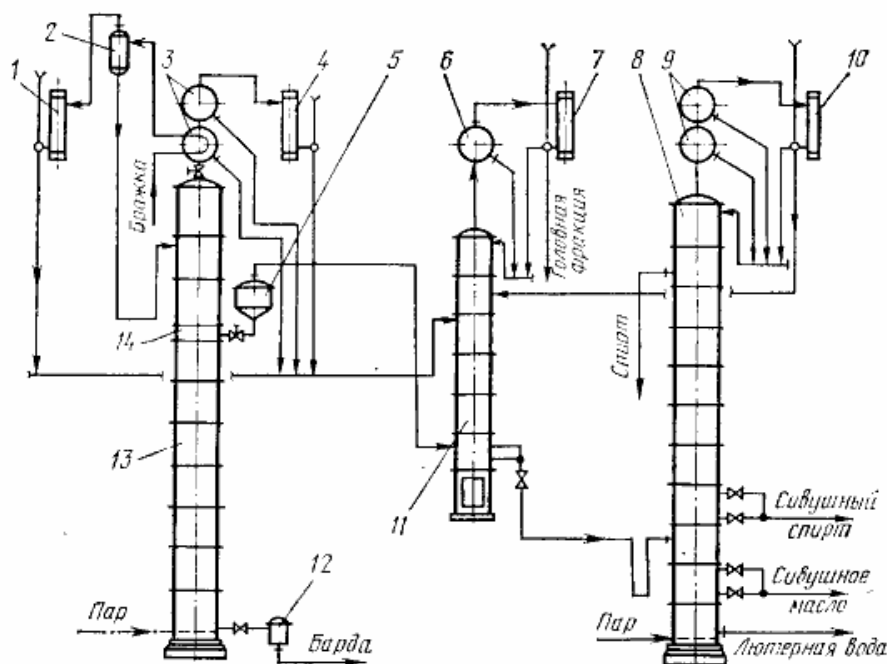


Рисунок 1.2 – Схема брагоректифікаційної установки побічно-прямоточної дії: 1 – конденсатор  $\text{CO}_2$ ; 2 – сепаратор бражки; 3 – підігрівач бражки; 4, 7, 10 – конденсатори відповідно бражної, епюраційної і ректифікаційної колон; 5 – піноловушка; 6, 9 – дефлегматори відповідно епюраційної і ректифікаційної колон; 8, 11, 13 – ректифікаційна, епюраційна і бражна колони; 12 – бардо-відвідник; 14 – циліндрична обичайка

### 3. Технологічна схема брагоректифікаційної установки з направленим виділенням домішок в епюраційній колоні.

Особливість установки полягає у виділенні компонентів сивушного масла з епюраційної колони, тобто до стадії ректифікації. Вищі спирти виділяються за допомогою гідро селекційної води, що вводиться в епюраційну колону.

Працює установка в такий спосіб. Бражка насосом подається в підігрівач, нагрівається в ньому водно-спиртовими парами, які надходять з бражної колони, до 70–75°C, і направляється в сепаратор, де від неї відділяється діоксид вуглецю. Відсепарована бражка подається в бражну колону, де з неї витягуються домішки етанолу і відгоняється спирт за аналогією з установками побічно-прямоточної дії. Живлення епюраційної колони здійснюється бражним дистилятом, а її обігрів – епюрованими водно-спиртовими парами.

На 8–10-у (рахуючи зверху) тарілки епюраційної колони через ротаметр подається лютерна або пом'якшена гідро селекційна вода у кількості, необхідній для доведення концентрації епюрату до 15–20 % об. Під дією низької міцності спирту на тарілках виварної частини епюраційної колони відбувається відгонка компонентів сивушного масла, які, переміщаючись з паровим потоком вгору по колоні, затримуються міцним спиртом. Наявність 8–10 концентраційних тарілок обумовлює утворення зони концентрування вищих спиртів між 30-ю і 32-ю тарілками колони. Сивушна емульсія, що відбирається із зони концентрування, направляється через ротаметр на тарілку живлення сивушної колони. Виділені при епюрації і гідроселекції головні домішки концентруються на 8–10 верхніх тарілках епюраційної колони.

Звільнений від більшої частини пропилового спирту і практично повністю від ізобутилового, ізоамілового спиртів і головних домішок епюрат надходить на тарілку живлення ректифікаційної колони, в якій за рахунок розвиненої зони пастеризації відбувається очищення спирту від метанолу. Відбір ректифікованого спирту при цьому здійснюється з 14–16-ї (рахуючи зверху)

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13

рху) тарілок колони. Частина компонентів сивушного масла, що не виділилася при гідроселекції, відводиться з парової фази з 7-ї, 9-ї та 11-ї нижніх тарілок ректифікаційної колони і спрямовується через конденсатор пари сивушного масла на тарілку живлення сивушної колони. Непастеризований спирт через ротаметр надходить на очистку на одну з верхніх тарілок епіюраційної колони. Сивушні масла відбираються з акумуляторної царги сивушної колони.

Етиловий спирт, який надійшов з погонями в сивушну колону, відводиться з дільника потоку флегми дефлегматора і конденсатора по самостійним комунікаціям через ротаметри відповідно на тарілку живлення ректифікаційної колони і одну з верхніх тарілок епіюраційної колони.

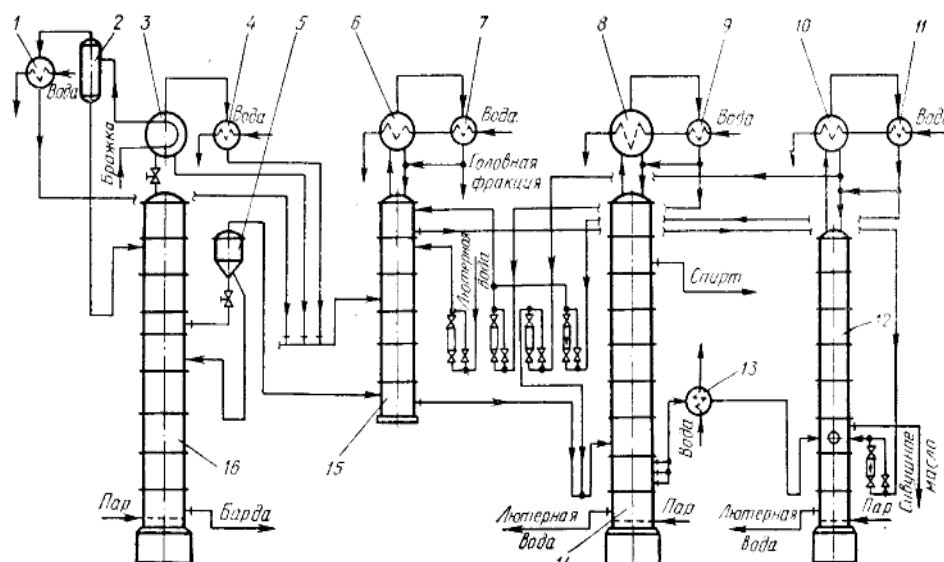


Рисунок 1.3 – Схема брагоректифікаційної установки зі спрямованим виділенням домішок в епіюраційній колоні:

1 – конденсатор CO<sub>2</sub>; 2 – сепаратор бражки; 3 – підігрівач бражки; 4, 7, 9, 11 – конденсатори відповідно бражної, епіюраційної, ректифікаційної і сивушної колон; 5 – піноловушка; 6, 8, 10 – дефлегматори відповідно епіюраційної, ректифікаційної і сивушної колон; 12, 14, 15, 16 – відповідно сивушна, ректифікаційна, епіюраційна і бражна колони; 13 – конденсатор пари сивушного масла



- рівнем допустимих енерговитрат і вартістю енергії (теплової та механічної);
- вартістю виготовлення і монтажу установок, забезпечених контактними пристроями тих чи інших типів;
- спеціальними вимогами, що обумовлюються потребами даного підприємства.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, досвід промислової експлуатації брагоректифікаційних установок показали, що перспективними контактними пристроями є масообмінні тарілки, в конструкціях яких використовується спрямоване введення газу в рідину, що дозволяє інтенсифікувати взаємодію між фазами і більш доцільно організувати рух рідини на тарілці.

У базовому апараті контактними елементами були клапанні тарілки. Одним з істотних переваг цього типу контактних пристроїв є висока їх ефективність в широкому інтервалі навантажень за парою. Клапанні тарілки за своїм устроєм здатні до саморегулювання. Але цей тип тарілок володіє і недоліками. Оскільки клапани (розподільні пристрої клапанних тарілок), дуже чутливі до перепаду тисків за парою, то при будь-якій нестабільності протікання процесу в апараті, клапан може заклинити і порушити роботу як самої тарілки, так і колони в цілому.

Проаналізувавши всі перераховані вище фактори робимо висновок, що переваги клапанних тарілок не завжди доречні в даному виробництві, оскільки процес протікає при постійних умовах (продуктивність 6000 дал/добу), то не доцільно застосовувати клапанні тарілки.

Отже, в якості новизни в проектуваному апараті проводимо заміну клапанних тарілок на більш ефективні тарілки з S-подібних елементів.

Тарілки з S-подібних елементів відносяться до групи тарілок з паралельним перебігом пари і рідини. Вони характеризуються тим, що парові струмені в них отримують той же напрямок, що і поточна на тарілці рідина.

Ці тарілки працюють при високих навантаженнях по рідини і малому перемішуванні рідкої фази на тарілці.

S-подібні елементи, із яких збирається тарілка, утворюють ковпаки з одностороннім виходом. Ковпаки відкриті таким чином, що пара виходить в тому ж напрямку, що і поточна на тарілці рідина. Такий напрям руху пари сприяє зменшенню градієнта рівня рідини на тарілці, а також сприяє зменшенню поздовжньої нерівномірності. S-подібний профіль елементів, з яких конструюється тарілка, забезпечує більшу жорсткість конструкції, тому тарілки можуть виготовлятися з тонкої листової сталі штампуванням або холодною прокаткою.

Якщо провести порівняльну характеристику клапанних тарілок і тарілок з S-подібних елементів, то можна зробити висновок, що обидва типи тарілок рівні за показниками зручності очищення, відбору фракцій, організації живлення, величиною інтервалу стійкої роботи.

Тарілки з S-подібних елементів відрізняються високою продуктивністю, більшою величиною знімання готової продукції з одиниці об'єму, кращою утримуючою здатністю і простотою виготовлення.

Економічність проектного апарату можна оцінити, порівнюючи його вартість з вартістю чинного агрегату і підраховуючи економічний ефект від модернізації конструкції апарату. Оскільки тарілки з S-подібних елементів виготовляються з більш тонкого листового матеріалу штампуванням, то матеріальні витрати на їх виготовлення будуть меншими, ніж на виготовлення клапанних.

### 1.3 Пристрій і принцип дії проектного апарата

Колонні апарати застосовуються для проведення процесів повного контакту між взаємодіючими рідинами і парами. До них відносяться такі дифузні процеси, як абсорбція, десорбція, ректифікація, а також охолодження і зволоження промислових газів, мокре очищення газів тощо.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		17



Проектований тарілчастий колонний апарат (рис. 1.4) призначений для виробництва ректифікованого етилового спирту (харчового) з бражки крахмаловмісної і цукровмісної сировини. В епіюраційній колоні відбувається розділення потоків спирту-сирцю на високолеткі спирти і епіюрат для живлення ректифікаційної колони. Високолеткі спирти відбираються у вигляді ефіроальдегідної фракції.

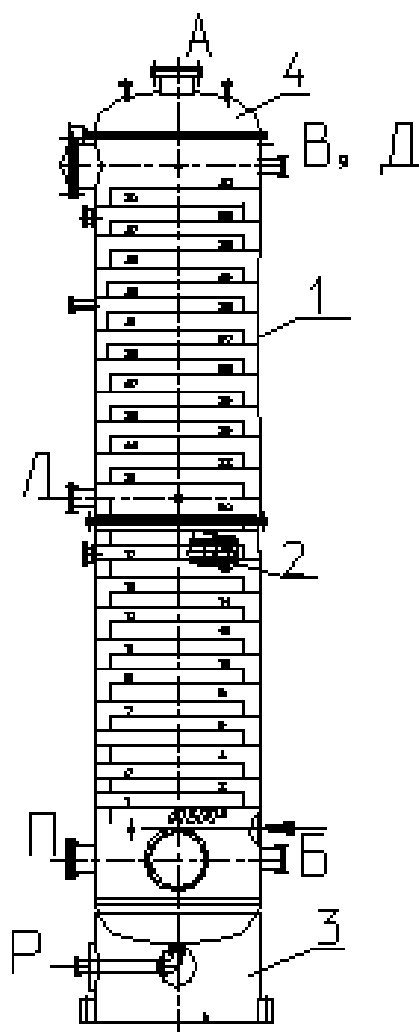


Рисунок 1.4 – Схема епіюраційної колони з тарілками із S-подібних елементів: А – вихід парів головної фракції; Р – відведення рідини до випарника; В – введення флегми; П – вхід парів з котельні; Л – введення бражного дистилляту; Б – вихід епіюрата; 1 – царга; 2 – тарілка із S-образних елементів; 3 – опора; 4 – кришка

Проектована епюраційна колона для виробництва спирту складається із таких вузлів: корпусу 1, в якому всередині кріпляться тарілки зібрані із S-образних елементів 2. Епюраційна колона встановлюється на опорі 3. Введення вихідної сировини (бражного дистиляту) відбувається через штуцер Л на 24-у тарілку. Перетікаюча з тарілки на тарілку рідина взаємодіє з парою (газом), тобто відбувається барботування рідини, при цьому відділяється головна фракція. Після цього відбувається відбір епюрата з кубової частини апарату через штуцер Б. У верхній частині апарату через штуцер А відбувається відбір ефіроальдегідної фракції. Обігривається колона гріючою парою, яка надходить з кип'ятильника в кубову частину апарата.

У днищі 4 епюраційної колони є штуцер для відведення рідини до випарника (штуцер Р). У нижній частині апарату знаходиться також штуцер П для подачі пари з котельні.

Внизу епюраційної колони є пристрій для регулювання рівня рідини в кубовій частині колони. У верхній частині розташовані штуцери для введення очищеної бражки (штуцер В) і непастеризованого спирту, який надходить з ректифікаційної колони (штуцер Д).

Над верхньою тарілкою встановлений штуцер для введення флегми. Вгорі і внизу колони встановлені штуцери для вимірювання робочої температури.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		19

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Опис технологічної схеми виробництва

Окрім крохмалю вихідним продуктом для отримання етилового спирту служить меляса – відкид бурякоцукрового виробництва. Сирий етиловий спирт містить велику кількість домішок, із яких найбільш значні – сивушні масла. Також сирий етиловий спирт містить: оцтовий альдегід, паральдегід, ацеталь, прості і складні ефіри, леткі жирні кислоти, гліцерин, аміни, фурфурол тощо. Для очищення етилового спирту вдаються до ректифікації, тобто перегонці етилового спирту в спеціальних апаратах, що дозволяють відокремити етиловий спирт від нижче і вище його киплячих речовин. Отриманий продукт, званий ректифікатом, містить, зазвичай, до 95 % етилового спирту, а решта – вода і незначні кількості оцтового альдегіду, сивушних масел та т. ін. Для подальшого очищення етиловий спирт фільтрують.

Технологічна схема брагоректифікаційної установки (непрямої дії) зображено на рис. 2.1. Принцип її роботи полягає у наступному. Зрілу бражку з бродильного відділення насосом, подають в підігрівач, де вона підігрівается до температури 75–80°C за рахунок тепла конденсації пари бражного дистиляту, який відводиться з бражної колони. Підігріту бражку з підігрівача направляють в сепаратор для виділення діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub>. Гази з сепаратора відводять в конденсатор для уловлювання спирту. Неконденсовані гази відводять через зрошувальну пастку в атмосферу, а водно-спиртовий конденсат з конденсаторів – на верхню тарілку епюраційної колони.

Сепаровану бражку з сепаратора направляють на тарілку живлення бражної колони і після виділення з неї спирту і летких домішок, через бардорегулятор, виводять барду для подальшої переробки або реалізації. Бражну колону обігрівують, безпосередньо, від введення котельної пари на барботер у виварній камері колони. Усі колони установки можна обігрівати через кип'ятильник.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		20



Бражний дистиллят, який пройшов епюрацію і звільнений від головних домішок, називають епюратом і відводять з виварної камери колони на тарілку живлення ректифікаційної колони.

Головні домішки концентрують у верхній частині епюраційної колони, в її дефлегматорі і конденсаторі. Флегму із дефлегматора повертають на верхню тарілку епюраційної колони для зрошення колони і концентрування домішок. З конденсатора відбирають головну фракцію етилового спирту.

Головну фракцію етилового спирту охолоджують в холодильнику і через ротаметр, по якому регулюють її відбір, підводять для обліку об'єму в контрольний спиртовимірний апарат. Далі головну фракцію етилового спирту відводять в спиртоприймальне відділення, спиртову пару з дефлегматора відводять в конденсатор.

Епюрат вводять на 16-ю тарілку ректифікаційної колони. Лютерну воду відводять з виварної камери колони гідровідвідником. З ректифікаційної колони спиртова пара направляється в дефлегматор для конденсації. Утворена при конденсації флегма повертається на верхню тарілку колони. Частина спиртової пари з дефлегматора відводиться в конденсатор.

З цього конденсатора відбирають непастеризований спирт і спрямовують його на повторне очищення в епюраційну колону, на одну з її верхніх тарілок. Відбір непастеризованого спирту регулюють за ротаметром.

На 6–8-й верхніх тарілках ректифікаційної колони здійснюють пастеризацію. З пастеризованої флегми з 6-ї або 8-ї тарілки, рахуючи від верху колони, відбирають ректифікований спирт і охолоджують його в холодильнику. Кількість відібраного спирту регулюють за ротаметром і через ліхтар і контрольний спиртовимірний апарат направляють в спиртоприймальне відділення.

Сивушні масла концентрується на 5–11-й нижніх тарілках ректифікаційної колони. Із цієї зони сивушно-спиртову пару направляють в конденсатор, із якого конденсат подають у змішувач – змішують з водою у пропорції відповідно 1: 2 – 1: 4. Суміш сивушного масла з водою вводять в розділовий

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		22

судину (декантатор). З декантатору сивушні масла, по мірі їх накопичення, відводять до збірника. Для рециркулюючої обробки (промивання) сивушного масла і його перекачування в спиртоприймальне відділення використовують насос. Промивну воду із нижньої частини декантатора спрямовують в збірник і насосом подають в напірний збірник. Зі збірника промивну воду, регулюючи за ротаметром, спрямовують на одну із верхніх тарілок бражної колони, не нижче 12-ї.

Усі поверхні теплообміну охолоджують водою з колектора, на який воду подають з напірного баку або від насосів. Порядок розводки води наступний. На поверхні теплообміну бражної колони з колектора охолоджуючу воду послідовно підводять до конденсатору, з якого її спрямовують в горизонтальний конденсатор. З останнього, воду відводять в колектор гарячої води.

На конденсатори-пастки воду підводять безпосередньо з колектора. Воду, що пройшла пастку, спрямовують на охолодження дефлегматора, а з конденсатора-пастки воду підводять до дефлегматора.

На поверхні теплообміну епюраційної і ректифікаційної колони воду, відповідно, підводять в конденсатори і дефлегматори. Гарячу воду з дефлегматорів, окремими комунікаціями, спрямовують в колектор. На холодильник головної фракції воду подають з колектора, а після холодильника відводять до дефлегматора.

Усю воду, що подається в водонапірний бак або колектор холодної води, пропускають через холодильник спирту, для стабілізації температури ректифікованого спирту при його охолодженні.

## 2.2 Теоретичні основи процесу [2–4]

Ректифікація – це один із найбільш енергоємних процесів. Тому в хімічних виробництвах все частіше застосовують альтернативні процеси і методи поділу.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		23













$$M_{x+dx} = w_x c dydzd\tau + \frac{\partial(w_x c)}{\partial x} dx dydzd\tau. \quad (2.7)$$

Різниця між кількостями речовини, що пройшла через протилежні грані паралелепіпеда за час  $d\tau$  в напрямку осі  $x$ , дорівнює:

$$dM_x = M_x - M_{x+dx} = -\frac{\partial(w_x c)}{\partial x} dx dydzd\tau = -\frac{\partial(w_x c)}{\partial x} dVd\tau. \quad (2.8)$$

де  $dV = dx dydz$  – об'єм елементарного паралелепіпеда.

Аналогічно в напрямку вісей  $y$  і  $z$ :

$$dM_y = -\frac{\partial(w_y c)}{\partial y} dVd\tau; \quad (2.9)$$

$$dM_z = -\frac{\partial(w_z c)}{\partial z} dVd\tau. \quad (2.10)$$

Таким чином, вміст розподіленої речовини в об'ємі паралелепіпеда зміниться за час  $d\tau$  внаслідок переміщення речовини тільки шляхом конвективного переносу на величину

$$dM_K = dM_x + dM_y + dM_z = -\left[ \frac{\partial(w_x c)}{\partial x} + \frac{\partial(w_y c)}{\partial y} + \frac{\partial(w_z c)}{\partial z} \right] dVd\tau \quad (2.11)$$

або в розгорнутому вигляді

$$dM_K = \left[ c \left( \frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) + w_x \frac{\partial c}{\partial x} + w_y \frac{\partial c}{\partial y} + w_z \frac{\partial c}{\partial z} \right] dVd\tau. \quad (2.12)$$

Відповідно до рівняння нерозривності потоку для усталеного руху

$$\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} = 0. \quad (2.13)$$

Отже, попередній вираз  $dM_K$  набуде вигляду

$$dM_K = \left( w_x \frac{\partial c}{\partial x} + w_y \frac{\partial c}{\partial y} + w_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) dVd\tau \quad (2.14)$$

Кількість розподіленої речовини, що надходить в паралелепіпед тільки шляхом молекулярної дифузії через грань  $dydz$  за час  $d\tau$  становить

$$M_x = -D \frac{\partial c}{\partial x} dydzd\tau. \quad (2.15)$$

Кількість речовини, що виходить за той же час шляхом молекулярної дифузії через протилежну грань

$$M_{x+dx} = -D \frac{\partial}{\partial x} \left( c + \frac{\partial c}{\partial x} dx \right) dydzd\tau. \quad (2.16)$$

Різниця між кількостями речовини через протилежні грані паралелепіпеда в напрямку осі  $x$  за час  $d\tau$  дорівнює

$$dM_x = M_x - M_{x+dx} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} dx dydzd\tau = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} dVd\tau. \quad (2.17)$$

Аналогічно в напрямку вісей  $y$  і  $z$ :

$$dM_y = D \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} dVd\tau; \quad (2.18)$$

$$dM_z = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} dVd\tau. \quad (2.19)$$

Кількість розподіленої речовини в об'ємі всього паралелепіпеда за час  $d\tau$  зміниться при перенесенні шляхом молекулярної дифузії на величину

$$dM_M = dM_x + dM_y + dM_z = D \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) dVd\tau. \quad (2.20)$$

Зміна кількості розподіленої речовини за рахунок конвективного переносу в об'ємі паралелепіпеда (його накопичення або спад) має компенсуватися відповідно відведенням або підведенням такої ж кількості речовини через грані паралелепіпеда шляхом молекулярної дифузії, тобто необхідно дотримуватися умови

$$dM_K + dM_M = 0. \quad (2.21)$$

В іншому випадку концентрація розподіленої речовини в будь-якій точці паралелепіпеда стала б змінюватися в часі, в той час як при сталому процесі вона є тільки функцією координат точки, тобто  $z = f(x, y, z)$ .



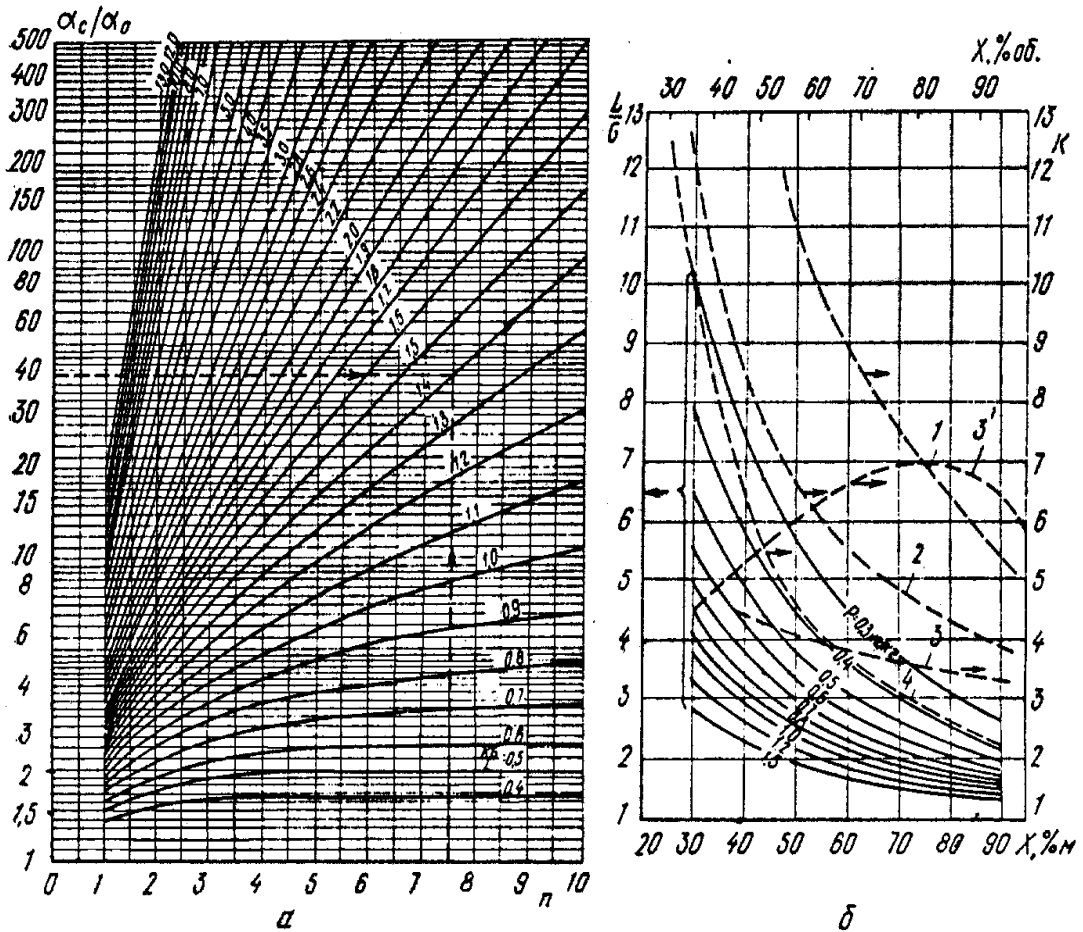


Рисунок 2.6 – Номограми для визначення залежності:

1 – мурашиний ефір; 2 – оцтово-метиловий ефір; 3 – оцтовий альдегід (за Шилінгом); 3' – за В.М. Перелигіним; 4 – оцтово-етиловий ефір.

$$a - \frac{a_c}{a_0} = f\left(\frac{KG}{L}\right); \quad b - \frac{L}{G} = f(X) \quad \text{і} \quad K = f(n). \quad (2.23)$$

Задаємося декількома значеннями витрати пари ( $P = 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4$  кг/кг спирту, введеного в колону). За рис. 1.7 визначаємо комплекс  $\frac{L}{G}$ ; коефіцієнт випаровування домішки  $K$  залежно від концентрації спирту на тарілці живлення і питомої витрати пари  $P$ . Дані заносимо в табл. 2.1.

Згідно [1], концентрація спирту в бражному дистиляті  $X_f = 45,7\% \text{ мас.}$

Таблиця 2.1 – До розрахунку числа тарілок в епіюраційній колоні за оцтово-етиловим ефіром

$P$ , кг/кг	$P$ , кг/дал.	$L/G$	$X_{num.}$		$K$	$K \cdot G/L$	$n$
			% мольн.	% мас.			
0,4	3,2	5,8	20,68	45,7	6,5	1,12	–
0,6	4,8	4,3				1,5	5,5
0,8	6,4	3,5				1,9	4,1
1,0	8,0	2,9				2,2	3,5
1,2	9,6	2,6				2,5	3
1,4	11,2	2,3				2,83	2,5

На рис. 2.6, б для оцтово-етилового ефіру (лінія 4) при концентрації спирту в бражному дистиляті 45,7 % мас.  $K = 6,5$ .

Значення комплексу

$$K \cdot G/L = K(L/G). \quad (2.24)$$

знаходимо для кожного значення пари  $P$ . За рис. 2.6, а, значенню кратності вилучення домішки  $a_c / a_o = 30$  і для кожного значення витрати пари  $P$  знаходимо необхідну кількість тарілок  $n$ .

Так само знаходимо значення для ключової домішки – оцтового альдегіду для кратності вилучення домішки  $a_c / a_o = 150$ . Дані заносимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – До розрахунку числа тарілок в епіюраційній колоні за оцтовим альдегідом

$P$ , кг/кг	$P$ , кг/дал.	$L/G$	$X_{num.}$		$K$		$K \cdot G/L$		$n$	
			% мольн.	% мас.	Шилінг	Перелігін	Шилінг	Перелігін	Шилінг	Перелігін
0,4	3,2	5,8	20,68	45,7	4,5	5,5	0,8	0,95	–	–
0,6	4,8	4,3					1,05	1,3	–	–
0,8	6,4	3,5					1,3	1,6	–	8,4
1,0	8,0	2,9					1,6	1,9	8,4	7
1,2	9,6	2,6					1,7	2,1	7,5	6
1,4	11,2	2,3					2,0	2,4	6	5



На рис. 2.6, б для оцтового альдегіду представлені дві лінії за різними авторами: лінія 3 – за Шилінгом і 3' – за Перелігіним. У табл. 2.2 зведені значення за двома авторами.

За номограмою і розрахунками отримана залежність між питомою витратою пари  $P$  і числом теоретичних тарілок  $n$ . Оптимальне число тарілок знаходимо на підставі техніко-економічного розрахунку. Практика показує, що при переробці картопляної бражки на епюрацію може вистачити 57 кг пари; при переробці зерно-картопляної бражки – 7–12 кг/дал. спирту [2].

При розрахунку концентрованої частини колони приймемо, що флегмове число  $R \rightarrow \infty$ , концентрація спирту на тарілці живлення  $X_f = 45,7$  % мас.

Концентрацію спирту визначаємо за діаграмою  $X - Y$ , а вміст оцтово-етилового ефіру і оцтового альдегіду розрахунком від тарілки до тарілки за формулою:

$$\alpha_n = K \cdot \alpha_{n-1}, \quad (2.25)$$

де  $K$  – коефіцієнт випаровування домішки;

$\alpha_n$  – вміст домішки початковий, мг/л.

Таблиця 2.3 – Розподіл концентрацій спирту і оцтово-етилового ефіру по тарілках концентраційної частини епюраційної колони

Тарілка живлення	X		K	$\alpha$ , мг/л	Мінімальний відсоток відбору $\Gamma\Phi$
	% мольн.	% мас.			
	20,68	45,7	4,5	500	-
1-а	53	74,5	3	2250	88
2-а	66,5	83,5	2,7	6750	93
3-я	72	87	2,5	18225	97,3
4-а	75,5	88,5	2,3	45560	98,9
5-а	78	90	2,2	105000	99,53
6-а	80	91,2	2,1	231000	99,78

Коефіцієнт випаровування домішки  $K$  знаходимо за рис. 2.6, б у залежності від концентрації спирту на тарілці. Дані зводимо в табл. 2.3.

Мінімальний відсоток відбору головної фракції (ГФ) розраховується за формулою:

$$ГФ_{\min} = \frac{\alpha_n}{K \cdot \alpha_{n-1}} \cdot 100\% ; \quad (2.26)$$

$$ГФ_{\min 1} = \frac{500}{4,5 \cdot 500} \cdot 100\% = 22\%$$

$$ГФ_{\min 2} = \frac{500}{3 \cdot 2250} \cdot 100\% = 4\% \text{ і т. д.}$$

Концентрація оцтово-етилового ефіру на тарілках:

$$\alpha_n = K \cdot \alpha_{n-1} ; \alpha_1 = 4,5 \cdot 500 = 2250 \text{ мг/л}; \alpha_2 = 3 \cdot 225 = 6750 \text{ мг/л і т. д.}$$

Для того, щоб вивести увесь оцтово-етиловий ефір з головної фракції необхідно відбирати не менше 0,47 % головної фракції від кількості введеного в колону спирту. При наявності шести тарілок відбір може бути зменшений до 0,22 %. Такі самі розрахунки проводимо по оцтового альдегіду і зводимо їх в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Розподіл концентрацій спирту і оцтово-етилового ефіру по тарілках концентраційної частини епораційної колони

Тарілка живлення	Вміст спирту, X		Коефіцієнт випаровування домішки, K		зміст домішки $\alpha$ , Мг / л		Мінімальний відсоток відбору ГФ		Ступінь вилучення домішки, %	
	% мольн.	% мас.	Шилінг	Перелигін	Шилінг	Перелигін	Шилінг	Перелигін	Шилінг	Перелигін
	20,68	45,7	4,5	5,5	300	300	100	100	—	—
1-а	53	74,5	3,6	7	1350	1650	22	18	88	82
2-а	66,5	83,5	3,5	6,8	4860	11550	6,2	2,6	93,8	97,4
3-я	72	87	3,4	6,6	17010	78540	1,8	0,4	98,2	99,6
4-а	75,5	88,5	3,3	6,5	57834	518364	0,52	0,06	99,48	99,94
5-а	78	90	3,2	6,4	190800	337×10 <sup>4</sup>	0,16	0,008	99,84	99,992



Середньо молекулярна маса водно-спиртової суміші при концентрації спирту  $X_d = 91,2\% \text{ мас.}$ :

$$M_{cp.} = \frac{100}{\frac{X_d}{M_{cn}} + \frac{X_e}{M_e}}, \quad (2.29)$$

де  $M_{cn}$ ,  $M_e$  – молекулярна маса спирту і води;  
 $X_d$ ,  $X_e$  – частка спирту і води, %.

$$M_{cp.} = \frac{100}{\frac{91,2}{46} + \frac{88}{18}} = 40,4 \text{ кмоль/кг.}$$

Маса парового потоку:

$$G_v = G'_v \cdot M_{cp.}; \quad (2.30)$$

$$G_v = 0,07 \cdot 40,4 = 2,83$$

Число флегми:

$$R = \frac{G_v - G_{эф}}{G_{эф}}; \quad (2.31)$$

$$R = \frac{2,83 - 0,0024}{0,0024} = 1178$$

Робоча лінія на діаграмі  $X - Y$  буде накладатися на діагональ, тобто  $R \rightarrow \infty$ .

Згідно регламенту [1], концентрація спирту в бражному дистиляті:

$$X_f = 45,7 \% \text{ мас.} = 20,68 \% \text{ мол.}$$

Концентрація спирту в епюраті:

$$X_w = 26,6 \% \text{ мас.} = 12,42 \% \text{ мол.}$$

Питома витрата пари в епюраційній колоні:

$$P = 10 \text{ кг / дал.} = 1,2 \text{ кг / кг}$$

Згідно [1], концентрація етилового спирту в головній фракції (ГФ) має бути не менше 88 % мас. За проведеними вище розрахунками (див. табл. 2.3) у нас концентрація спирту в ГФ:

$$X_d = 91,2 \% \text{ мас.} = 80 \% \text{ мол.}$$

Етиловий спирт  $C_2H_5OH$  – молярна маса 46,07 кг/кмоль; вода  $H_2O$  – молярна маса 18 кг/кмоль.

Із огляду на те, що вміст домішок в бражному дистиляті становить близько 1 %, можна ними нехтувати і проводити розрахунок, як при бінарній системі.

Мольна маса вихідної суміші:

$$M_f = M_{cn} \cdot X_f + M_e \cdot (1 - X_f), \quad (2.32)$$

де  $M_{cn}$ ,  $M_e$  – молекулярна маса спирту і води;

$X_f$  – концентрація спирту в мольних частках.

$$M_f = 46,07 \cdot 0,2068 + 18 \cdot (1 - 0,2068) = 23,8 \text{ кг/кмоль.}$$

Масова частка спирту у вихідній суміші:

$$\bar{X}_f = X_f \frac{M_{cn}}{M_f}; \quad (2.33)$$

$$\bar{X}_f = 0,2068 \cdot \frac{46,07}{23,8} = 0,4$$

Мольна маса дистиляту (головної фракції):

$$M_d = M_{cn} \cdot X_d + M_e \cdot (1 - X_d); \quad (2.34)$$

де  $X_d$  – вміст спирту в ГФ ( $X_d = 91,2 \% \text{ мас.} = 80 \% \text{ мол.}$ ).

$$M_d = 46,07 \cdot 0,8 + 18 \cdot (1 - 0,8) = 40,456 \text{ кг/кмоль.}$$

Масова частка спирту в дистиляті:

$$\bar{X}_d = X_d \frac{M_{cn}}{M_d}; \quad (2.35)$$

$$\bar{X}_d = 0,8 \cdot \frac{46,07}{40,456} = 0,912.$$

Мольна маса кубового залишку (епюрату):

$$M_w = M_{cn} \cdot X_w + M_e \cdot (1 - X_w), \quad (2.36)$$

де  $X_w$  – вміст спирту в епюраті у молях;

$$M_d = 46,07 \cdot 0,1242 + 18 \cdot (1 - 0,1242) = 21,48 \text{ кг/кмоль.}$$

Масова частка спирту в епюраті:

$$\bar{X}_w = X_w \frac{M_{cn}}{M_w}; \quad (2.37)$$

$$\bar{X}_w = 0,1242 \cdot \frac{46,07}{21,48} = 0,266$$

В епюраційну колону надходить з бражної колони бражний дистилят, тобто продуктивність епюраційної колони за вихідною сумішшю:

– бражний дистилят:

$$G_f = \frac{7,893 \cdot G_{y.cn} (1 + q_{nom})}{x_f}, \quad (2.38)$$

де 7,893 – відносна густина 1 дал. безводного спирту до 1 л води (густина етилового спирту), кг/дал.

$$G_f = \frac{7,893 \cdot 6000 \cdot (1 + 0,008)}{0,457} = 79442 \text{ (кг/добу)} = 0,92 \text{ (кг/с)}$$

– котельна пара:

$$P_s = P_{y\partial} \cdot G_{y.cn}; \quad (2.39)$$

$$P_s = 10 \cdot 6000 = 60000 \text{ кг / добу} = 0,69 \text{ кг/с.}$$

У колону також надходить гостра пара  $P = 10 \text{ кг / дал.} = 1,2 \text{ кг / кг}$  спирту (з матеріального балансу епюраційної колони).

Із огляду на те, що епюраційна колона працює із затримками за відбором головної фракції, тобто пари дистиляту (головна фракція) вводяться назад в колону у вигляді флегми – колона працює сама на себе [3]. Маємо:

$$G_d = G_L; \quad (2.40)$$

Звідси флегмове число  $R \rightarrow \infty$ , у чому ми переконалися при розрахунку концентрованої частини епюраційної колони.

									Лист
									39
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ				



$$X''_{cp} = \frac{20,68 + 1242}{2} = 16,6 \text{ \% моль.} = 0,17.$$

Середній склад парів спирту у верхній і нижній частинах колони:

$$Y'_{cp} = \frac{Y_f + Y_d}{2}; \quad (2.45)$$

$$Y''_{cp} = \frac{Y_f + Y_w}{2}, \quad (2.46)$$

де  $Y_f$ ;  $Y_d$ ;  $Y_w$  – молярні концентрації парової фази в бражному дистилаті, в ГФ та в епюраті.

$$Y'_{cp} = \frac{53,46 + 82}{2} = 67,7 \text{ \% моль.} = 0,677;$$

$$Y''_{cp} = \frac{53,46 + 47,5}{2} = 50,5 \text{ \% моль.} = 0,505.$$

За концентрацією парів визначасмо їх температуру:

$$t'_{cp} = f(Y'_{cp}), \quad t''_{cp} = f(Y''_{cp})$$

Температура  $T$  °C

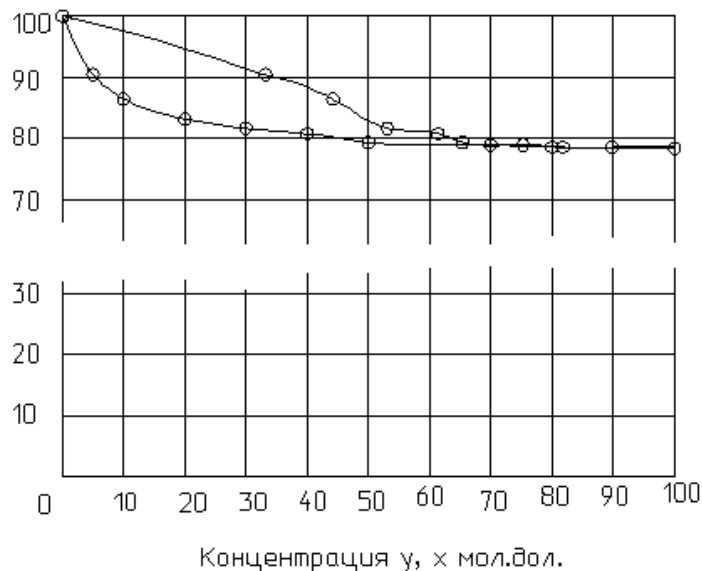


Рисунок 2.8 – Діаграма t-x-y:

для верха колони  $Y'_{cp} = 0,677 - t'_{cp} = 79,7 \text{ °C}$  [2];

для низа колони  $Y''_{cp} = 0,505 - t'_{cp} = 83,5 \text{ °C}$  [2].



Середні молярний маси парів у верхній і нижній частинах колони:

$$M_{y_{cp}} = M_{cn} \cdot Y_{cp} + M_e \cdot (1 - Y_{cp}), \quad (2.47)$$

де  $M_{cn}$ ;  $M_e$  – відповідно молярна маса спирту і води.

$$M_{y'_{cp}} = 46,07 \cdot 0,677 + 18 \cdot (1 - 0,677) = 37 \text{ кг / кмоль};$$

$$M_{y''_{cp}} = 46,07 \cdot 0,505 + 18 \cdot (1 - 0,505) = 32,18 \text{ кг / кмоль}.$$

Середня густина парової фази для верхньої та нижньої частини:

$$\rho_{cp_n} = \frac{M_{cp}}{22,4} \cdot \frac{T_o}{t_{cp} + T_o}, \quad (2.48)$$

де  $t_{cp}$  – середня температура верхньої і нижньої частини колони.

$$\rho'_{cp_n} = \frac{37}{22,4} \cdot \frac{273}{79,7 + 273} = 1,28 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho''_{cp_n} = \frac{32,18}{22,4} \cdot \frac{273}{83,5 + 273} = 1,1 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_p = \rho_{cn} \cdot X_{cp} + \rho_e \cdot (1 - X_{cp}), \quad (2.49)$$

де  $\rho_{cn}$ ;  $\rho_e$  – відповідно густина спирту і води, кг/м<sup>3</sup>;

$X_{cp}$  – середній склад спирту у верхній і нижній частині колони.

$$t_{\text{кип.сн}} = 78,3 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{\text{кип.в}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

Тоді середня температура:

$$t_{\text{ср.кип}} = \frac{78,3 + 100}{2} = 89,15 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Беремо густини компонентів при цій температурі:

$$\rho_{\text{сн.т=89,15 }^\circ\text{C}} = 725 \text{ кг / м}^3; \quad \rho_{\text{в.т=89,15 }^\circ\text{C}} = 966 \text{ кг / м}^3.$$

$$\rho'_p = 725 \cdot 0,5 + 966 \cdot (1 - 0,5) = 845,5 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho''_p = 725 \cdot 0,17 + 966 \cdot (1 - 0,17) = 925,03 \text{ кг/м}^3.$$

В'язкість рідини у верхній і нижній частині колони:

$$\lg \mu_{\text{см}} = X_{cp} \cdot \lg \mu_{\text{сн}} + (1 - X_{cp}) \cdot \lg \mu_e, \quad (2.50)$$

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		42

де  $\mu_{cn}$  – в'язкість спирту при  $t = 89,15$  °C;  $\mu_{cn} = 0,3805 \cdot 10^{-3}$  Па·с;

$\mu_e$  – в'язкість води при  $t = 89,15$  °C;  $\mu_e = 0,3202 \cdot 10^{-3}$  Па·с.

$$\lg \mu'_{cm} = 0,5 \cdot \lg 0,3805 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,5) \cdot \lg 0,3202 \cdot 10^{-3};$$

$$\mu'_{cm} = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,35 \text{ нПа} \cdot \text{с};$$

$$\lg \mu''_{cm} = 0,17 \cdot \lg 0,3805 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,17) \cdot \lg 0,3202 \cdot 10^{-3};$$

$$\mu''_{cm} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,33 \text{ нПа} \cdot \text{с}.$$

В'язкість парів у верхній і нижній частині колони:

$$\frac{M_{cm}}{\mu_{cm}} = \frac{Y \cdot M_{cn}}{\mu_{cn}} + \frac{(1 - Y) \cdot M_e}{\mu_e}, \quad (2.51)$$

де  $M_{cm}$ ;  $M_{cn}$ ;  $M_e$  – відповідно молекулярні маси суміші, спирту і води, кг/кмоль;

$\mu_{cm}$ ;  $\mu_{cn}$ ;  $\mu_e$  – відповідно в'язкість парів суміші, спирту і води, Па·с.

В'язкість парів у верхній частині:

$$\mu'_{cm} = 0,01064 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

В'язкість парів в нижній частині:

$$\mu''_{cm} = 0,01158 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

При витраті пари  $P = 10 \text{ кг} / \text{дал.} = 1,2 \text{ кг} / \text{кг}$  спирту допускаємо кількість парового потоку  $G'_v = \frac{1,2}{18} = 0,07 \text{ кмоль}$  на 1 кг спирту, виведеного в колону. Визначимо його обсяг за умови, що надлишковий тиск в нижній частині колони  $P = 14,7 \cdot 10^3 \text{ Па}$  і у верхній  $P = 4,9 \cdot 10^3 \text{ Па}$ . При продуктивності колони по умовному спирту 6000 дал./добу секундна продуктивність її складатиме:

$$G = 6000 \cdot 7,893 / 24 \cdot 3600 = 0,54 \text{ кг/с}.$$

або мольна продуктивність:

$$G = 0,07 \cdot 0,54 = 0,038 \text{ кмоль/с}.$$

									Лист
									43
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ				

Маса парового потоку у верхній частині колони:

$$G_d = G'_y = G \cdot M'_{x_{cp}}, \quad (2.52)$$

де  $G$  – молярна продуктивність по умовному спирту, кмоль/с;

$M'_{x_{cp}}$  – середньомолекулярна маса спиртоводної суміші при концентрації спирту  $X_d = 91,2 \%$  мас.

$$M'_{x_{cp}} = \frac{100}{\frac{X_{cn}}{M_{cn}} + \frac{X_e}{M_e}}; \quad (2.53)$$

$$M'_{x_{cp}} = \frac{100}{\frac{91,2}{46,07} + \frac{8,8}{18}} = 40,45 \text{ кг/кмоль};$$

$$G_d = G'_y = 0,038 \cdot 40,45 = 1,55 \text{ кг/с.}$$

Маса парового потоку в нижній частині колони:

$$G''_y = G \cdot M''_{x_{cp}}, \quad (2.54)$$

де  $M''_{x_{cp}}$  – середньомолекулярна маса спиртоводної суміші при концентрації спирту  $X_f = 40 \%$  мас.

$$M''_{x_{cp}} = \frac{100}{\frac{45,7}{46,07} + \frac{54,3}{18}} = 24,95 \text{ кг/кмоль};$$

$$G''_y = 0,038 \cdot 24,95 = 0,95 \text{ кг/с.}$$

Якщо прийняти, що  $L/G = 2,6$  постійна величина при  $P = 10 \text{ кг/дал.} = 1,2 \text{ кг/кг}$  спирту, тоді потік рідини у верхній частині колони складе:

$$L' = 2,6 \cdot G_d; \quad (2.55)$$

$$L' = 2,6 \cdot 1,55 = 4 \text{ кг/с.}$$

а потік рідини в нижній частині колони

$$L'' = 2,6 \cdot G''_y$$

$$L'' = 2,6 \cdot 0,95 = 2,47 \text{ кг/с.}$$

Як впливає з матеріального балансу епюраційної колони, кількість стікаючої флегми  $G_L$  дорівнює кількості парів готової фракції  $G_d$ :  $G_L = 1,55 \text{ кг/с.}$

**Тепловий баланс.** З теплового балансу колони.

$$Q_f + Q_p + Q_L - Q_n = Q_d + Q_w; \quad (2.56)$$

$$Q_f = G_f \cdot i'_f, \quad (2.57)$$

де  $G_f$  – продуктивність по бражному дистилляту, кг/с;

$i'_f$  – ентальпія бражного дистилляту, Дж/кг.

$$Q_f = 1,38 \cdot 397 \cdot 10^3 = 547860 \text{ Вт.}$$

Теплота гострої пари:

$$Q_p = G_p \cdot i''' \cdot \phi, \quad (2.58)$$

де  $G_p$  – питома витрата пари, кг/с;

$i'''$  – ентальпія гострої пари, Дж/кг;

$\phi$  – ступінь сухості пари,  $\phi = 0,55$ .

$$Q_p = 0,69 \cdot 2676 \cdot 10^3 \cdot 0,55 = 1015542 \text{ Вт.}$$

Тепло, що відходить з епюратором, включаючи конденсат гострої пари:

$$Q_w = G_w \cdot i'_w, \quad (2.59)$$

де  $G_w$  – продуктивність за епюратором, кг/с;

$i'_w$  – ентальпія епюрату, Дж/кг.

$$Q_w = 2,07 \cdot 420 \cdot 10^3 = 869400 \text{ Вт.}$$

Теплота, що виходить з парою головної фракції, тобто навантаження на дефлегматор:

$$Q_d = G_d \cdot i''_d, \quad (2.60)$$

де  $G_d$  – продуктивність за ГФ, кг/с;

$i''_d$  – ентальпія пари головної фракції (ГФ), Дж/кг.

$$Q_d = 1,55 \cdot 1200 \cdot 10^3 = 1860000 \text{ Вт}.$$

Теплота, що приходить з флегмою:

$$Q_L = G_L \cdot i_L'' \tag{2.61}$$

де  $G_L$  – продуктивність за флегмою, кг/с;

$i_L''$  – ентальпія флегми, Дж/кг.

Із матеріального балансу при  $G_d = G_L$ :

$$Q_L = 1,55 \cdot 1035 \cdot 10^3 = 1604250 \text{ Вт}.$$

Перевіряємо надходження та витрачання тепла:

$$547860 + 1015542 + 1604250 - 438252 = 1860000 + 869400;$$

$$2729400 \text{ Вт} = 2729400 \text{ Вт},$$

де  $Q_{ном} = 0,05 \cdot Q = 438252 \text{ Вт}$ .

## 2.4 Конструктивні розрахунки

Орієнтовний діаметр колони визначаємо за рівнянням витрати:

$$D = \sqrt{\frac{4G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho_n}} \tag{2.62}$$

де  $\omega$  – швидкість пари в колоні, м/с;

$\rho_n$  – середня густина парів, кг/м<sup>3</sup>.

Гранично-допустиму швидкість пари в колоні визначаємо за залежністю [4]:

$$\omega = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_n}{\rho_n}} \tag{2.63}$$

де  $c$  – коефіцієнт, що залежать від відстані між тарілками і типу тарілок;  $c = 0,04$ .

Тоді у верхній частині:

$$\omega^s = 0,04 \cdot \sqrt{\frac{845,5 - 1,28}{1,28}} = 1,03 \text{ м/с}.$$

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		46

У нижній частині:

$$\omega^h = 0,04 \cdot \sqrt{\frac{925,03 - 1,1}{1,1}} = 1,16 \text{ м/с.}$$

$\rho_p$ ;  $\rho_n$  – відповідно середні густини рідини і пари, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_n^g = 1,28 \text{ кг/м}^3; \rho_n^h = 1,1 \text{ кг/м}^3; \rho_p^g = 845,5 \text{ кг/м}^3; \rho_p^h = 925,03 \text{ кг/м}^3.$$

Робочу швидкість пари приймаємо:

$$\omega_p = 0,8 \cdot \omega; \quad (2.64)$$

- для верхньої частини колони:

$$\omega_p^g = 0,8 \cdot 1,03 = 0,824 \text{ м/с};$$

- для нижньої частини колони:

$$\omega_p^h = 0,8 \cdot 1,16 = 0,928 \text{ м/с.}$$

Тоді діаметр колони за формулою (1.62):

- для верхньої частини колони:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,55}{3,14 \cdot 0,824}} = 1,37 \text{ м};$$

- для нижньої частини колони:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,55}{3,14 \cdot 0,928 \cdot 1,1}} = 1,39 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр колони із запасом, відповідно до [1]:  $D = 1600 \text{ мм}$ .

При цьому дійсна робоча швидкість пари в колоні:

$$\omega = \frac{G_y}{\rho_y \cdot 0,785 \cdot D^2}; \quad (2.65)$$

- для верхньої частини колони:

$$\omega_\phi^g = \frac{1,55}{1,28 \cdot 0,785 \cdot 1,6^2} = 0,6 \text{ м/с};$$

- для нижньої частини колони:

$$\omega_\phi^h = \frac{0,9}{1,1 \cdot 0,785 \cdot 1,6^2} = 0,4 \text{ м/с.}$$

									Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ				47

Середня швидкість в колоні:

$$\omega_{cp} = \frac{\omega_{\phi}^{\delta} + \omega_{\phi}^{\eta}}{2}; \quad (2.66)$$

$$\omega_{cp} = \frac{0,6 + 0,4}{2} = 0,5 \text{ м/с.}$$

**Вибір параметрів тарілки.** Відповідно до рекомендацій [6] для колони діаметром 1600 мм вибираємо тарілку із S-образних елементів (рис. 2.9) з наступними конструктивними розмірами (табл. 2.5).

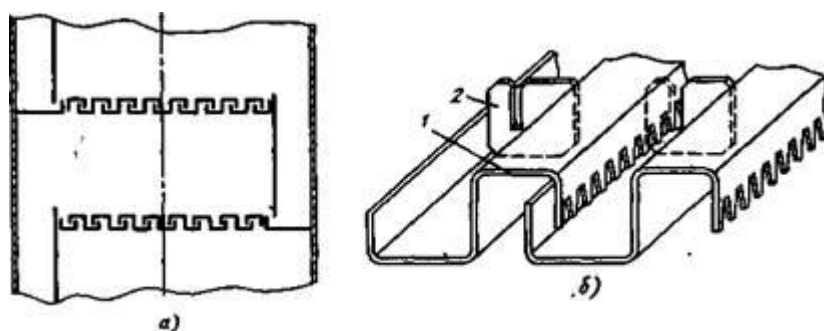


Рисунок 2.9 – Тарілка з S-образними елементами:

а) – загальний вигляд; б) – схема

Таблиця 2.5 – Характеристика тарілки із S-образних елементів

Робоча площа тарілки, м <sup>2</sup>	1,56
Діаметр тарілки, мм	1570
Периметр зливу, м	1,16
Площа проходу парів, м <sup>2</sup>	0,234
Вільний перетин тарілки, %	12
Маса тарілки, кг	118
Щілина, мм	60–90

**Визначення висоти колони і числа реальних тарілок.** Висота таріл-  
частої частини колони:

$$H_m = (N_m - 1) \cdot h_{mm}, \quad (2.67)$$

де  $h_{mm} = 170$  мм [1] – міжтарілчаста відстань.

Оскільки число теоретичних тарілок розраховувалося раніше, приймаючи для концентраційної частини колони к.к.д. тарілок 0,5 [1], то буде потрібно всього:

$$N_k^g = 6/0,5 = 12 \text{ шт.}$$

Для відгінної частини колони необхідно встановити реальних тарілок:

$$N_o^h = 15/0,5 = 30 \text{ шт.}$$

Загальна кількість тарілок в колоні:

$$N_m = N_k^g + N_o^h; \quad (2.68)$$

$$N_m = 12 + 30 = 42 \text{ шт.};$$

$$H_m = (42 - 1) \cdot 0,17 = 6,97 \text{ м}$$

Загальна висота колони без опори:

$$H = H_m + H_{cp} + H_{cen} + H_{куб}, \quad (2.69)$$

де  $H_{cp}$  – висота між тарілкою живлення і першої тарілкою концентраційної частини, мм;

$H_{cen}$  – висота сепараційного простору над верхньою тарілкою, мм;

$H_{куб}$  – висота кубової частини, мм.

Приймаємо за [1]:

$$H_{cp} = 0,35 \cdot D; \quad (2.70)$$

$$H_{cen} = 1,75 \cdot D; \quad (2.71)$$

$$H_{куб} = 1,0 \cdot D. \quad (2.72)$$

Тоді загальна висота колони:

$$H = 6970 + 630 + 3155 + 1600 = 12355 \text{ мм.}$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		49





**Патрубок введення бражного дистиляту** ( $\omega_c = 0,5 \text{ м/с}$ ). Об'ємна витрата бражного дистиляту:

$$V_f = \frac{G_f}{\rho_f} = \frac{0,92}{923} = 0,00099 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.75)$$

де  $\rho_f$  – густина бражного дистиляту при  $t = 83 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\rho_f = \rho_{cn} \cdot x_f + \rho_e \cdot (1 - x_f), \quad (2.76)$$

де  $\rho_{cn}, \rho_e$  – відповідна густини спирту і води при температурі  $t = 83 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $x_f$  – молярна концентрація спирту в розчині.

$$\rho_f = 735 \cdot 0,2068 + 972 \cdot (1 - 0,2068) = 923 \text{ кг/м}^3;$$

$$d = \sqrt{\frac{0,00099}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,051 \text{ м}.$$

приймаємо  $d = 100 \text{ мм}$ .

**Патрубок виходу епюрату** ( $\omega_c = 0,5 \text{ м/с}$ ). Об'ємна витрата бражного дистиляту:

$$V_w = \frac{G_w}{\rho_w}, \quad (2.77)$$

де  $\rho_w$  – густина епюрату  $\rho_w = 925,03 \text{ кг/м}^3$ .

$$V_w = \frac{1,61}{925,03} = 0,0017 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Тоді діаметр патрубка виходу епюрату буде дорівнювати:

$$d = \sqrt{\frac{0,0017}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,066 \text{ м}.$$

приймаємо  $d = 75 \text{ мм}$ .

**Патрубок введення гріючої пари** ( $\omega_c = 15 \text{ м/с}$ ). Об'ємна витрата котельної пари:

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		51







Тоді лінійна густина зрошення за формулою (2.90):

- для верхньої частини колони:

$$q_e = \frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{1,16} = 2,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}\cdot\text{с};$$

- для нижньої частини колони:

$$q_n = \frac{1,6 \cdot 10^{-3}}{1,16} = 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}\cdot\text{с}.$$

Висота світлого шару рідини на тарілці за формулою (2.89):

- для верхньої частини колони:

$$h_{oe} = 0,0419 + 0,19 \cdot 0,055 - 0,0135 \cdot 0,47 \cdot \sqrt{1,2} + 2,46 \cdot 2,33 \cdot 10^{-3} = 0,0511 \text{ м};$$

- для нижньої частини колони:

$$h_{on} = 0,0419 + 0,19 \cdot 0,055 - 0,0135 \cdot 0,47 \cdot \sqrt{1,1} + 2,46 \cdot 1,38 \cdot 10^{-3} = 0,049 \text{ м}.$$

Тоді опір шару піни:

- для верхньої частини колони:

$$\Delta P_{ne} = 9,81 \cdot 885 \cdot 0,0511 = 443,6 \text{ Па};$$

- для нижньої частини колони:

$$\Delta P_{nn} = 9,81 \cdot 885 \cdot 0,049 = 425,4 \text{ Па}.$$

Гідравлічний опір обумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{d_{\sigma}}, \quad (2.92)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг рідини [4];

$d_{\sigma}$  – еквівалентний діаметр, м.

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{0,234} = 0,34 \text{ Па}.$$

Тоді повний опір однієї тарілки:

- для верхньої частини колони:

$$\Delta P_{e} = 27 + 443,6 + 0,34 = 471 \text{ Па};$$

- для нижньої частини колони:

									Лист
									55
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ				

$$\Delta P_n = 10,3 + 425,4 + 0,34 = 436 \text{ Па.}$$

Повний гідравлічний опір епіюраційної колони:

$$\Delta P_k = 471 \cdot 12 + 436 \cdot 30 = 18,7 \text{ кПа.}$$

**Перевірка правильності вибору міжтарілкової відстані.** Відстань між тарілками приймають рівним або більше суми висот барботажного шару і сепараційного простору.

Висота сепарації простору:

$$H_c = H - \frac{2,5 \cdot h}{K_5}, \quad (2.93)$$

де  $K_5$  – коефіцієнт піноутворення;  $K_5 = 0,75$  [23].

$$H_c = 0,17 - \frac{2,5 \cdot 0,06}{0,75} = 0,09 \text{ м.}$$

Допустиме значення бризгоунесення з тарілки:

$$e = \frac{5,7 \cdot 10^{-3}}{\sigma} \left( \frac{W}{H_c} \right)^{3,2}; \quad (2.94)$$

$$e = \frac{5,7 \cdot 10^{-3}}{4,2} \left( \frac{0,45}{0,09} \right)^{3,2} = 0,007 < 1;$$

$$0,06 + 0,09 = 0,15 < 0,17 \text{ м,}$$

отже, відстань між тарілками вибрано правильно.

## 2.6 Вибір допоміжного обладнання

Ректифікаційна установка (рис. 2.1) включає в себе колону епіюраційну, дефлегматор, конденсатор, насоси подачі середовищ та інше обладнання.

**Розрахунок конденсатора і дефлегматора.** Визначаємо поверхні теплообміну апаратів:

$$F = Q / K \cdot \Delta t_{cp}, \quad (2.95)$$

де  $Q$  – теплове навантаження на апарат, Вт;

									Лист
									56
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ				







3) вентилі прямоочні, 2 шт.:  $\xi = 0,85 \cdot 2 = 1,7$ .

$$\sum \xi = 1 + 3,2 + 1,7 = 5,9.$$

Втрати напору на подолання опору визначаємо за формулою:

$$h_n = \left( \lambda \cdot \frac{l}{d_s} + \sum \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2g} = \left( 0,031 \cdot \frac{8}{0,032} + 5,9 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,78 \text{ м} \quad (2.101)$$

Напір насоса розрахуємо за формулою:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho \cdot g} + H_z + h_n, \quad (2.102)$$

де  $P_1, P_2$  – різниця тисків в апараті і в ємності, з якої подається рідина;  
в нашому випадку ця різниця дорівнює 0;

$H_z$  – геометрична висота підйому рідини;  $H_z = 12$  м.

Заданий натиск забезпечується відцентровим насосом.

Визначимо корисну потужність насоса:

$$N_n = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.103)$$

де  $Q$  – витрата рідини, м.

$$N_n = 987 \cdot 9,81 \cdot 0,0013 \cdot 12 = 377 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність на валу електродвигуна, прийнявши коефіцієнти корисної дії насоса  $\eta_n = 0,92$  і коефіцієнт передачі від двигуна до насоса  $\eta_{пер} = 1$ .

$$N = N_n / \eta_n \cdot \eta_{пер} = 377 / 0,92 \cdot 1 = 409,7 \text{ кВт.} \quad (2.104)$$

Даним умовам найбільш підходить відцентровий насос X280-72, з максимальною подачею  $Q = 0,08$  м<sup>3</sup>/с, напором  $H = 62$  м, з електродвигуном АО-102-4, із номінальною потужністю  $N = 460$  кВт.

**Розрахунок обсягу ємності бражного дистилляту.** Обсяг ємності вихідного розчину:

$$V_f = \frac{G_f \cdot \tau}{\rho \cdot \phi}, \quad (2.105)$$

									Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					59

де  $G_f$  – кількість вихідного розчину;

$\tau$  – тривалість робочої зміни; приймаємо  $\tau = 6 \text{ год.} = 21600 \text{ с}$ ;

$\rho$  – густина розчину;  $\rho = 903 \text{ кг/м}^3$ ;

$\phi$  – коефіцієнт заповнення ємності;  $\phi = 0,9$ .

$$V_f = \frac{0,566 \cdot 21600}{903 \cdot 0,9} = 15 \text{ м}^3.$$

Приймаємо обсяг ємності найближчий більший зі стандартного ряду за ГОСТ 9617-72. Приймаємо дві ємності діаметром 2 м, і висотою 3м – загальним обсягом  $18 \text{ м}^3$ .

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		60

## 3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Вибір конструкційних матеріалів [5, 7]

При виборі конструкційних матеріалів на основні деталі проектного апарату враховуються наступні його найважливіші властивості: міцність, жаростійкість і жароміцність, корозійна стійкість при агресивному впливі середовища, фізичні властивості, технологічні характеристики, мала схильність до старіння, склад і структура матеріалу, вартість і можливість його отримання, наявність стандарту або затверджених технічних умов на його поставку (техніко-економічні показники).

За хімічним складом і механічними властивостями матеріали повинні задовольняти вимогам ГОСТів, ТУ і ОСТ 26-291-94. Якість і характеристики матеріалів повинні бути підтверджені заводом-постачальником у відповідних сертифікатах. При проектуванні апаратів, що встановлюються на відкритому повітрі, необхідно перевірити відповідність якості обраного матеріалу вимогам ОСТ 26-291-94.

**Сталь низьколегована конструкційна (ГОСТ 5520)** містить до 2,5 % легуючих елементів. Також легування незначно здорожує, але істотно підвищує її міцність, хладо-, корозійно- і зносостійкість, у порівнянні з вуглецевими сталями, зберігаючи пластичні властивості і зварюваність. У маркуванні сталей кожен легуючий елемент позначається відповідною буквою (алюміній «Ю», мідь «Д», ванадій «Ф», вольфрам «В», ніобій «Б», титан «Т», кремній «С», марганець «Г», молібден «М», хром «Х», нікель «Н» і т.д.). У хімічному машинобудуванні, в основному, застосовують сталі марганцевисті 09Г2, 14Г2, кремніймарганцевисті 12ГС, 16ГС, 17ГС, 09Г2С, 10Г2С1, марганцево-ванадієві (наприклад, 15ГФ) для виготовлення обичайок, днищ, фланців і інших деталей машин і апаратів, що працюють під тиском до 10 МПа в інтервалі температур від -70 до + 475°С з неагресивними середовищами. Сталь листову 12К ... 20К (ГОСТ 5520) використовують для

										Лист
										61
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ					



переваг: економно леговані дефіцитним нікелем, менш схильні до міжкристалічної корозії і корозійного розтріскування під навантаженням, мають підвищені механічні показники у стані поставки.

Вибір конструкційних матеріалів на основні деталі проектного апарату здійснюємо відповідно до рекомендацій [5]. Усі основні частини апарату виготовляються зі сталі 12Х18Н10Т, опори апарату – зі сталі Ст3, прокладки для ущільнення фланцевих з'єднань – із фторопласта.

### 3.2 Розрахунки апарата на міцність, стійкість та герметичність

#### Розрахунок товщини стінки апарату.

Матеріал обичайки – 12Х18Н10Т.

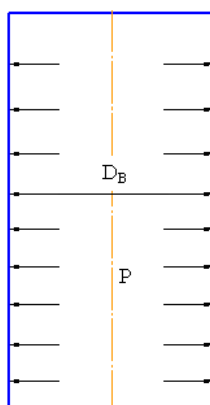


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема обичайки

Товщина стінки апарату для циліндричної обичайки визначається за формулою:

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{p_p \cdot D_\epsilon}{2\phi[\sigma] - p_p} \\ \frac{p_n \cdot D_\epsilon}{2\phi[\sigma]_n - p_n} \end{array} \right. \quad (3.1)$$

де  $P_p$  – розрахунковий тиск, МПа;

$P_n$  – пробний тиск, МПа;

$D_B$  – зовнішній діаметр, мм;

$[\sigma]$  – нормативне допустиме напруження, МПа;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності зварних з'єднань.

Знаходимо величину нормативного допустимого напруження для сталі 12X18H10T при розрахунковій температурі:

$$[\sigma] = 145 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_{T20}}{1,1}, \quad (3.2)$$

де  $\sigma_{T20}$  – межа плинності матеріалу при температурі  $t = 20^\circ \text{C}$ .

$$[\sigma]_n = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа.}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях:

$$p_n = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]} \\ p + 0,3 \end{array} \right\}; \quad (3.3)$$

$$p_n = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,12 \cdot \frac{240}{145} \\ 0,12 + 0,3 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \\ 0,42 \end{array} \right\} = 0,42 \text{ МПа.}$$

Тоді розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки дорівнює:

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,12 \cdot 1600}{2 \cdot 1 \cdot 145 - 0,12} \\ \frac{0,42 \cdot 1600}{2 \cdot 1 \cdot 218 - 0,42} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,66 \\ 1,54 \end{array} \right\} = 1,54 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки циліндричної обичайки:

$$S = S^p + C_1 + C_2 + C_3 \quad (3.4)$$

де  $C_1 = \Pi \cdot \tau$  – корозійна прибавка ( $\Pi$  – проникність матеріалу, мм на рік;

$\tau$  – термін служби апарату);

									Лист
									64
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ				

$C_2$  – прибавка на ерозію;

$C_3$  – технологічна прибавка.

Згідно рекомендацій [1]:  $C_2=0$ ,  $C_3=0$ ,  $\Pi=0,145$  мм/рік,  $\tau=15$  років.

$$C_1 = 0,145 \cdot 15 = 2,175.$$

Тоді

$$S = 1,54 + 2,175 = 3,715 \text{ мм.}$$

Згідно ГОСТ 19903, приймаємо стандартну товщину листа для виготовлення обичайки  $S = 6,0$  мм.

### Розрахунок товщини стінки еліптичного днища.

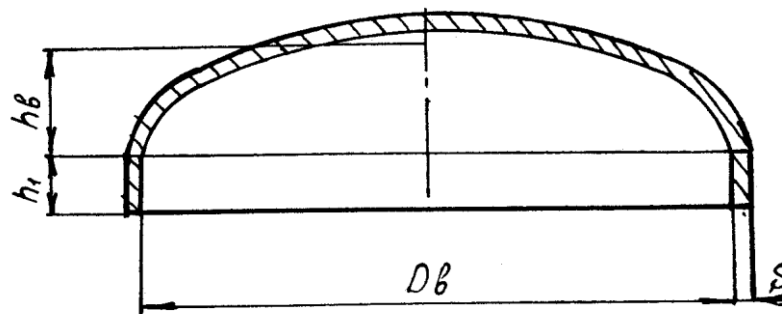


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

Визначимо товщину днища апарату.

$$S_p^u = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{p_p \cdot D_e}{2\phi[\sigma] - 0,5 \cdot p_p} \\ \frac{p_n \cdot D_e}{2\phi[\sigma]_n - 0,5 \cdot p_n} \end{array} \right\}; \quad (3.5)$$

$$S_p^u = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,12 \cdot 1600}{2 \cdot 1 \cdot 145 - 0,5 \cdot 0,12} \\ \frac{0,42 \cdot 1600}{2 \cdot 1 \cdot 218 - 0,5 \cdot 0,42} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,66 \\ 1,54 \end{array} \right\} = 1,54 \text{ мм.}$$

Також приймаємо стандартну товщину листа для виготовлення днища  $S^u = 6,0$  мм.



## 4 БУДІВЕЛЬНО-МОНТАЖНА ЧАСТИНА

### 4.1 Обґрунтування компоновання обладнання установки [10]

БРУ (брагоректифікаційна установка) та обладнання спиртоприємних відділень розміщуються в окремих будівлях або в частинах будівлі, відокремлених від інших капітальних стін. Приміщення повинні відповідати вимогам СНіП до приміщення для виробництва категорій А.

Монтаж апаратури та обладнання БРУ повинен виконуватися в строгому порядку відповідно до технологічної схеми. В установках рух спиртопродуктів з апаратів в апаратури організовується самопливом та насосною подачею. Для цього обладнання слід розміщувати із дотриманням відповідних перепадів висотних відміток, починаючи з відміток монтажного (умовного) нуля.

Компоновка обладнання на плані може бути вирішена за різними варіантами. Колони розміщуються в 1–2 ряди, Г- або П-подібним порядком. У міжповерхневих перекриттях приміщення залишається монтажний отвір, площа якого складається  $1/5 \dots 1/10$  частини загальної площі приміщень на плані. Розміри проектів вибирають такими, що забезпечують транспортування (підйом або опускання) самих більших за габаритами теплообмінників і царг колони.

При розміщенні обладнання на плані та по висоті необхідно передбачити забезпечення послуг обслуговування, спостереження та регулювання, очищення та ремонту обладнання трубопроводів.

Компоновку слід переглядати за найбільш навантаженими майданчиками. У компоновках має бути чітко визначений фронт обслуговування колон, контрольних спиртовимірюючих апаратів, дефлегматорів, конденсаторів, ротаметрів та іншого обладнання та приладів.

Осьова лінія розміщення колони повинна бути віддалена від стінок не менше ніж на 1,5 діаметра колони, найбільшої по діаметру в ряду колони. Між дефлегматорами, встановленими паралельно, повинен бути прохід не менше 1 м для огляду.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		66

При розташуванні колони в лінію, уздовж якої є вільний фронт не менше 2,5 м, між теплоізольованими колонами має бути відстань не менше 1 м. При розташуванні колон у дві лінії між осьовими лініями колон повинна бути відстань не менше 2,5 діаметра колони, найбільшої у рядах.

Компоновку основного технологічного обладнання виконують так, щоб обслуговування всієї технологічної схеми було максимально зручним, швидким та ергономічним.

Дефлегматори розташовуємо над колонами. Місце їх встановлення вибирається із дотриманням мінімальної протяжності спиртових труб від колонок, зручності очищення та заміни теплообмінних труб. При розташуванні дефлегматорів перпендикулярно до стіни, відстань від кришок дефлегматора до стін повинна бути не менше 1 м. Із протилежного боку дефлегматора – до стін повинен бути вільний простір не менше довжини теплообмінної труби дефлегматора.

Конденсатори та спиртоуловлювачі розміщуються біля дефлегматорів. Для зручності обслуговування та комунікації конденсаторів рекомендується їх групувати, наприклад, 1 група – конденсатори БК та ЕК; 2 група – конденсатори РК і колонні остаточного очищення та їх спиртоуловлювачі.

Усі засоби управління роботою БРУ зосереджують на майданчику обслуговування (як правило, 2-й поверх БРУ).

Колектор котельної пари рекомендується розміщувати на спеціально обладнаному майданчику між перекриттями 1-го та 2-го поверхів приміщень БРУ. При цьому від вентилів для ручного регулювання подачі пари в колону БРУ виводяться штурвали з маховиками на рівні майданчика обслуговування.

Для забезпечення самопливу продуктів за технологічною схемою необхідно суворо виконувати норми розміщення обладнання за високими позначками. У БРУ взаємне розташування колони з урахуванням робочих тисків їх експлуатації, дефлегматорів та іншого обладнання, окрім БК, вимагає чіткого узгодження.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		67

За оцінками монтажу РК узгоджують позначки ЕК і колон остаточного очищення і сивушної. Відмітка, на якій встановлюють ЕК, повинна бути не менше ніж на 2 м вище штуцера введення епюрату в РК. Відмітка, на якій встановлюють колону остаточного очищення, вибирається з урахуванням забезпечення перепаду висот не менше 1,5 м між рівнем відбору спирту з РК і рівнем введення спирту в КОО. Окрім того, між кубом КОО і тарілкою живлення РК перепад висот повинен бути не менше 1,8 м.

Відмітка, на якій встановлюють дефлегматори колон, повинна забезпечувати перепад висот не менше 1,2 м між флегмовими штуцерами дефлегматора і відповідної йому колони.

При монтажі трубопроводів необхідно керуватися наступними правилами:

- строга відповідність діаметрів комунікацій і штуцерів в апаратах, до яких приєднуються комунікації. У разі невідповідності ускладнюються управління і автоматизація установки;

- при установці регулюючих клапанів прямих ділянок до і після клапану повинно бути не менше 8 діаметрів трубопроводу;

- дотримуватися необхідних ухилів, не допускати П-подібних ділянок і прогинів на горизонтальних ділянках трубопроводів;

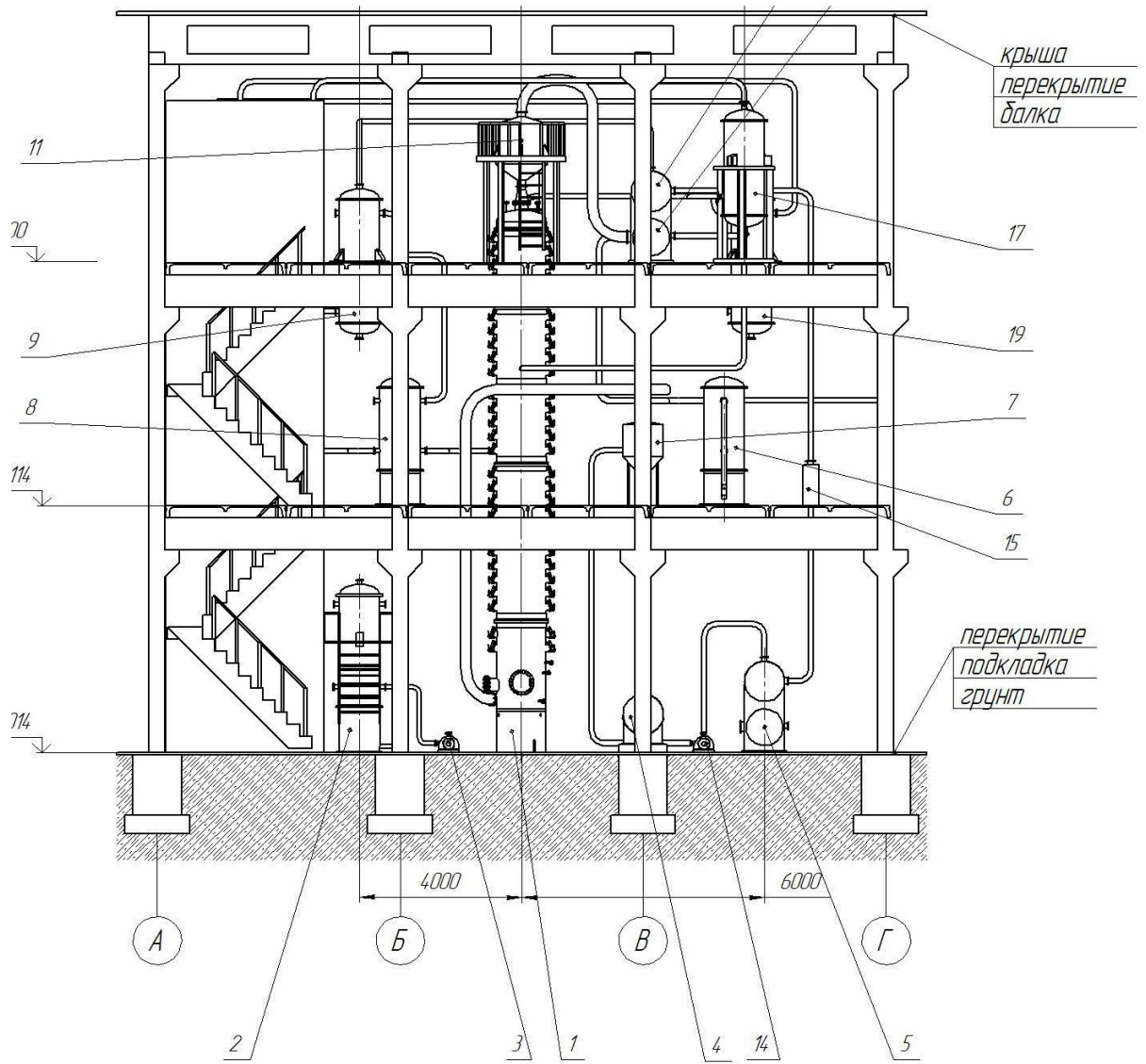
- на П-подібних ділянках переточних водяних комунікацій, що з'єднують по воді дефлегматори і конденсатори, встановити дренажні повітряники висотою 1,5–2 м з арматурою;

- глибина затворів на флегмових комунікаціях повинна бути не менше 1,5 м для БРУ непрямої дії;

- ділянки трубопроводів, що підводять котельну пару в колони, повинні бути виконаними П-подібно висотою 1,2–1,5 м вище рівнів введення пари в колони;

- паропроводи на всьому своєму протязі повинні мати ухили, що забезпечують стік конденсату.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		68



План на отметке 0,000 (1:125)

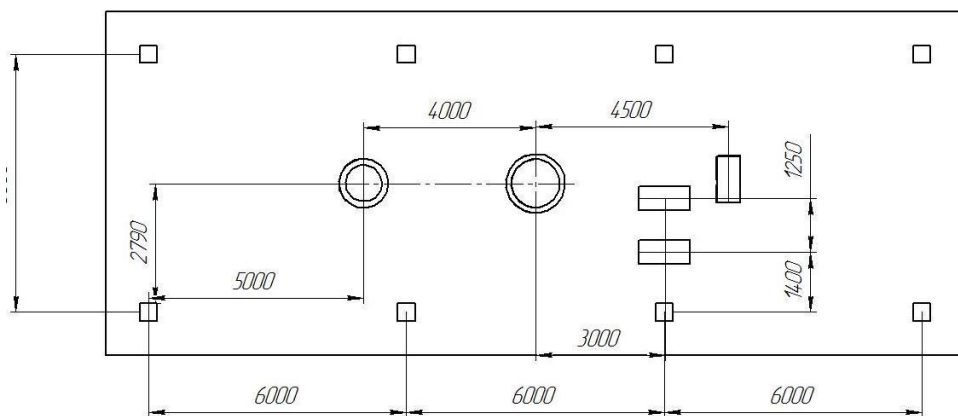


Рисунок 4.1 – Схема компоновки оборудования

Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ

Лист

69

У зв'язку з вимогами СНіП встановлюємо теплообмінне обладнання на відстані не менше 1 м від стіни приміщення. Для забезпечення вільного перетікання ухил трубопроводу становить близько 3–5°. Кути повороту колін трубопроводів 90°. Сходи обладнані поручнями для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

#### **4.2 Монтаж та ремонт основного технологічного обладнання [11, 12]**

При монтажі БРУ особливу увагу слід приділяти збірці колон. Необхідно, щоб колони були встановлені строго вертикально, а тарілки знаходилися в строго горизонтальному положенні. При цьому необхідно ретельно збирати царги колони. При складанні царги повинні стикуватися вільно і щільно, встановлюючи одна на іншу без зазору між ними. В іншому випадку слід ретельно оглянути кріпильні стійки між тарілками і за необхідності збільшити або зменшити їх висоту.

При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається із блоків, а потім приварюється опора. Частина апарата, що стикуються, підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромки однією зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок (див. рис. 4.2), які після прихватки стику короткими звареними швами зрізають газокисневим різанням.

Стиковку роблять за заводськими контрольними рисками, нанесеними на корпусах. Відхилення розмірів ділянок, що стикуються, повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромки в кільцевих швах не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарата, а у разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини шару.

У зварюваних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2–4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Кромки зварювальних частин ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повне зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом.

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		70

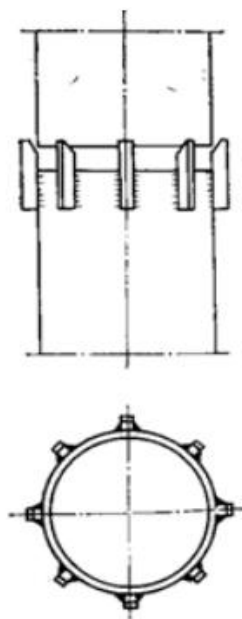


Рисунок 4.2 – Стиковка обичайок

Стики, що виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

При складанні царг необхідно уважно стежити за їх правильною установкою із дотриманням чергування розташування переливних склянок. При

недотриманні зазначених вимог знижується ефективність роботи тарілок, на установці важко досягти паспортної продуктивності, будуть порушені режими роботи колон. Окрім того, у РК порушуються умови виділення сивушного масла, що тягне за собою втрати спирту з лютерною водою.

Тарілка – контактний пристрій в колонній апаратурі, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки. Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарата (рис. 4.3).

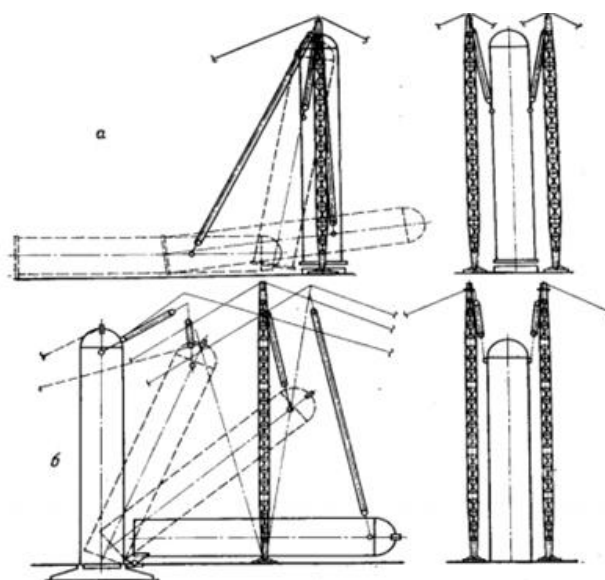


Рисунок 4.3 – Способи підйому колонного апарата:

а – способом ковзання опорної частини; б – поворотом навколо шарніра

При горизонтальному положенні апарата тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°.

Значно легше забезпечити строго горизонтальне положення тарілок в уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарата. У цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

Збірку тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз'ємних деталей (карманів, зливів, дисків, глухих сегментів). Зварювання проводять у відповідності до технічних умов, і з огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі дефекти зварювання. Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж. Для цього закриваються всі люки, розташовані нижче контрольованої тарілки, тарілка заливається водою, щоб надмірна кількість води зливалася через зливні пристрої. Злив по всьому периметру повинен бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Товщина шару води на всіх ділянках тарілки повинна бути також однаковою. Після заповнення гідро затворів за допомогою компресора нагнітається повітря. Рівномірність барботажа контролюється візуально.

Перед початком ремонту працівники технологічного цеху (оператори) виконують підготовчі роботи. Потім до роботи приступає ремонтний персонал виконавця ремонтних робіт (слюсарі-ремонтники). Як правило, при ремонті колонних апаратів із внутрішніми пристроями тарільчатого типу передбачаються наступні роботи:

– приймання колони в ремонт за актом представником ремонтної організації (майстром ремонтно-механічної бригади).

– перед тим, як безпосередньо приступити до ремонту, необхідно отримати інструктаж з охорони праці, техніки безпеки, газобезпеки, пожежної безпеки і оформити наряд допуску на проведення газонебезпечних робіт всередині колонного апарата.

– керівник ремонтного підрозділу (майстер РМЦ) повинен ознайомитися з результатами підготовчих робіт до ремонту колони або в цілому установки, зазначених в наряді допуску.

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		73



– отримати дозвіл особи, відповідальної за організацію безпечного проведення газонебезпечних робіт в цеху (начальника або заступника начальника цеху) і приступити до виконання ремонтних робіт.

– відкриття люків-лазів проводять, починаючи із верхнього, а далі послідовно зверху вниз. Забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки-лази, щоб уникнути підсосу повітря в колону і займання пароповітряної суміші.

– працівниками технологічного цеху проводиться відбір проб повітря з усіх люків колони. Результати аналізів на вміст вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечних речовин, і на вміст кисню записуються в наряді допуску.

– перед початком ремонту перевіряють температуру повітряного середовища всередині колони, яка не повинна перевищувати 30°C. Під час очистки і розбирання тарілок в колоні працює по двоє людей в кожному люку: один всередині колони у шланговому протигазі з рятувальним поясом і сигнально рятувальною мотузкою; другий спостерігаючий дублер: зовні, поруч із люком, зі шланговим протигазом.

Очищення стінок міжтарілкового простору, опорних конструкцій тарілок, зливних карманів і стінок кубової частини колони роблять за допомогою металевих скребків і щіток, а також за допомогою механізованих пристосувань і інструментів. Відкладення і бруд видаляють з колони дерев'яними лопатами через люк-лаз і спускають їх в цеберку зі спеціальними жолобами.

Тарілки розбирають в кожному люку послідовно, починаючи з верхньої. Повне розбирання усіх тарілок роблять по секціях (сегментам). Спуск секцій тарілок проводиться за допомогою кран-укосини.

Чистку тарілок проводять на зовнішньому майданчику в захисних окулярах за допомогою металевих скребків і щіток.

Одночасно проводять продування секцій парою і відбраковування дефектних деталей тарілок шляхом легкого обстукування молотком вагою від 0,5 до 1 кг.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		74

Після очищення проводять заміну частини ковпачків. Деталі ковпачків виготовляються заново і збираються. Найбільш відповідальною операцією є приварка шпильки до корпусу ковпачка, оскільки якщо ці деталі не будуть на одній осі – правильне встановлення ковпачка є неможливим. Співвісність деталей забезпечується спеціальною оправкою, яка дозволяє також змінювати висоту шпильки шляхом її часткового розгинання при затягуванні гайки.

При ремонті корпусу колони керуються стандартами, відповідно до яких розробляється технологія усунення дефектів корпусу і його покриття. Ремонт опорних конструкцій тарілок, зливних карманів вогневими методами із використанням ручного дугового електрозварювання (РДЕЗ) і газозварювання проводять після оформлення дозволу на проведення вогневих робіт усередині апарата, дозволу на проведення газонебезпечних робіт і наряду-допуску на проведення робіт підвищеної небезпеки на кожну робочу зону, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони.

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце встановлюються нову ділянку, заздалегідь звальцьовану по радіусу колони. Тип зварювання – встик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектної ділянки її зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні. Число та перетин стійок, розміри опорних лап розраховують, виходячи з умови рівності їх опорів опору вирізаного перетину. За допомогою таких стійок можна замінити весь пошкоджений пояс колони декількома частинами.

Збірку тарілок проводять аналогічно розбиранню, у зворотному порядку, знизу-вгору. При складанні тарілок контролюють горизонтальність установки тарілок за шаблоном або за допомогою лінійки і рівня. Відхилення від горизонтальності має бути в допустимих межах, визначених індивідуально для кожного типу тарілок.

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		75

Після закінчення встановлення тарілок і ремонту колони, якість проведених ремонтних робіт перевіряє представник адміністрації цеху, відповідальний за проведення ремонту (старший механік цеху, заступник начальника цеху з ремонту). Після цього з колони прибирають сторонні предмети, матеріали, інструменти, пристосування і закривають люки-лази. Люки-лази закривають знизу-вгору, починаючи з нижнього.

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		76

## 5 ІНФОРМАЦІЙНЕ ТА АПАРАТУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ

Харчова промисловість країни покликана забезпечити зростання обсягів виробництва, що дозволяють задовольнити першочергові потреби населення. У зв'язку із цим треба буде розв'язати ряд завдань з технічного переоснащення підприємств різних галузей харчової промисловості шляхом оснащення їх поточними лініями та обладнанням, що забезпечують комплексну переробку сировини. Виконання цих завдань можливе лише на основі широкого впровадження автоматизації.

До теперішнього часу в автоматизації технологічних процесів хімічної промисловості досягнуто значних успіхів. Накопичений у цій галузі досвід дозволяє проектувати системи автоматизації технологічних процесів для всіх видів споруджуваних і модернізованих підприємств харчової промисловості. У процесі ректифікації відбувається безперервний обмін між рідкою і паровою фазами. У зв'язку із підвищенням вимог до якості ректифікованого спирту підвищуються вимоги і до якості управління брагоректифікаційною установкою. Від правильного дотримання процесу браго ректифікації, у значній мірі, залежить якість і вартість продукції, що випускається.

Незадовільна робота ректифікаційних установок часто призводить до підвищених втрат спирту, погіршення його якості, зниження продуктивності установок і значних перевитрат матеріальних і енергетичних ресурсів.

Причинами порушень в роботі ректифікованого обладнання можуть бути дефекти монтажу, конструктивні недоліки окремих елементів апаратури, неоптимальний технологічний режим. Тому велике значення мають своєчасне попередження і виявлення недоліків (неполадок) в ректифікаційній апаратурі, а також правильна її експлуатація.

Значно розширилися можливості автоматизації, контролю та регулювання процесу ректифікації. Використання мікропроцесорних контролерів у

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		77

якості центральних керівних органів дозволяє врахувати більш широкий спектр технологічних вимог і підвищити надійність підтримки оптимального технологічного режиму.

Розробка систем управління технологічним процесом виробництва спирту протягом багатьох років є об'єктом досліджень. Проблеми автоматизованого управління процесами ректифікації активно розроблялися як в нашій країні, так і за кордоном, однак рішення багатьох завдань у цій області, як і раніше залишається актуальним. Вирішення цих проблем має не тільки наукове, а й важливе народно-господарське значення.

Технологічний процес ректифікації – це заключна і найбільш відповідальна стадія отримання кінцевого продукту спиртового виробництва – етилового спирту. Якість отримання спирту багато в чому залежить від точності підтримки технологічних режимів роботи брагоректифікаційної установки. Виділення товарного спирту з бражки – найбільш енергоємна стадія всього виробництва, оскільки основна частка в споживанні енергії у хімічних технологіях (до 80 %) припадає на систему виділення продуктів з реакційної маси і їх очищення.

Завдання управління процесом ректифікації полягає в отриманні цільового продукту заданого складу при встановленій продуктивності і мінімальних витратах.

Вихідна суміш попередньо нагрівається в теплообміннику водяною парою до температури кипіння і надходить в епюраційну колону, на її тарілку живлення. Рідина, що знаходиться в кубі колони, випаровується в виносному кип'ятильнику, який обігрівається парою, і у вигляді парової фази проходить вгору по колоні. Паровий потік, виходячи з колони, потрапляє в охолоджуваний холодоагентом, наприклад, водою, дефлегматор, де пара конденсується. Новоутворена рідка фаза стікає у вигляді флегми в ємність, звідки насосом нагнітається у верхню частину колони на зрошення у вигляді і частково відводиться з установки у вигляді дистилляту. Флегма стікає вниз по колоні.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		78

Цільовими продуктами ректифікаційної установки можуть бути як дистиллят, так і кубовий залишок – це визначається технологічною схемою.

Основними регульованими технологічними величинами процесу є склади дистилляту або кубового залишку. На чистоту цих цільових продуктів впливають ряд збурюючих впливів процесу – склад, витрата і температура вихідної суміші, параметри тепло- і холодоагенту, тиск в колоні та інші величини.

На схемі здійснюється стабілізація окремих величин за допомогою локальних автоматизованих систем керування (АСК). Ці АСК пов'язані між собою через процес і забезпечують дотримання матеріального і теплового балансів установки.

Наявність АСК витрати вихідної суміші істотно полегшує роботу всіх інших АСК установки. Вихідна суміш повинна подаватися в колону при температурі кипіння. Температура суміші підтримується на постійному значенні.

Гідравлічний опір колони майже не змінюється, тому тиск в колоні досить стабілізувати в одному місці, зазвичай у верхній її частині.

Згідно з правилом фаз при розділенні бінарної суміші, якщо тиск в колоні постійний, склад бражного дистилляту і температура однозначно пов'язані між собою. Тому для управління подачею флегми застосовують регулятор температури у верхній частині колони.

Для підвищення чутливості АСК складу вимірюють вміст домішок в цільовому продукті. Проби продукту до аналізатора складу відбирають також на контрольній тарілці колони, але розташованій ближче до верху (низу) колони, ніж при регулюванні температури.

Якщо цільовим продуктом є кубовий залишок, то до протікання процесів у відгонній частині колони пред'являються більш жорсткі вимоги, ніж до процесів у зміцнюючій її частині. Із цією метою регулюють склад кубового залишку, а точніше вміст НКК у кубовому продукті, змінюючи подачу гріючої пари в кип'ятильнику. У разі бінарної суміші таким же чином регулюють температуру на контрольній тарілці нижньої частини колони.

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		79

Недоліком описаної схеми автоматизації, яка складається з окремих одноконтурних АСК, є те, що впливи суттєво змінюють режим роботи колони, внаслідок досить великого запізнювання протікаючих у ній процесів, причому це відбувається ще до того, як регулятори основних технологічних величин почнуть компенсувати вплив збурень.

Основною метою автоматизації брагоректифікаційного відділення є максимізація економічної ефективності, його функціонування за рахунок оптимізації основних технологічних процесів і забезпечення стабільності і безаварійності виробництва.

Найважливішою умовою підвищення економічності технологічного процесу в цілому є стабільність технологічних параметрів. Підвищення стабільності матеріального потоку на всіх виробничих ділянках є головним завданням автоматизації відділення. Стабілізація матеріального потоку повинна бути досягнута усуненням або компенсацією впливів, що збурюють, згладжуванням коливань потоку.

Брагоректифікаційні установки є об'єктами з найбільшою кількістю взаємних зв'язків: на їх прикладі розглянемо загальні принципи контролю, регулювання та автоматизації ректифікаційних установок.

На рис. 5.1 показана принципова схема найпростішої системи автоматизації типової брагоректифікаційної установки непрямої дії (епюраційної колони). Система складається з 9 контурів роздільного регулювання, пов'язаних лише технологічним процесом і однією каскадною схемою. Системи виконуються на пневматичних стандартних приладах МАУС і СТАРТ (УСЕППА), застосування яких дозволяється у вибухонебезпечних приміщеннях.

Робота епюраційної колони регулюється по двох каналах: витрата пари – тиск у кубі колони (регулятор Р4); витрата води – витрата (відбір) головної фракції (регулятор Р5). Тиск у кубі колони і відбір головної фракції встановлюються попередньо експериментальним шляхом.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		80





тифікованого спирту – ротаметр РП-1,6, ЖУЗ; виконавчі механізми – клапан регулюючий з пневматичним приводом.

У зв'язку з тим, що запропонована схема морально застаріла, то доцільно замінити її на більш нову і ефективну.

Дана АСУ ТП розроблена як інструмент оператора для підвищення ефективності та зручності роботи. Вона оперативно надає технологічному персоналу інформацію про стан об'єкта управління, реєструє протікання технологічного процесу отримання спирту для подальшої аналітичної обробки.

Система управління забезпечує:

1. Автоматичне управління технологічним обладнанням і виробничими процесами за заданим алгоритмом при тривалій роботі, з підтриманням встановлених параметрів. При цьому передбачена можливість завдання оператором параметрів автоматичного режиму для окремих виконавчих механізмів.

2. Інформаційне забезпечення роботи оператора: аварійна і попереджувальна сигналізація; реєстрація необхідних параметрів; надання поточної та архівної інформації про стан обладнання та параметри технологічного процесу; роздруківка звітів (за зміну, добу, місяць) і графіків; візуалізація технологічного процесу і параметрів обладнання в цифровому і графічному вигляді.

3. Введення архівів параметрів і подій. В архіві параметрів зберігаються показання всіх аналогових сигналів, що надходять на входи контролера.

Розглянута вище система автоматичного управління установкою з виробництва ректифікованого спирту, дозволяє підвищити надійність роботи обладнання, поліпшити забезпечення обслуговуючого персоналу інформацією про технологічні параметри, збільшити оперативність усунення аварійних ситуацій (зменшує час простоїв). Завдяки точності підтримки технологічних параметрів, система не допускає перевитрат теплоносіїв (пари і води); підтримує необхідну міцність кінцевого продукту, збільшуючи, відповідно, його вихід.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		82

Виходячи з особливостей об'єкта автоматизації і функцій системи, у якості апаратної бази використовуємо промисловий контролер SIMATIC S7 фірми SIEMENS. Його перевагою є висока надійність роботи, модульна архітектура, збереження інформації при пропажі живлення, можливість програмного управління ПД-регулюванням, простий інтерфейс зв'язку з персональним комп'ютером. Двосторонній зв'язок з комп'ютером підтримується через послідовний (COM) порт.

Програмовані контролери SIMATIC S7-200 призначені для побудови систем автоматичного управління і регулювання, як окремих машин, так і окремих частин виробничого процесу. На основі програмованих контролерів SIMATIC S7-200 можуть створюватися ефективні керуючі пристрої, що відрізняються порівняно невисокою вартістю.

### **5.1 Вибір і обґрунтування параметрів контролю і регулювання [13]**

Система управління виробництвом спирту повинна складатися з наступних взаємопов'язаних контурів регулювання:

- регулювання подачі флегми – непряме регулювання показника ефективності процесу;
- регулювання подачі холодоагенту – забезпечує матеріальний баланс по паровій фазі;
- регулювання відбору флегми – забезпечує матеріальний баланс по рідкій фазі верху колони;
- регулювання відбору кубового продукту – забезпечує матеріальний баланс по рідкій фазі низу колони;
- стабілізація витрати живлення – забезпечує: матеріальний баланс по усій речовині; зняття найбільш істотних збурень; задане положення робочої області колони; стабілізацію продуктивності установки;

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		83

- стабілізація витрати граючої пари – забезпечує тепловий баланс установки.

Показником ефективності процесу ректифікації є склад цільового продукту, а метою управління – підтримання постійного складу цільового продукту. Склад іншого продукту при цьому може коливатися в певних межах внаслідок зміни складу вихідної суміші. У якості цільового продукту приймаємо дистиллят.

Велике значення для процесу ректифікації має температура вихідної суміші. Якщо суміш починає надходити в колону при меншій температурі, аніж температура кипіння, вона повинна нагріватися до цієї температури парами, що йдуть із нижньої частини колони. Конденсація парів при цьому збільшується, що порушує весь режим процесу ректифікації. Тому температуру вихідної суміші стабілізують зміною витрати теплоносія, що подається в теплообмінник.

Склад дистилляту (концентрація  $Y$ ) визначається концентрацією  $X$ , температурою кипіння  $t$  рідини і тиском пари  $P$  над рідиною. Для отримання певної концентрації відповідно до правила фаз слід підтримувати на певному значенні тільки два з перерахованих параметрів, наприклад, тиск  $P$  і концентрацію  $X$ .

Тиск  $P$  легко стабілізувати зміною витрати пари. Виконавчий пристрій при цьому встановлюємо на шлемовой трубі, яка з'єднує верхню частину колони з дефлегматором.

Стабілізація тиску у верхній частині колони необхідна не тільки для підтримання заданого складу цільового продукту, але і для забезпечення нормального гідродинамічного режиму колони, оскільки при зменшенні тиску може відбутися «захливання» колони, а при його збільшенні знижується швидкість парового потоку, що пов'язано зі зменшенням продуктивності установки.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		84

Порівняно просто регулювати також і концентрацію X зміною витрати флегми: чим вища ця витрата, тим більше низькокиплячого компонента буде в рідині, і навпаки.

Отже, для досягнення мети управління необхідно стабілізувати тиск і склад рідини у верхній частині колони шляхом зміни витрати холодоносія, що надходить в дефлегматор, і витрати флегми. Якість регулювання цих параметрів залежить від складу і швидкості парів, що рухаються з нижньої вищерпної частини колони і визначаються її технологічним режимом.

## 5.2 Вибір і обґрунтування технічних засобів автоматизації [14]

Вибір приладів автоматизації повинен проводитися з тих засобів автоматизації, які випускаються серійно і вже себе зарекомендували. По можливості необхідно вибирати з тих приладів, які випускаються на Україні.

Вибір приладів будемо проводити, спираючись на необхідний діапазон вимірювань. Застосування пневматичних приладів обґрунтовано пожежонебезпекою спиртового виробництва.

Для проведення, контролю і регулювання процесом були обрані наступні прилади.

**Автоматичний контроль температури.** Сімейство вимірювальних перетворювачів температури фірми SIEMENS представлено перетворювачами SITRANS T, термоперетворювачами опору і термопарами для якісного вимірювання температури в будь-яких, навіть самих екстремальних, умовах. Датчики застосовуються в хімічній, фармацевтичній, харчовій, енергетичній та інших галузях промисловості.

Існують варіанти термометрів з цифровою індикацією показань. Також доступні вибухозахищене виконання датчиків.

Перетворювач SITRANS T серії: TW – універсальний перетворювач з виходом 4–20 мА + HART, програмований за допомогою РС.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		85

**Автоматичний контроль витрати.** Сімейство витратомірів SITRANS F здатне вирішити задачу точного і надійного вимірювання витрати практично будь-якого середовища, використовуючи сучасні, перевірені часом, способи вимірювання витрати. Перетворювач SITRANS F серії M Magflo – магнітоіндукційні витратоміри. Застосовуються для вимірювання витрати електропровідних рідин і суспензій.

**Автоматичний контроль рівня.** Гама рівнемірів SIEMENS для контролю рівня рідких і сипких середовищ втілена в сімействі SITRANS L і дозволяє знайти рішення для широкого спектра задач. Сигналізатор граничного рівня (ємнісний) Pointek CLS 200 – універсальний сигналізатор із високою хімічною стійкістю.

**Автоматичний контроль тиску.** Сімейство вимірювальних перетворювачів SITRANS P служить для вимірювання надлишкового, вакууметричного, абсолютного і диференціального тиску рідких, газо- і пароподібних середовищ, а також для вимірювання гідростатичного рівня рідини в ємностях. Перетворювач SITRANS P серії ZD – перетворювач надлишкового та абсолютного тиску з цифровим індикатором.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей під час роботи установки [15–19]

Головне завдання охорони праці – звести до мінімальної ймовірності ураження або захворювання робітника, з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Продуктивність праці підвищується за рахунок збереження здоров'я і працездатності людини, зменшення числа аварій і т. п. Поліпшення умов праці його безпеки призводить до зниження виробничого травматизму і професійних захворювань, що зберігає здоров'я працюючих.

Прискорений розвиток хімічної промисловості, будівництво нових і реконструкція старих діючих виробництв, вимагають особливої уваги до питань охорони праці.

Одним із об'єктів проектованого виробництва є епюраційна колона для очищення бражного дистилляту від головних домішок. Епюраційна колона являє собою циліндричний апарат висотою 12350 мм, діаметром 1600 мм. Вгору по колоні піднімаються концентровані пари спирту, а вниз – сконденсована рідина. Процес протікає при температурі 67–73°C. Тиск в колоні – 0,6 ат. Продуктивність установки 6000 дал/добу. В установці обертових частин немає. Вібрацій при роботі установки не виникає.

В процесі виробництва спирту з ректифікаційної епюраційної колони проводиться відбір епюрату, ефіроальдегідної фракції (головної домішки), сивушного масла, сивушного спирту (хвостові домішки).

Спирт етиловий (ГОСТ Р 51723-2001 «Спирт етиловий питний 95 %-ий. Технічні умови») є легкозаймистою рідиною. При концентрації 96 % об. і атмосферному тиску температура спалаху 13°C, кипіння 78,3°C, а самозаймання 404°C. Це прозора безбарвна рідина з пекучим смаком і характерним запахом. Етиловий спирт дуже гігроскопічний, він поглинає вологу з повітря, а також з рослинних і тваринних тканин, внаслідок чого вони руйнуються.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		87

Спирт змішується з водою в будь-яких співвідношеннях, а також ефіром, гліцерином, бензином та іншими органічними розчинниками. Спирт горить блідо-блакитним полум'ям. Спирт отруйний для людини і відноситься до сильнотоксичних наркотичних засобів, що викликають спочатку збудження, а потім параліч нервової системи. Пари спирту здатні також викликати захворювання центральної нервової системи, травного апарату, печінки, серцево-судинної системи. Гранично допустима концентрація парів спирту в повітрі  $1000 \text{ мг/м}^3$  (1 мг/л). Пари спирту в суміші з повітрям, при концентрації спирту від 2,8 % об. до 14 % об., створюють середовище здатне вибухати від джерела вогню, іскри і т. п.

Головна фракція етилового спирту відповідно до ОСТ 18-121-73 являє собою спиртово-водневу рідину з легколеткими домішками: альдегідами, ефірами, кислотами, метанолом та ін. Концентрація спирту в ній не менше 92 % об. Вихід продукту становить 4 % від спирту-сирцю. Головну фракцію використовують для отримання ректифікованого, технічного та денатурованого спиртів. Альдегіди надають спирту в малих концентраціях приємний присмак, особливо аромлін. Кислоти в малих концентраціях надають спирту приємний присмак, пом'якшують смак. Ефіри підсилюють запах.

Сивушне масло є побічним продуктом ректифікації, що представляє собою суміш вищих спиртів, етилового спирту і води. Отримують у кількості 3–4 % об. загальної кількості спирту. Згідно ГОСТ 17071-91 «Масло сивушне. Технічні умови» сивушне масло містить: етилового спирту 5–12 % об., н-пропанолу 7–15 % об., ізо-бутанолу 10–20 % об., ізо-амілу 50–60 % об., води 5–10 % об.

З точки зору техніки безпеки ці речовини класифікують за ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».

У проектованому апараті наступні потенційні небезпеки і шкідливості відповідно до ГОСТ 12.0.003-91 «ССБТ. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація»:

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		88

**1. Небезпека отримання термічних опіків.** Ця небезпека відноситься до фізичної групи. Процес ректифікації відбувається при температурі 67–73°C, а, отже, поверхня ректифікаційної колони, а також штуцерів і труб буде нагрівається до температури близько 73°C. При дотику до зовнішньої поверхні колони людина може отримати термічний опік. Відповідно до СН 245-79 «Санітарні норми проектування промислових підприємств» температура зовнішніх поверхонь не повинна перевищувати 45°C.

**2. Небезпека отруєння парами спирту.** При нормальній роботі обладнання загальна кількість спиртових парів, що надходять в повітря, 1,24 кг/год. У разі виникнення на робочому місці високих концентрацій спиртових парів у робочих з'являються ознаки отруєння – кашель, задуха, запаморочення, а іноді і втрата свідомості, припинення дихання і серцевої діяльності. Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» гранично допустима концентрація парів етилового спирту становить 1000 мг/м<sup>3</sup>. При використанні процесу під вакуумом небезпека отруєння парами спирту виключається.

**3. Може призвести до вибуху і пожежі.** Робочим середовищем є пара етилового спирту. Суміш парів етилового спирту з повітрям на підставі «Правил виготовлення вибухозахищеного та рудникового обладнання» за класифікацією ПУЕ відноситься до другої категорії вибухонебезпечності до групи Т2. Температура спалаху парів етилового спирту 13°C. Температура самозаймання 404°C, нижня межа вибуховості в суміші з повітрям – 3,6 % об., верхня межа вибуховості – 19 % об.

**4. Небезпека падіння з висоти.** Висота епюраційної колони близько 13 метрів. При ремонті або огляді колони людина може впасти з висоти.

**5. Небезпека утворення статичної електрики.** Існує можливість утворення статичної електрики при відносному переміщенні двох перебуваючих у контакті тіл, шарів рідини, тобто в потоці, в струмені пари або газу. Етиловий спирт відноситься до найбільш небезпечним рідин за діелектричними власти-

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		89



востями. Накопичення статичної електрики відбувається при транспортуванні етилового спирту в трубопроводах, при наливних і зливних операціях, що веде до пожеж і вибухів, у результаті яких можуть загинути люди.

Для усунення потенційних небезпек і шкідливостей передбачені наступні заходи:

1) для усунення небезпеки отримання термічних опіків застосувати теплоізоляцію, щоб знизити температуру стінки до 45°C;

2) для усунення отруєння парами спирту передбачено:

- застосування паронітових прокладок в місцях з'єднання царг і трубопроводів;

- перевірка якості повітря в робочій зоні. При підвищенні норм – автоматичне включення припливно-витяжної вентиляції;

3) для усунення небезпеки вибуху і пожежі необхідно передбачити наступне:

- приміщення брагоректифікаційного відділення забезпечити надійною загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією із застосуванням радіальних вентиляторів іскрозахищеного виконання;

- приміщення брагоректифікаційного відділення обладнати стаціонарними установками пожежогасіння згідно з переліком вибухонебезпечних і пожежонебезпечних виробництв мікробіологічної, харчової промисловості, що підлягають обладнанню автоматичними засобами пожежогасіння, пожежним водопроводом, ящиками з піском і лопатами, вогнегасниками типу ОХП і ОУ;

- освітлювальні і силові електропроводки виконати із дотриманням правил вибухонебезпечності і містити в справному стані;

- установка електроприводів, пускачів, засобів автоматизації допускається тільки у вибухобезпечному виконанні. Електромотори й пускачі, виконані не у вибухонебезпечному виконанні, виносяться за межі приміщення;

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		90

- приміщення брагоректифікаційного відділення забезпечити аварійною вентиляцією, з сигналізатором РГД, який автоматично включає аварійну вентиляцію в приміщенні при досягненні кількості парів спирту в повітрі 50 % ГДК. Аварійна вентиляція повинна забезпечувати 8–10-ти кратний повітрообмін в годину на додаток до роботи основної вентиляції. Крім автоматичного включення систем аварійної вентиляції передбачити також і ручне дистанційне їх включення з розташуванням пускових пристроїв у одній з основних дверей зовні приміщення;

- здійснити блискавкозахист будівлі брагоректифікаційного відділення відповідно до СН 205-77 по I категорії;

4) для усунення небезпеки падіння з висоти необхідно застосувати огорожі обслуговуючих майданчиків і стежити за їх чистотою;

5) для усунення небезпеки виникнення статичної електрики необхідно заземлити. Заземлювальні пристрої для захисту від статичної електрики слід об'єднувати з заземлюючими пристроями для електрообладнання.

Застосування перерахованих вище заходів допоможе поліпшити умови праці і звести виробничий травматизм до мінімуму.

Техніка безпеки при експлуатації ректифікаційних установок визначається тим, що пари спирту і супутніх йому домішок, в тій або іншій кількості містяться в повітрі, є токсичними і в певних співвідношеннях з повітрям утворюють пожежо- та вибухонебезпечну суміш.

Відповідно до класифікації легкозаймистих рідин спирт і його домішки відносяться до I класу.

Будівництво та обладнання приміщень ректифікаційних відділень слід вести із суворим дотриманням норм і правил пожежної безпеки для будівель, що належать до категорії А. За вибухонебезпечності епюраційні відділення відносяться до класу В-1А.

Перед зварювальними роботами всередині ректифікаційного відділення необхідно:

					<b>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		91

- закінчити зливання спирту з установки не менше ніж за 2 години до початку зварювання;

- повністю видалити спирт з установки, контрольних снарядів і спирто-приймального відділення в спиртосховища;

- ретельно провентилювати приміщення.

При проведенні зварювальних робіт не дозволяється вносити в приміщення балони з киснем.

Для освітлення апаратів всередині при ремонті, чищенні і огляді слід застосовувати низьковольтні переносні лампи (12–24 В), для переносного освітлення при експлуатації установки дозволяється користуватися тільки електричним ліхтарем напругою 2–3,5 В.

Усі працівники виробництва повинні знати і суворо дотримуватися правил техніки експлуатації обладнання і установки в цілому.

## 6.2 Розрахунок системи вентиляції [20]

Однією з необхідних умов здорової і високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря і нормальних метеорологічних умов у приміщеннях. Усунення впливу таких шкідливих виробничих факторів, як газів, парів, пилу, надлишкового тепла і вологи і створення здорового повітряного середовища, яке повинно здійснюватися комплексно, одночасно з вирішенням основних питань виробництва.

У приміщенні цеху, де виробляють етиловий спирт, повинна працювати припливно-витяжна механічна вентиляція. Припливно-витяжна вентиляція відноситься до механічної вентиляції. У приміщенні розташований повітропровід системи припливної вентиляції, пов'язаний з вентилятором. Через повітрозабірний пристрій свіже повітря з атмосфери нагнітається вентилятором і надходить через перфоровані отвори повітропроводу. Забруднене повітря з приміщення під дією створюваного надлишкового тиску виштовхується на-

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		92

зовні через віконні прорізи або видаляється витяжною системою вентиляції. Через повітропровід забруднене повітря відводиться з приміщення за допомогою потужного вентилятора і викидається в атмосферу після попереднього очищення в циклоні.

Розрахунок механічної вентиляції полягає у визначенні необхідного обсягу повітря, яке підлягає подачі або видаленню з приміщення. Цей розрахунок здійснюється за наявності шкідливих речовин, що виділяються через нещільності в обладнанні.

Розрахункова формула:

$$L = \frac{G}{C_{ГДК} - C_{ПР}}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (6.1)$$

де  $G$  – маса шкідливих речовин, що виділяються в приміщенні в одиницю часу, г/год.;

$C_{ГДК}$  – гранична допустима концентрація шкідливої речовини за ГОСТ 12.1.005-88, мг/м<sup>3</sup>;

$C_{ПР}$  – концентрація тієї ж шкідливої речовини у припливному повітрі, мг/м<sup>3</sup>.

У процесі виробництва етилового спирту через нещільності фланцевих з'єднань апарату і трубопроводів виділяється така кількість шкідливих речовин:

$G_1=433,3$  г/год. – викид етилового спирту;

$G_2=11,2$  г/год. – викид метилового спирту;

$G_3=7,7$  г/год. – викид альдегідів;

$G_4=12,65$  мг/год. – викид етилового ефіру;

$G_5=17,59$  г/год. – викид ізо-бутилового спирту;

$G_6=52,7$  г/год. – викид ізо-амілового спирту.

Концентрація шкідливої речовини в припливному повітрі не повинна перевищувати 30 % від гранично допустимої:

$$C_{\text{ПР1}}=C_{\text{ГДК1}}\cdot 0,3=1000\cdot 0,3=300 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{\text{ПР2}}=C_{\text{ГДК2}}\cdot 0,3=5\cdot 0,3=1,5 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{\text{ПР3}}=C_{\text{ГДК3}}\cdot 0,3=5\cdot 0,3=1,5 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{\text{ПР4}}=C_{\text{ГДК4}}\cdot 0,3=0,15\cdot 0,3=0,045 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{\text{ПР5}}=C_{\text{ГДК5}}\cdot 0,3=10\cdot 0,3=3 \text{ мг/м}^3;$$

$$C_{\text{ПР6}}=C_{\text{ГДК6}}\cdot 0,3=10\cdot 0,3=3 \text{ мг/м}^3.$$

Тоді:

$$L_1 = \frac{433,3 \cdot 10^3}{1000 - 300} = 619 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_2 = \frac{11,0 \cdot 10^3}{5 - 1,5} = 3142,8 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_3 = \frac{7,7 \cdot 10^3}{5 - 1,5} = 2200 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_4 = \frac{12,65}{0,15 - 0,045} = 120,48 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_5 = \frac{17,59 \cdot 10^3}{10 - 3} = 2512,8 \text{ м}^3/\text{ГОД.};$$

$$L_6 = \frac{52,7 \cdot 10^3}{10 - 3} = 7528,8 \text{ м}^3/\text{ГОД.}$$

Визначаємо кратність вентиляції. Кратність вентиляції показує скільки разів протягом одиниці часу (1 години) відбувається повна зміна повітря в приміщенні:

$$K = \frac{L_{\text{МАХ}}}{V_{\text{П}}}, \text{ од./год.}, \quad (6.2)$$

де  $L_{\text{МАХ}}$  – максимальне значення обсягу повітря, отримане за однією із попередніх формул,  $\text{м}^3/\text{ГОД.}$ ;

$V_{\text{П}}$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ :

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		94



Тоді:

$$P_c = \frac{7,5^2 \cdot 1,293}{2 \cdot 9,81} \cdot \left( \frac{0,2 \cdot 65,5}{0,6} + 14 \cdot 1,1 + 8 \cdot 0,2 \right) = 16927 \text{ Па};$$

$$H = 16927 \cdot \frac{273+30}{273+20} = 17505 \text{ Па}.$$

Далі визначаємо потужність приводного електродвигуна за формулою:

$$N = \frac{K \cdot L_{MAX} \cdot H}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_B \cdot \eta_{ПР}}, \text{ кВт} \quad (6.5)$$

де  $\eta_B$  – ККД вентилятора,  $\eta_B=0,5 \div 0,55$ ; приймаємо  $\eta_B=0,52$ ;

$\eta_{ПР}$  – ККД приводу,  $\eta_{ПР}=0,9 \div 1$ ; приймаємо  $\eta_{ПР}=0,9$ .

$$N = \frac{3,05 \cdot 75286 \cdot 17505}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,52 \cdot 0,9} = 226 \text{ кВт}.$$

За аеродинамічними характеристиками вибираємо відцентровий вентилятор В-Ц4-70.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		96

## ВИСНОВКИ

В роботі проведено літературний огляд джерел за тематикою роботи, а саме розглянуто три варіанти технологічних схеми брагоректифікаційної установки. Запропонована модернізація проектованої епюраційні колони за рахунок використання нової конструкції контактних пристроїв – замінити клапанні тарілки на більш ефективні тарілки з S-подібних елементів.

Наведено обґрунтування вибору технологічної схеми виробництва харчового етилового спирту в брагоректифікаційній установці побічної дії, наведено теоретичні основи процесу ректифікації спирту з бражного дистиляту, Виконані технологічні розрахунки виробництва, проектованого апарату, проведені конструктивні і розрахунки на міцність, що підтверджують працездатність і надійність колони. Розроблено схему автоматизації технологічного процесу з використанням сучасних контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

У розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» дано аналіз потенційних небезпек і шкідливостей, що виникають при експлуатації обладнання в епюраційному відділенні брагоректифікаційної установки, запропоновані заходи по їх усуненню. Виконано розрахунок системи вентиляції.





10. Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Проектування хімічних підприємств та основи САПР» / Укладачі: О. О. Ляпощенко, В. М. Маренок. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 81 с.
11. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
12. Ермаков В. И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В. И. Ермаков, В. С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.
13. Дудников Е. Г. Автоматическое управление в химической промышленности / Е. Г. Дудников, А. В. Казаков, Ю. Н. Софиева, А. Э. Софиев, А. М. Цирлин. – М. : Химия, 1987. – 368 с.
14. Промышленная автоматизация. Разработка и внедрение АСУ ТП Siemens, Киев 2010 г., <http://www.silogic.com.ua/pages/products/as/simatic-plc>
15. ГОСТ Р 51723-2001 «Спирт этиловый пищевой 95%-ный. Технические условия».
16. ГОСТ 17071-91 «Масло сивушное. Технические условия».
17. ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
18. ГОСТ 12.0.003-91 «ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
19. СН 245-79 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».
20. Методические указания к дипломному проекту «Расчет общеобменной вентиляции» из раздела «Охрана труда / Утвердители: Л.О. Гурец, А.П. Будьонный». – Сумы: Издательство СумГУ, 2010. – 24 с.