

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) *Навчально-науковий Інженерно-технічний
інститут ім.акад. І.С. Гулого*

Кафедра *Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв*

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Сергій БЛАЖЕНКО

(ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Олександр ГАВВА

(ім'я та прізвище)

«__» _____ 20__ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності *133 «Галузеве машинобудування»*

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми *«Інжиніринг харчових та біотехнологічних
виробництв»*

на тему

**Модернізація апарату циклічної дії для ректифікації
спирту продуктивністю 100 л/год.**

Виконав: здобувач ІV курсу, групи ОХ-4-2

Петенко Володимир Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

Керівник **Бабанова Олена Ігорівна** _____

(прізвище, ім'я, по батькові повніст

(підпис)

Консультанти _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут *Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого*

Кафедра *Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв*

Освітній ступінь *бакалавр*

Спеціальність *133 «Галузеве машинобудування»*

(шифр і назва)

Освітня програма *«Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв»*

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАХФВ

проф. Олександр ГАВВА

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

3 червня 2025 року

ЗАВДАННЯ **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Петенко Володимир Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Модернізація апарату циклічної дії для ректифікації спирту продуктивністю 100 л/год.**

керівник проекту (роботи) **Бабанова Олена Ігорівна**, ст. викл.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» квітня 2024 р. № 218-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 2 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. *Ректифікаційна колона з провальними тарілками для очищення спирту.*

2. *Продукт: використаний спирт*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *анотація, зміст; перелік умовних позначень, термінів; вступ; порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі; техніко-економічне, соціальне обґрунтування; характеристика вихідної сировини і готового продукту; опис запропонованого технічного рішення, будова та принцип роботи; вибір конструкційних матеріалів; розрахункова частина; технологічний маршрут виготовлення деталі; вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту; система управління; заходи щодо охорони праці, екології; висновки; список використаних літературних джерел, специфікація.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Загальний вигляд обладнання – 1 лист; Розрізи, Складальні одиниці обладнання – 5 листів; Технологія машинобудування – 5 листів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: «01» жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі	01.03.2025р.	
2	Техніко-економічне, соціальне обґрунтування.	05.03.2025р.	
3	Характеристика вихідної сировини і готового продукту	10.03.2025р.	
4	Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи.	15.03.2025р.	
5	Вибір конструкційних матеріалів	20.03.2025р.	
6	Розрахункова частина	02.04.2025р.	
7	Технологічний маршрут виготовлення деталі	15.04.2025р.	
8	Вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту.	17.04.2025р.	
9	Опис системи управління	18.04.2025р.	
10	Заходи щодо охорони праці, екології	20.04.2025р.	
11	Висновки,	22.04.2025р.	
12	Графічна частина: 5 аркушів формату А3	25.04.2025р.	
13	Список використаних літературних джерел	27.04.2025р.	
14	Анотація, зміст	28.04.2025р.	
	Подача ДП на кафедрі	02.06.2025р.	

Здобувач _____ Володимир
Петенко

Керівник роботи _____ Олена
Бабанова

Анотація

Петенко Володимир Вікторович. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування «**Модернізація апарату циклічної дії для ректифікації спирту продуктивністю 100 л/год**».

Пропонується встановити ректифікаційну колону для очищення спирту, який був використаний під час процесу екстрагування біологічно-активних сполук із лікарської рослинної сировини. Використаний спирт надходить у колону після попередньої простої перегонки. Мета – відділити від водно-спиртової суміші легколеткі, зокрема, ароматичні компоненти.

Як прототип використано інноваційні розробки із ректифікації спирту вчених НУХТ і машинобудівного підприємства «ТІСЕР». Колона має 18 контактних пристроїв – тарілок ситчастого типу, які закріплені у 3 царгах. Принципова новизна – наявність рухомих тяг, на яких закріплені клапани. Тяги рухаються згідно сигналу контролера, який урухомлює приводні механізми – пневмоциліндри, і періодично відкривають клапани переливних отворів парних і непарних за порядком тарілок. Конструкція переливних пристроїв запобігає прориву пари у період переливання рідин. Для щільності клапани піджимають пружини. Колона обігривається відкритою парою, яка надходить через барботер у її нижній частині.

Таке технічне рішення дає можливість підвищити ккд контактних пристроїв, і, відповідно, зменшити кількість тарілок колони та її висоту; достатньо повно видалити альдегіди, естери, вищі спирти та кінцевих домішки. Відповідно, зменшується енергоємність та металоємність конструкції. Розміщення у одній царзі декількох тарілок значно здешевлює вартість колони, тому що відпадає необхідність у дорогих фланцях.

Для фармацевтичного підприємства головний економічний ефект полягає у можливості повторного використання спирту у процесах екстрагування за порівняно незначних початкових інвестиціях на виготовлення і встановлення колони та допоміжного обладнання – парогенераторів, теплообмінників і дефлегматорів, а також системи управління.

Ключові слова: *фармацевтія, екстрагування, ректифікація, колона, контактний пристрій, спирт.*

Annotation

Petenko Volodymyr Viktorovich. Qualification work for the “Bachelor” degree in specialty 133 - Industrial engineering “**Modernization of the cyclic action apparatus for rectification of alcohol with a capacity of 100 l/h**”.

It is proposed to install a distillation column for cleaning alcohol, which was used during the process of extracting biologically active compounds from medicinal plant raw materials. The used alcohol enters the column after a preliminary simple distillation. The purpose is to separate from the water-alcohol mixture the volatile, in particular, aromatic components.

As a prototype, innovative developments on rectification of alcohol by scientists of NUFT and the engineering enterprise "TISER" were used. The column has 18 contact devices - sieve-type plates, which are fixed in 3 tsargah. The fundamental novelty is the presence of movable rods on which valves are fixed. The rods move according to the signal of the controller, which moves the drive mechanisms - pneumatic cylinders, and periodically open the valves of the overflow holes of even and odd trays in order. The design of overflow devices prevents steam breakthrough during the period of liquid transfusion. For density, the valves press springs. The column is heated by open steam, which enters through the bubbler in its lower part.

Such a technical solution makes it possible to increase the efficiency of contact devices, and, accordingly, reduce the number of trays of the column and its height; it is sufficient to completely remove aldehydes, esters, higher alcohols and final impurities. Accordingly, the energy intensity and metal capacity of the structure are reduced. Placing several plates in one tsarge significantly reduces the cost of the column, because there is no need for expensive flanges.

For a pharmaceutical company, the main economic effect is the possibility of reusing alcohol in extraction processes with relatively insignificant initial investments for the manufacture and installation of a column and auxiliary equipment - steam generators, heat exchangers and dephlegmators, as well as a control system.

Keywords: *pharmacy, extraction, rectification, column, contact device, alcohol.*

Зміст

Вступ.....	6
1. Порівняльний аналіз технологічних рішень поставленої задачі.....	8
1.1 Порівняльний аналіз тарілок.....	8
1.2 Порівняльний аналіз колон.....	18
1.3 Обладнання для перегонки.....	26
2. Техніко-економічне обґрунтування.....	31
2.1 Переваги запропонованої конструкції.....	31
2.2 Стан розроблюваної поверхні.....	32
2.3 Проблеми та шляхи її вирішення.....	33
3. Характеристика вихідної сировини і готового продукту.....	36
4. Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи обладнання.....	38
5. Вибір конструкційних матеріалів.....	43
6. Розрахункова частина.....	44
6.1 Розрахунок ректифікаційної колони з провальними тарілками..	44
6.2 Розрахунок кількості тарілок для колони.....	49
6.3 Визначення основних розмірів колони.....	51
6.4 Визначення діаметрів штуцерів основних трубопроводів.....	52
6.5 Розрахунок барботера.....	54
6.6 Механічні розрахунки.....	55
6.6.1 Розрахунок циліндричного корпусу.....	55
6.6.2 Розрахунок товщини стінки днища.....	56
6.6.3 Розрахунок ізоляції.....	57
7. Технологічний маршрут виготовлення деталі.....	58
8. Вимоги щодо монтажу і технічного сервісу.....	67
8.1 Монтаж та розміщення апарату.....	67
8.2 Технічне обслуговування і технічна експлуатація.....	69
8.3 Огляд та ремонт апарату.....	72
9. Опис системи управління.....	76
10. Заходи щодо охорони праці.....	78
10.1 Небезпечні місця на ректифікаційній колоні.....	78
10.2 Заходи протипожежної та противибухової безпеки.....	81
Висновки.....	82
Список використаної літератури.....	83

Вступ

Технічний прогрес в спиртовій промисловості нерозривно пов'язаний з розробкою і впровадженням високоефективних колонних апаратів та енергозберігаючих способів масообміну між рідиною і паром на їх тарілках. Одним із шляхів вирішення задачі оптимізації процесу масообміну є використання циклічного режиму руху фаз, який заснований на почерговій зміні двох періодів: періоду пропускання пари вверх по колоні і періоду переливу рідини по її тарілках. Здійснення контрольованих циклів затримки рідини на тарілках дозволяє подовжити час її контакту з паром, створити умови для досягнення стану фаз, близького до рівноважного, а також наблизити ефективність кожної реальної тарілки до ефективності теоретичної. При цьому суттєво зменшуються питомі витрати гріючої пари, скорочуються об'єми спиртовмісних відходів і зменшується собівартість обладнання.

Відомі способи подовження часу перебування рідини на тарілках шляхом організації течії окремих паро-рідинних струменів із взаємним зіткненням або додаткової установки на полотні перегородок і відбивачів, спрямування пари через відповідні байпасні трубопроводи. Незважаючи на отримані позитивні результати щодо зменшення енерговитрат, відомі способи і апарати циклічної дії не знайшли широкого практичного застосування через відсутність масообміну в паровий період, залежність роботи переливних пристроїв від тиску пари, коливання тиску пари в колекторі, неможливість стабілізації гідродинамічного режиму роботи тарілок, перемішування рідини на суміжних тарілках під час її переливу, низьку пропускну здатність апаратів по парі і рідині та складність конструктивних рішень.

Інноваційна технологія ректифікації, яка виключає вищевказані недоліки і передбачає періодичний перелив рідини з тарілки на тарілку за безперервної подачі в колону потоків живлення і гріючої пари. Для реалізації технології була розроблена конструкція ректифікаційної колони, оснащеної провальними тарілками із змінним вільним перерізом. Для стабільної роботи тарілок в колоні підтримувались гідродинамічні режими, які забезпечували ефективний масообмін між рідиною і парою без бризковиносу рідини на верхні тарілки в період затримки рідини та інтенсивний її перелив через переливний і барботажні отвори після закінчення часу затримки.

1. Порівняльний аналіз технологічних рішень поставленої задачі

1.1 Порівняльний аналіз тарілок

Провальні тарілки характеризуються тим, що потік пари і рідини рухається в протилежних напрямках через одні й ті ж перфоровані отвори або щілини. Взаємодія між фазами відбувається безпосередньо в цих отворах, що обумовлює їх назву. Ключовим аспектом є встановлення динамічної рівноваги на кожній ділянці тарілки між об'ємом рідини, що утримується на робочій поверхні, та швидкостями парового і рідинного потоків. Живий переріз цих тарілок, через який відбувається рух фаз, зазвичай становить 10-30%. [45]

Відсутність традиційних зливних пристроїв є їхньою конструктивною особливістю, що не лише спрощує виробництво, але й дозволяє збільшити активну площу контакту на 15-30%. Це, в свою чергу, призводить до нижчої вартості виготовлення та монтажу, а також меншого гідравлічного опору порівняно з іншими типами тарілок.

Проте, серед недоліків провальних тарілок варто виділити обмежений час контакту між парою та рідиною, що може впливати на ефективність процесу. Крім того, вони мають відносно невеликий діапазон зміни швидкостей пари, в межах якого зберігається стабільна динамічна рівновага, що може бути обмежуючим фактором для певних застосувань.

Ефективність процесів ступінчастого контакту фаз визначається здатністю системи досягати фазової рівноваги між рідиною та парою. Дослідження бінарних і багатокомпонентних систем, проведені в КТІХП під керівництвом професора П.Л. Шияна, показали, що навіть за ідеальних умов контакту, що виключають ефект дефлегмації, рівноважний стан досягається лише через 30-40 хвилин від початку масообміну. Цей факт пояснює, чому коефіцієнти корисної дії (ККД) тарілок не перевищують 0,4–0,6.

Для підвищення ККД тарілок різноманітних конструкцій пропонується збільшувати час затримки рідини на робочій поверхні. Це може бути досягнуто за допомогою:

- Організації течії окремих паро-рідинних струменів з подальшим взаємним зіткненням.
- Додаткової установки внутрішніх перегородок і відбивачів на полотні тарілки.

Пристрої, що слугують для уповільнення руху рідини, можуть бути виконані у вигляді спеціально спроектованих отворів, насадок тощо. Важливо зазначити, що площа вільного перерізу таких отворів, призначених для зустрічного потоку пари, становить 2-3% від загальної площі тарілки.

Оптимізація часу перебування рідини на контактних пристроях є ключовим фактором підвищення ефективності ректифікації. Зокрема, подовження цього часу до 40 секунд дозволяє досягти збільшення ступеня вилучення та кратності концентрування всіх груп домішок, включаючи ацетальдегід, метилацетат, ізопропіловий та метиловий спирти, в діапазоні 25-38%. При цьому спостерігається значне скорочення витрат гріючої пари, що сягає 40%.

В рамках досліджень ефективності масообміну були вивчені бражні колони, оснащені різними конструктивними типами тарілок: ситчастими, ковпачковими, клапанними, односпрямованими лускатими та гратчастими провальними (РПТ). Отримані дані демонструють, що коефіцієнт корисної дії тарілок залежить від конструкції, технічного стану та режимних параметрів експлуатації. Конкретні значення ККД становлять: для одноковпачкових тарілок – 0,6–0,65; для ситчастих та РПТ – 0,4–0,5; для лускатих – 0,5–0,7.

Було встановлено, що ефективність функціонування контактних пристроїв знижується в період фази переливу бражки на тарілках ректифікаційних колон. Це явище пояснюється припиненням масообміну між рідкою та паровою фазами під час переливу, чутливістю роботи переливних пристроїв до змін тиску пари та відносно низьким питомим рідинним навантаженням колони.

В контексті розширення виробничих потужностей, окрім встановлення нового обладнання, розглядається економічно обґрунтована модернізація існуючих систем. Зважаючи на це, актуальною є розробка інженерних рішень для модернізації типових тарілок бражних колон, що дозволить змінити режим руху двофазної системи "бражка-пар" з барботажного на прямоточний, оптимізуючи тим самим процеси масообміну.

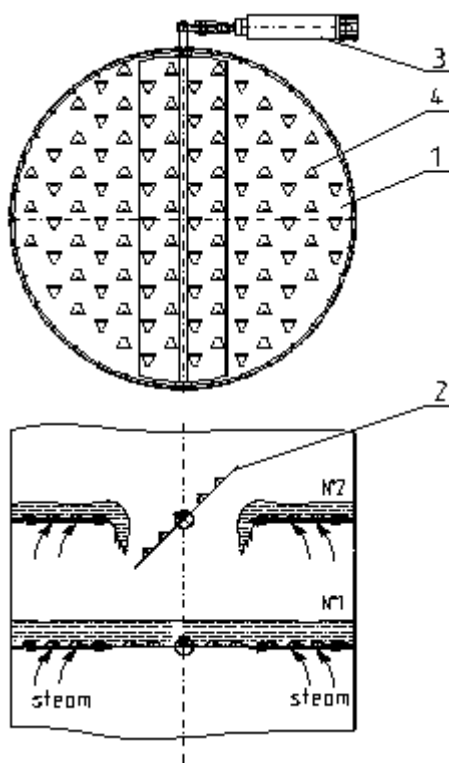


Рис. 1.1. Лускоподібна тарілка циклічної дії із змінним вільним перерізом

1 – полотно тарілки; 2 – рухомий сегмент; 3 – приводний механізм;
4 – луски.

Керований приводний механізм, що забезпечує періодичне переміщення рухомих елементів пристрою для переливу рідини між контактними тарілками, надає можливість прецизійного регулювання часу переливу та інтервалу затримки рідини. Оптимальне значення інтервалу затримки є функцією якісних показників рідини, її масової витрати та специфічних технологічних параметрів процесу, і визначається шляхом експериментальних досліджень. Основна мета полягає у подовженні часу контакту парою.

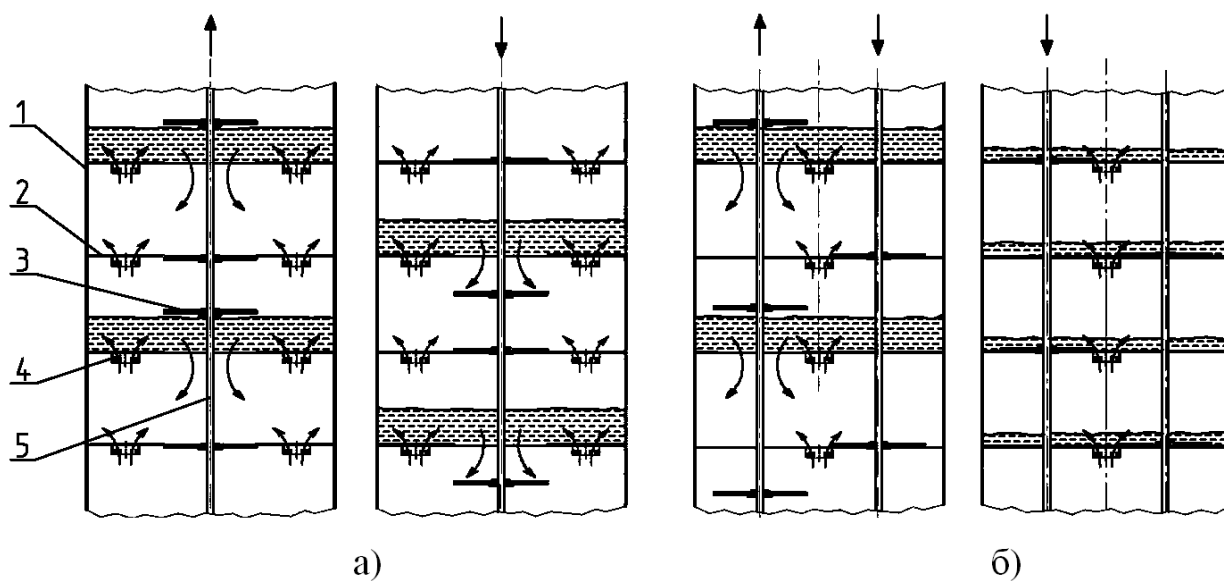


Рис. 1.2. Повний і двохстадійний способи переливу рідини після її затримки на тарілках експериментальної розгінної колони:

1 – корпус; 2 – тарілка, 3 – клапан, 4 – контактний елемент, 5 – рухома тяга

Впровадження двостадійного переливу рідини з тарілки на тарілку стало ключовим удосконаленням, що забезпечило оптимальне функціонування всіх тарілок ректифікаційної колони. Це нововведення не лише збільшило загальну потужність та пропускну здатність обладнання, але й суттєво підвищило ефективність масообмінних процесів між рідкою та

паровою фазами, водночас зменшивши питомі витрати гріючої пари. Крім того, дане технічне рішення сприяло зниженню та уніфікації рівня рідини на парних та непарних тарілках, повністю виключивши бризковиніс рідини з нижніх тарілок на верхні. Це також призвело до зменшення гідравлічного опору тарілок, скорочення габаритних розмірів, зниження металоємності та собівартості колони, при одночасному підвищенні її роздільної здатності.

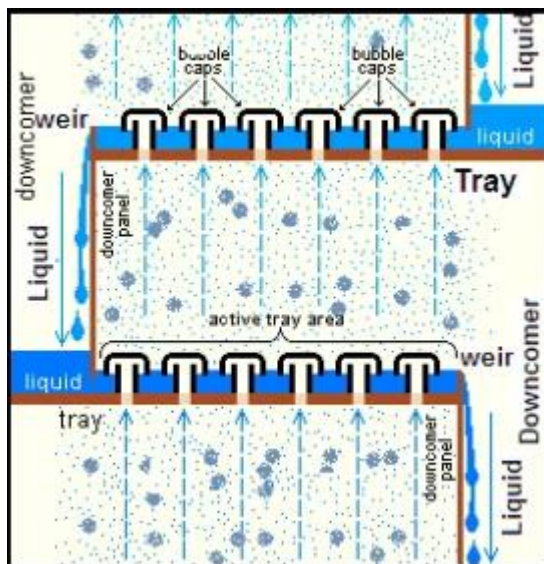


Рис. 1.3. Робота перехресного потоку в колоні.

У переробній промисловості переважають три основні конструкції тарілок: бульбашкові, ситові та клапанні.

Тарілки з бульбашковими кришками.

У цьому типі піддону пари висхідного потоку проходять через спеціальні стояки або димові труби, які ведуть до ковпачків. З ковпачків пари випускаються через прорізи або отвори, і диспергуються у вигляді бульбашок через навколишню рідину, що знаходиться на піддоні. Такий механізм забезпечує інтенсивний контакт між парою та рідиною, що є критично важливим для їх ретельного змішування та ефективного масообміну. Тим часом, рідина безперервно переміщується по піддону, прямуючи від вхідної спускної труби до вихідного патрубка, а потім до

спускної труби, що веде на нижчий піддон. Необхідний рівень рідини на піддоні підтримується за допомогою випускної перегородки, розташованої біля спускної труби.

Переваги:

- Оптимізоване змішування фаз: Газ/пара, проходячи через об'єм рідини, гарантують інтенсивне перемішування.
- Запобігання ефекту "weeping" (протікання): Ймовірність протікання — явища, коли рідина неефективно стікає крізь отвори тарілки при низьких швидкостях газу та високих швидкостях рідини, — є вкрай низькою.
- Надійне утримання рідини: Конструкція тарілки з бульбашковими ковпачками включає вбудований ущільнювач, що перешкоджає дренажу рідини навіть за низьких швидкостей газового потоку. Це дозволяє тарілці стабільно функціонувати при низьких швидкостях випаровування та руху рідини, оскільки рідина та утворена піна утримуються на тарілці на глибині, що дорівнює або перевищує висоту перегородки. Отже, явище протікання на тарілках з бульбашковими ковпачками не спостерігається.

Недоліки:

- Характеризуються істотним гідравлічним опором, що призводить до значного перепаду тиску в секції тарілки.
- Економічна ефективність бульбашкових тарілок є нижчою порівняно з ситовими та клапанними тарілками через вищу собівартість виготовлення.
- Просторові обмеження: Конструкція тарілки передбачає більшу площу для розміщення одного елемента, що призводить до меншої щільності активних елементів на одиницю площі тарілки.
- Виробничі витрати: Виробництво бульбашкових тарілок потребує більших витрат праці та матеріалів.

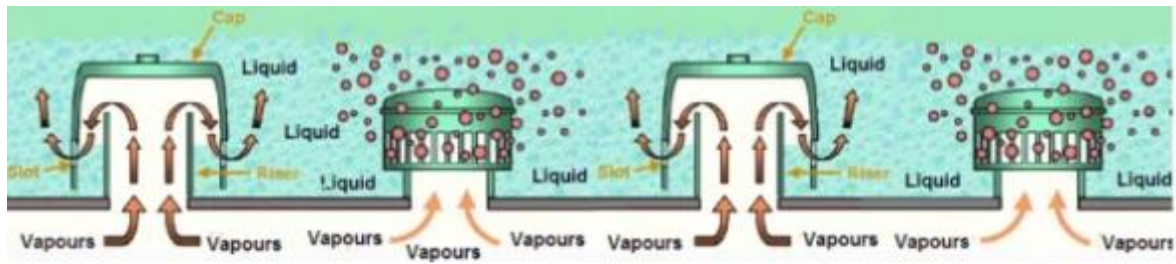


Рис. 1.4. Принцип роботи бульбашкових тарілок.

Ситова тарілка є елементарним типом контактної пристрою з перехресним потоком. Її конструкція включає деку з рядом перфорацій (діаметром $\frac{1}{8}$ " до 1"), через які відбувається фазовий контакт. Висхідний потік пари проникає крізь ці отвори, диспергуючись у рідкій фазі та забезпечуючи відносно рівномірне бульбашкове змішування. Рідина на тарілці, у свою чергу, рухається по її поверхні, перетинаючи водозлив та скидаючись через спускную трубу на нижчерозташовану тарілку.

Особливістю функціонування ситових тарілок є підтримання рідини на поверхні за рахунок динамічного тиску висхідної пари, що запобігає її вільному дренажу через отвори. Проте, при недостатній швидкості газового потоку існує ймовірність виникнення явища "weeping" (протікання). Це стан, при якому частина або вся рідина проходить крізь перфорації тарілки,

омінаючи активну зону масообміну, що негативно впливає на загальну ефективність процесу.

Призначення тарілки полягає в оптимізації міжфазного контакту між парою та рідиною, що ініціює формування пінистої фази. Висхідний потік пари дифундує крізь перфорації ситової тарілки, де відбувається його інтенсивна взаємодія з рідкою фазою. Наслідком цієї взаємодії є утворення піни, яка являє собою гетерогенну суміш пари та рідини. Для безперервної роботи системи необхідно, щоб ця піна ефективно розділялася на компоненти (пару та рідину) як на поверхні тарілки, так і в спускній трубі. У разі, коли швидкість дренажу піни з водозливу на нижчерозташовану тарілку є недостатньою, відбувається акумуляція пінистої рідини, що призводить до її реверсного потоку на верхні тарілки. Це явище класифікується як затоплення апарату, що свідчить про порушення гідродинамічного режиму.

Переваги:

- Проста конструкція та низька вартість: В порівнянні із бульбашковими та клапанними тарілками, ситові тарілки є менш складними у виготовленні та, відповідно, більш економічно вигідними.
- Зручність в обслуговуванні: Їхня проста будова полегшує процеси експлуатації, технічного обслуговування та очищення.
- Знижений гідравлічний опір: Перепад тиску на ситових тарілках є нижчим в порівнянні із іншими типами контактних пристроїв.

Недоліки:

- Ситові тарілки мають обмежену ефективність при роботі на знижених потужностях. Це зумовлено відсутністю позитивного герметичного ущільнення між парою та рідиною. В умовах низьких швидкостей потоку рідина може "протікати" (weeping) через перфорації, оминаючи активну зону контакту та суттєво знижуючи ефективність масообміну на тарілці.
- Прямий вертикальний напрямок виходу пари з перфорацій ситових

тарілок сприяє інтенсивному піноутворенню, що призводить до збільшення висоти пінистого шару. Це збільшує потенціал для ентрайменту рідини, тобто небажаного перенесення рідкої фази висхідним потоком пари.

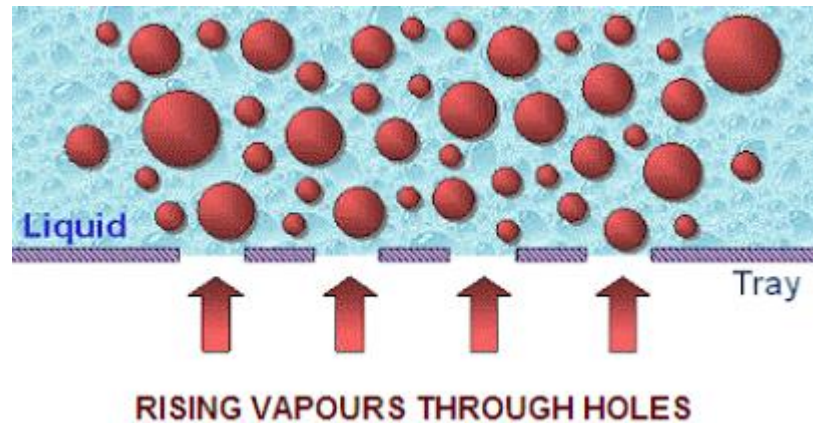


Рис. 1.5. Принцип роботи ситових тарілок.

Клапанні тарілки

На клапанних тарілках отвори оснащені саморегульованими підйомними ковпачками (клапанами), які автоматично адаптуються до інтенсивності потоку пари. При низьких швидкостях випаровування клапани закриваються, що перешкоджає небажаному дренажу рідини з тарілки. Зі зростанням швидкості пари клапан піднімається, пропорційно збільшуючи ефективну площу для проходження парового потоку.

Ця змінна площа отвору дозволяє клапанним тарілкам працювати з високою ефективністю розділення в широкому діапазоні навантажень, забезпечуючи значну експлуатаційну гнучкість. Завдяки цій адаптивності та оптимальному співвідношенню ціни та якості, клапанні тарілки поступово витісняють бульбашкові тарілки у багатьох застосуваннях.

Конструкція клапанної тарілки розроблена для мінімізації явища "протікання" (weeping). Це досягається завдяки тому, що клапан прагне до закриття при зниженні потоку газу, а також шляхом динамічної зміни загальної площі отвору для підтримання балансу динамічного тиску на

тарілці. Клапани можуть бути реалізовані як нерухомі елементи (постійно відкриті) або рухомі елементи, які активно регулюються відповідно до потоку пари через отвори тарілки.

Переваги:

- Мала ймовірність протікання клапанних тарілок пояснюється залежністю відкриття клапана від швидкості потоку пари – при низькій швидкості потік менший, і відкриття відповідно зменшується.
- Універсальність клапанних тарілок дозволяє застосовувати їх з різною швидкістю подачі та складом вихідної суміші.
- Клапанні тарілки можуть ефективно функціонувати при менших швидкостях потоку, ніж ситові, адже їхні клапани закриваються при низькій швидкості пари, змінюючи таким чином площу потоку.
- Щодо вартості, лотки з клапанами є бюджетнішим варіантом, ніж ті, що мають бульбашкові кришки, але дорожчими за лотки-сита.
- Коли швидкість пари зростає, перепад тиску також збільшується. Тому вентиляльні лотки мають нижчий перепад тиску, ніж бульбашкові кришки, що свідчить про меншу швидкість пари.

Недоліки:

- Зі зниженням швидкості парового потоку на лотку з рухомими клапанами відбувається часткове закриття деяких клапанів, зменшуючи активну площу тарілки.
- Через більшу площу поверхні, де можуть осідати забруднення, рухомі клапани більш схильні до засмічення, ніж фіксовані. Це особливо критично для колон, які функціонують у середовищах з високим вмістом бруду, корозійних речовин та солей, що випадають у точці роси.
- Внаслідок тертя ніжок рухомих клапанів об краї отвору під час їх

роботи, виникає ерозія, яка може посилити корозійні процеси.

1.2 Порівняльний аналіз колон

Ректифікаційна колона (або вежа) призначена для розділення рідких сумішей в залежності від їх температур кипіння. Під час процесу рідину нагрівають до утворення пари, яка потім охолоджується та конденсується назад у рідину. Отримані фракції збираються на тарілках, розташованих на різних рівнях усередині колони — кожен рівень відповідає певному діапазону температур кипіння компонентів.

Такі колони широко застосовуються в нафтохімічній, хімічній і фармацевтичній галузях для очищення та поділу речовин. Їх також використовують у виробництві алкогольної продукції.

Конструкція дистиляційної колони та особливості її роботи залежать від типу суміші, яку необхідно розділити, та від характеристик кінцевого продукту, які потрібно отримати.

Ректифікаційна колона є незамінним обладнанням у промисловості, де потрібне розділення та очищення рідин. Її ключові завдання включають:

- **Очищення:** Колона ефективно очищує рідини, відокремлюючи домішки від бажаних продуктів на основі їхніх температур кипіння.
- **Фракційна дистиляція:** У таких галузях, як нафтопереробка, дистиляційна колона дає змогу розділити сиру нафту на різні фракції, наприклад, бензин, гас та дизельне паливо.
- **Концентрація:** Колона використовується для концентрації речовин шляхом видалення менш летких компонентів. Цей процес поширений у виробництві алкогольних напоїв та ефірних олій.

- Відновлення: Дистиляційна колона може відновлювати цінні компоненти з потоків відходів, що є важливим для переробки та екологічного менеджменту.

Колектив вчених у складі Михайлов В.М. д.т.н. професор, Шевченко А.О. к.т.н. доцент, Бабанова О.І. ст. викладач, Петенко В.В. здобувач ВО рекомендують таке удосконалення ректифікаційної колони:

Впровадження в колону тарілок з інноваційною конструкцією, що має дві зони контакту фаз, забезпечує збільшення ефективності процесу. Результатом є скорочення часу контакту бражки, що веде до зниження ефіроутворень та економії пари.

Традиційно, масообмінні колони у спиртовій промисловості використовують ковпачкові та сітчасті тарілки, які стабільні при невисоких швидкостях пари. Однак, виклики інтенсифікації виробництва вимагають нових підходів для підвищення ефективності брагоректифікаційних процесів. Збільшення парорідинних навантажень є ключовим напрямком, що дозволяє як збільшити обсяги продукції, так і покращити конструкцію обладнання.

Зростання швидкості пари в колонах дозволяє зменшити їх розмір, що забезпечує істотну економію: менші виробничі площі, зниження витрат на матеріали та енергію, а також скорочення капітальних вкладень у нові або модернізовані лінії. Це шлях для підвищення економічної ефективності. Однак, збільшення парорідинних навантажень вимагає глибокого аналізу та оптимізації конструкції тарілок. Необхідно запобігти негативним явищам, таким як захлебування, зростання гідравлічного опору або погіршення якості поділу. Тому розробка нових контактних пристроїв, здатних ефективно працювати за таких умов, є критично важливою для подальшого розвитку галузі та забезпечення економічної вигоди без втрати технологічної надійності.

Новий підхід до контактних пристроїв у промисловості передбачає горизонтальний, направлений рух обох фаз у зоні контакту, що кардинально відрізняється від традиційних вертикальних чи перехресних потоків. Його суть полягає в тому, що пара рухається горизонтально, підштовхуючи рідину в тому ж напрямку. Це не лише запобігає утворенню застійних зон, а й забезпечує рівномірніший розподіл рідини по поверхні тарілки, що в кінцевому підсумку значно підвищує ефективність масообміну.

Ключовою перевагою цього підходу є можливість істотного збільшення пропускної здатності колони (як для рідини, так і для пари) без небезпеки захльобування. Це відкриває шлях до інтенсифікації процесів ректифікації, абсорбції та інших масообмінних операцій. Крім того, зниження гідравлічного опору та ефективніше використання робочого об'єму апарату призводить до енергозбереження та зниження експлуатаційних витрат. Проте, успішна реалізація таких конструкцій потребує надзвичайно точного розрахунку геометричних параметрів тарілок та переливних пристроїв. Це необхідно для забезпечення ідеального балансу між інтенсивністю процесу та надійною роботою апарату.

Ключем до підвищеної ефективності є прямоточна організація руху парорідинної системи, яка викликає інтенсивну турбулізацію, що веде до збільшення та постійного оновлення міжфазної поверхні. Цей підхід дозволяє реалізувати режим ідеального витіснення, що покращує дифузійні характеристики та значно підвищує коефіцієнти масопередачі контактних пристроїв.

Серед таких пристроїв виділяється тарілка "Юніфлак", що складається з S-подібних елементів, які інтегровані в односторонні жолоби та ковпаки. Кожна секція має трапецієподібні прорізи з одного боку, а торці ковпаків

закриті заглушками. Важливою особливістю є те, що зливна перегородка має таку ж висоту, як і секція, а робоча площа тарілки становить 80% площі перерізу колони.

У групі струминних однонаправлених контактних пристроїв виділяються пластинчасті тарілки. Їх конструкція базується на похилих пластинах ($4-11^\circ$), з вільним перерізом від 10% до 40% та без зливного порогу. Це робить барботажні тарілки найбільш поширеними у спиртовій промисловості.

Дослідження горизонтальних однонаправлених контактних пристроїв підтвердили їхні суттєві переваги: вони забезпечують більш широкий та стабільний діапазон роботи, рівномірний розподіл потоків, низький гідравлічний опір, а також вирізняються простотою, низькою металоємністю та легкістю виготовлення.

Модернізація існуючого обладнання є економічно вигідним шляхом для розширення виробництва, на відміну повного оновлення. Саме тому актуальною є розробка простих методів модернізації тарілок колон на підприємстві, що дозволять перейти від барботажного до прямоточного руху системи "бражка-пар".

Ця трансформація можлива завдяки легкому встановленню конструктивних елементів, яке не викличе складнощів для будь-якого спиртзаводу. Такий підхід дасть змогу реалізувати всі переваги прямоточного однонаправленого руху фаз. Зважаючи на значні економічні переваги прямоточних тарілок, наше завдання — перевести типові сітчасті барботажні тарілки на прямоток з мінімальними витратами та без необхідності демонтажу колони.

Шляхом додавання певних конструктивних елементів, на стандартних сітчастих тарілках можна організувати прямоточний горизонтальний рух пари та рідини.

Особливість стандартних сітчастих тарілок — це рядове розташування отворів, паралельно переливним та зливним планкам, що значно спрощує монтаж цих елементів для забезпечення прямого руху.

В якості цих елементів пропонуються похилі пластини. Їх функція полягає у направленні потоку: пара, що виходить із отворів, зіштовхується з похилою пластиною та змінює траєкторію свого руху.

Для оптимізації руху рідини, похилі пластини спрямовують пару таким чином, щоб її кінетична енергія прискорювала потік рідини до зливу.

Проаналізувавши наявні методи модернізації ректифікаційних колон та конструкції контактних пристроїв для перегонки бражки, ми запропонували нові, вдосконалені рішення. Зокрема, це оснащення ректифікаційної колони тарілками з двома зонами контакту фаз. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність і продуктивність колони шляхом створення додаткових зон взаємодії та зміни режиму руху фаз з перехресно-протиточного на прямооточний.

Типи ректифікаційних колон:

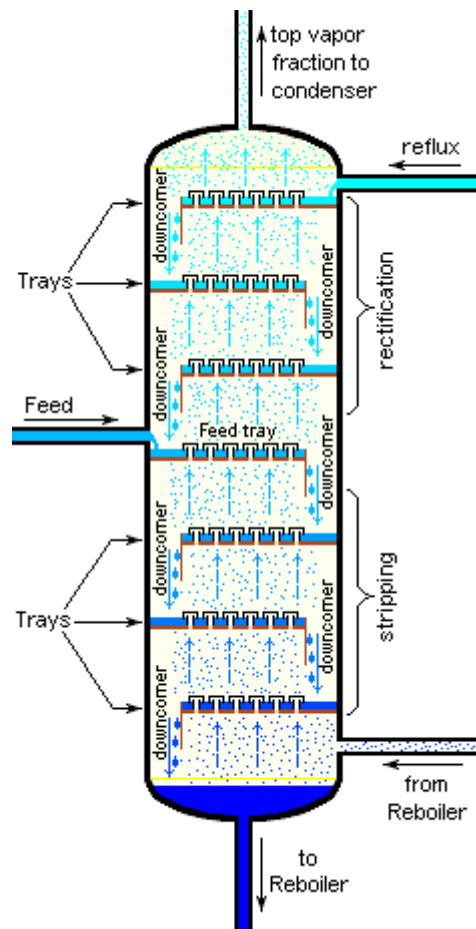


Рис. 1.6. Ректифікаційна колона порційної дистиляції.

Цей метод застосовується для невеликих обсягів, дозволяючи розділяти суміші "партиями". Його часто використовують у виробництві алкогольних напоїв.

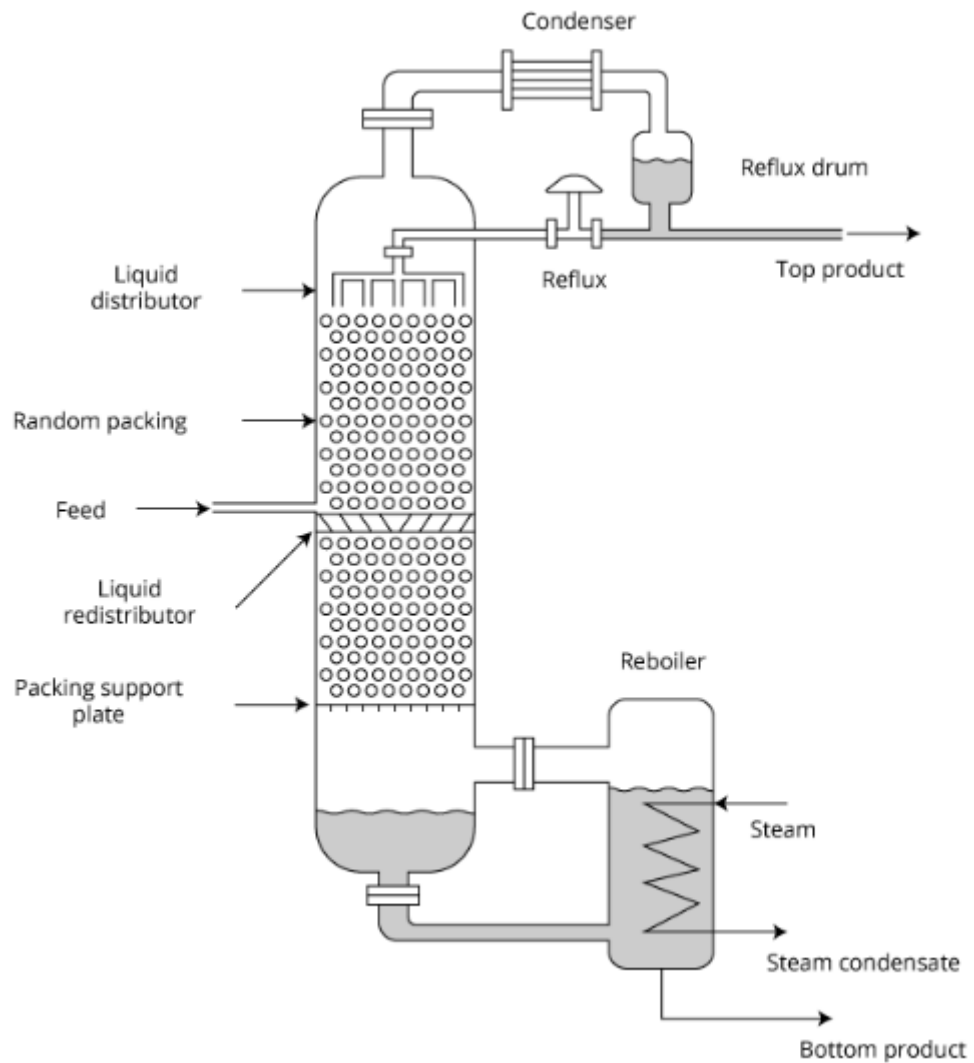


Рис. 1.7. Насадкова ректифікаційна колона

Колони фракційної дистиляції використовуються в хіміко-фармацевтичній галузі для розкладання складних сумішей на їхні складові. Їхній принцип роботи полягає в тому, що змішані пари циклічно охолоджуються, конденсуються та знову випаровуються для ефективного розділення.[46]

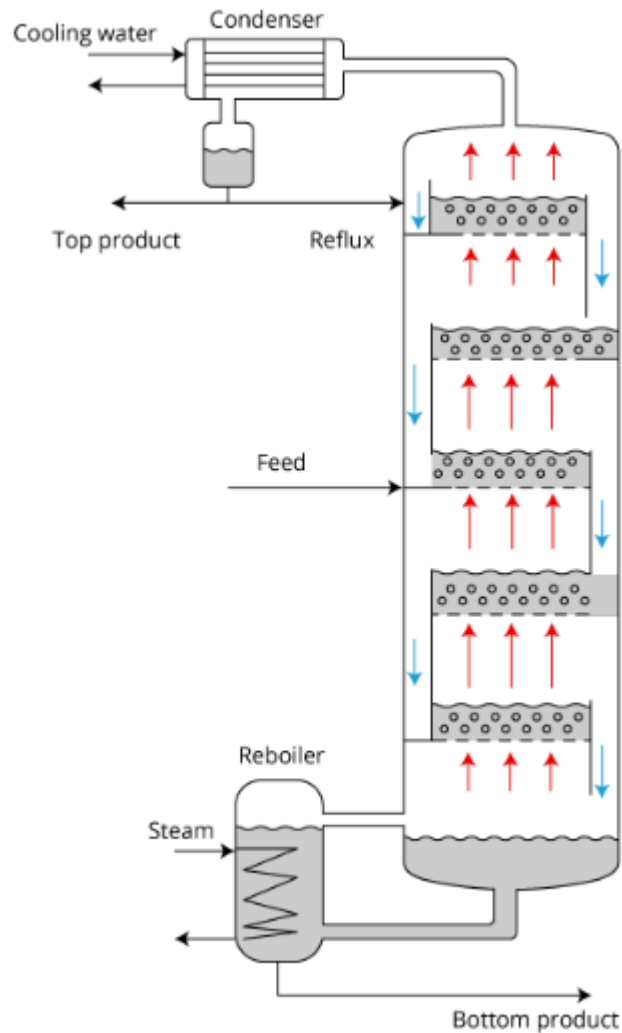


Рис. 1.8. Короткохідна ректифікаційна колона.

Застосування цих колон зосереджене на висококиплячих і важких сумішах, наприклад олії. Їхня назва, "з коротким шляхом", пояснюється використанням скороченого дистиляційного шляху.[46]

Переваги:

- Ефективність дистиляційних колон дозволяє їм ідеально справлятися з розділенням та очищенням складних сумішей.
- Універсальність дистиляційних колон полягає в тому, що їх можна конфігурувати для ефективного розділення багатьох видів сумішей,

включаючи рідкі, газоподібні та багатоконпонентні.

- Кінцевим продуктом є окремі компоненти з високим ступенем очищення.
- Масштабованість дистиляційних колон дозволяє використовувати їх для операцій будь-якого розміру – від невеликих до промислових.
- Розділення сумішей цим методом є безпечним, якщо дотримуватися всіх правил проектування та експлуатації.

Недоліки:

- Значна кількість енергії йде на конденсацію парів, охолодження та нагрівання, що призводить до високого енергоспоживання.
- Складність процесу полягає в тому, що для його проектування та експлуатації потрібні глибокі знання та досвід.
- Дистиляційні колони є дорогим рішенням, як у плані початкових інвестицій, так і в подальшій експлуатації, особливо при великих обсягах роботи.
- Можливості розділення дистиляційних колон обмежені: вони не ефективні для сумішей, що містять компоненти з однаковими точками кипіння або високолеткі речовини.
- Потреба в енергії та потенційні викиди можуть мати негативний вплив на навколишнє середовище.

1.3 Обладнання для перегонки

Перегонка – процес поділу суміші, яка складається із декількох летких компонентів.

Процес полягає у різниці леткості та температури кипіння компонентів суміші. При кипінні суміші легколеткий компонент переходить у парову фазу інтенсивніше, ніж важколеткий. При конденсації цієї пари одержують

рідину, яка містить більше легколеткого компонента порівняно з початковою сумішшю.

При багаторазовій перегонці суміш можна розділити на складові з більшою чистотою.

Застосовуються кілька способів поділу – проста перегонка, перегонка з дефлегмацією, і ректифікацією.

Проста перегонка – це одноразове випаровування рідини та конденсату пари. Її використовують, коли не потрібно повністю розділити суміш, або коли леткість її компонентів значно відрізняється.

Ректифікація – це процес багаторазової перегонки при протічній взаємодії пари з рідиною (флегмою), яку одержують конденсацією. Ректифікація забезпечує якісний поділ суміші, і одержують більш чисті фінішні продукти з низьким вмістом домішок.

Розглянемо апарат для простої перегонки (дистиляції) (рисунк 1.9).

Ємність, де кипить суміш, називається *кубом*.

Апарат, де відбувається конденсація пари називається *конденсатором*, а сконденсовану пару – *дистилятом*.

Рідина, яка залишилася після перегонки, називається *кубовим залишком*.

Пара, яка утворюється в кубі, подається в конденсатор 2, конденсується, а дистилят відводиться.

Простою перегонкою неможливо одержати чистий дистилят і забезпечити високий вміст легколеткого компонента. Для кращого поділу суміші використовують перегонку з дефлегмацією.

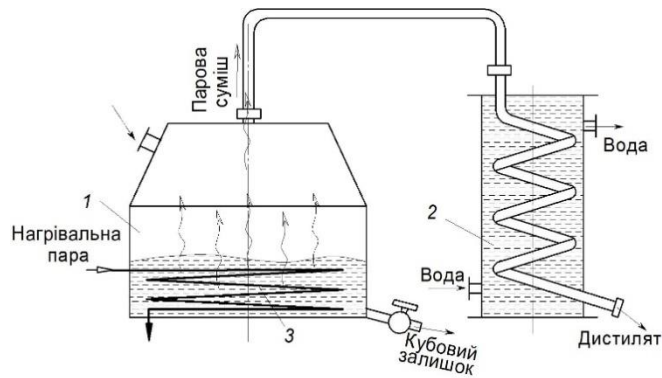


Рис. 1.9. Апарат для простої перегонки (дистиляції):

1 – куб; 2 – конденсатор; 3 – нагрівач

Дефлегмацією називають часткову конденсацію пари. Пару, утворену під час процесу перегонки, частково конденсують, а конденсат повертають назад у куб. Утворений конденсат називають *флегмою*. Апарат, де відбувається часткова конденсація, називається дефлегматор.

При перегонці з дефлегмацією концентрація більш легкого компонента в дистиляті збільшується, водночас продуктивність процесу зменшується.

Розглянемо різні конструкції апаратів для перегонки з дефлегмацією. У найпростішому такому апараті (рисунок 1.10) для дефлегмації використовують шолом 2, встановлений над кубом 1. Ззовні шолом охолоджують повітрям. Частина пари конденсується на поверхні стінок і повертається в куб.

Розглянемо перегонний апарат з тарільчастим дефлегматором (рисунок 1.11). У дефлегматорі встановлені одна або декілька тарілок 2. Дефлегматор омивається водою, а на тарілках утворюється конденсат (флегма), що стікає в куб.

Якщо необхідно проводити перегонку при низькій температурі – процес проводять під вакуумом. Конденсатор з'єднують із вакуум-насосом, який відкачує несконденсовані гази (відомо, що при більш низькому тиску температура кипіння рідин нижча).

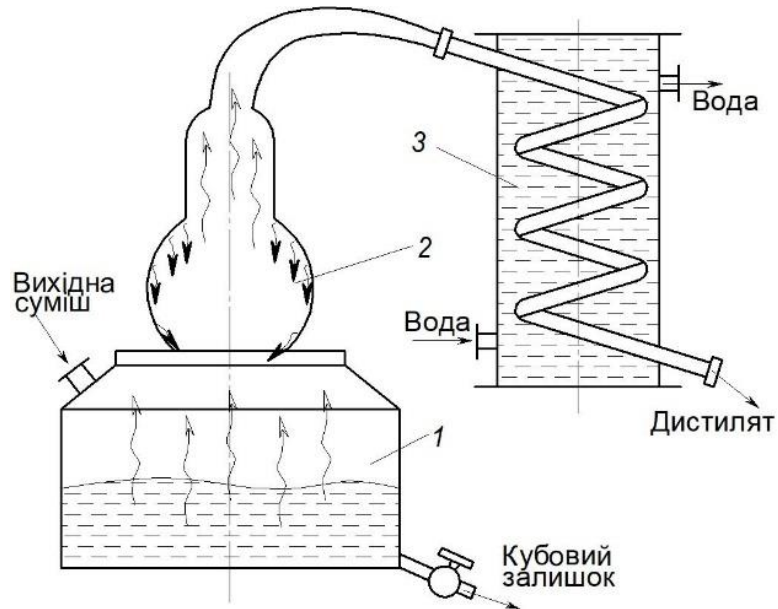


Рис. 1.10. Апарат з дефлегматором

у вигляді шолома:

1 – куб; 2 – шолом; 3 – конденсатор.

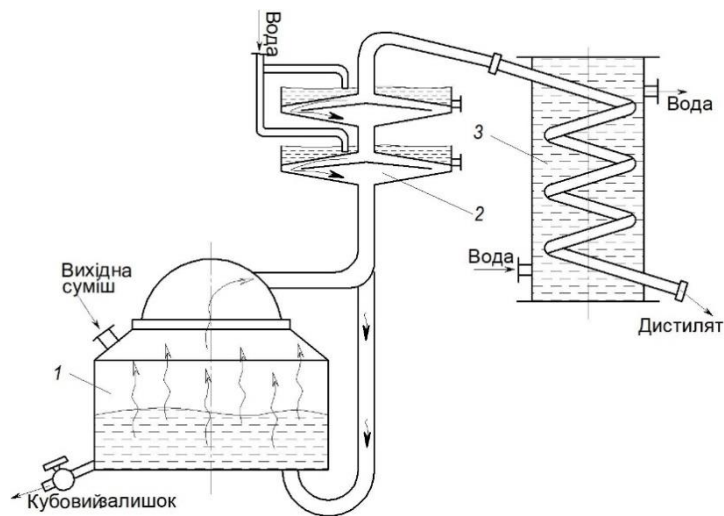


Рис. 1.11. Апарат з тарілчастим дефлегматором:

1 – куб; 2 – тарілчастий дефлегматор; 3 – конденсатор.

Проста перегонка малоефективна. Для кращого поділу сумішей використовують ректифікацію.

Висновок:

Розроблена енергозберігаюча технологія циклічної ректифікації спирту яка дозволяє ефективніше здійснювати масообмін рідини та пари. Ця технологія застосовується в колонних апаратах, що мають барботажно-провальні тарілки.

Для точного керування циклами затримки та переливу рідини, тарілки необхідно оснастити **рухомими сегментами**. Вони приєднані до **приводних механізмів** (таких як пневмоциліндри), чия робота регулюється **програмою контролера** відповідно до заданого алгоритму.

При перегонці спиртової бражки використання **контрольованих циклів ректифікації** з безперервною подачею парового та рідинного потоків у колону забезпечує значну економію. Це призводить до **зменшення питомої витрати гріючої пари** на 37% порівняно зі стандартною бражною колоною (стаціонарний режим) і на 12% — порівняно з циклічною бражною колоною.

2. Техніко-економічне обґрунтування

2.1 Переваги запропонованої конструкції

На фармацевтичних заводах, які виробляють активні фармацевтичні інгредієнти (АФІ) на основі перероблення лікарської рослинної сировини, і використанням процесу екстрагування і спирту у якості екстрагенту, нині існує нагальна потреба повторного використання спирту. Спирт має високу вартість, і економічно невигідно купувати спирт для кожного етапу екстрагування.

Відновлення використаного спирту шляхом простої перегонки неефективне і не допускається у фармацевтичному виробництві, так як після екстрагування спирт містить багато домішок та залишків АФІ. Тому фармацевтичні заводи розглядають можливість впровадження ректифікаційних установок для очищення спирту, зокрема, інтенсивного виділення легколетких домішок (за принципом епюраційної колони). Дана ідея була запропонована фахівцями фармацевтичної фірми «ФарКоС».

Наявні конструкції колон є метало та енергоємними, та неефективними в умовах фармацевтичного виробництва.

Нами, на основі консультацій із фахівцями конструкторського бюро із виробництва ректифікаційних апаратів «ТІСЕР» (м. Київ), було запропоновано варіант колони для фармацевтичного підприємства продуктивністю 100 л очищеного спирту за годину.

Основні переваги запропонованої конструкції:

1. Замість багатьох царг для кожної тарілки використовуємо три царги по 5 тарілок у кожній. Економічна ефективність полягає у зменшенні кількості фланців. Зазначимо, фланець виготовляється із високоякісної нержавіючої сталі, і є дорогим. Отже, замість 5 фланців використовуємо 2. А тарілки кріпимо на приварених кріпленнях.

2. Використовуємо колону з контактними пристроями циклічної дії. Тобто, затримуючи суміш спирту на тарілках. Відомий спосіб відкриття заслінки на тарілці передбачає встановлення пневмоциліндрів на кожну тарілку. Пропонована колона має менші розміри порівняно з іншими, тому нераціонально на кожну тарілку робити привід заслінки. Пропонується відкривати заслінки періодично за допомогою системи із двох пневмоциліндрів, встановлених на верхньому днищі колони, які приводять у рух заслінки за допомогою стержнів. Отже, маємо значну економію за рахунок зменшення числа пневмоциліндрів.

Нижче наведені деякі обґрунтування даного способу очищення спирту на фармацевтичному заводі у ректифікаційній колоні із барботажно-провальними тарілками з вільним змінним перерізом.

2.2 Стан розроблюваної проблеми

Проводилося дослідження фізико-хімічних умов розділення багатокомпонентних систем в процесі циклічної ректифікації, розробка на основі законів термодинаміки раціональних методів розрахунку і конструювання ректифікаційних колон циклічної дії. [34].

Хоча математичне моделювання показало позитивні результати, відомі способи та апарати не стали широко використовуватися на практиці. Причини цього — відсутність масообміну в паровій фазі, чутливість

переливних пристроїв до тиску пари, нестабільність тиску пари в колекторі та обмежена пропускна здатність апаратів по парі й рідині.

Щоб уникнути згаданих проблем, ми покращили технологію циклічної ректифікації. Вона тепер базується на періодичному переливі рідини між тарілками, при цьому гріюча пара безперервно надходить у нижню частину колони.

Щоб втілити цю технологію, ми сконструювали масообмінний апарат циклічної дії, що використовує барботажно-провальні тарілки з можливістю зміни вільного перерізу.

Розроблено конструкцію бражної колони, що дозволяє забезпечити управління циклами затримки та переливу рідини за заданим алгоритмом. Встановлено, що питома витрата пари на перегонку бражки становила 14,4...14,6 кг/дал безводного спирту, введеного на тарілку.

Ця технологія дозволяє оптимізувати процес перегонки спиртової бражки шляхом скорочення питомої витрати пари, що гріє, на 35 % в порівнянні із бражними колонами та підвищенням концентрації спирту в дистилаті на 28 % при нормативних втратах спирту з бардою.

2.3 Проблеми та шляхи її вирішення

Найбільш ефективно розділення летких компонентів на ступенях контакту відбувається в режимі роздільного руху фаз [38]. Його використання дозволяє підвищити ефективність масообміну між рідиною і парюю шляхом подовження проміжку часу перебування рідини на тарілках ректифікаційної колони до моменту досягнення стану фаз, наближеного до рівноважного, покращити органолептичні показники ректифікованого спирту, знизити металоємність обладнання, скоротити питомі витрати гріючої пари та об'єми спиртовмісних відходів виробництва [36].

Використання провальних тарілок дає можливість

- виключення проливу рідини через барботажні отвори [35];

- збільшення часу її контакту з парою [36];

Технологія ректифікації спирту, яка передбачає здійснення контрольованих у часі циклів затримки рідини на полотнах провальних тарілок [36].

Подовження контакту пари та рідини до 23 с і використання двохстадійного способу переливу рідини з тарілки на тарілку дозволяє суттєво підвищити ефективність масообміну і збільшити пропускну здатність колонних апаратів на 34 % [36].

Таблиця 2.1.

Дані аналізу

Найменування домішок	Концентрат, мг/дм ³ при перерахунку в безводний спирт					
	ГФ	КБК	КСО ₂	СС	ППВ	Ж
Етанол, % об.	92,5	48,8	60	89	17,5	30,5
Альдегіди	1135,2	37,2	126,2	4,9	7,0	318,7
ацетальдегід	926,1	37,2	90,9	4,9	7,0	242,3
метилацетат	209,1	сліди	35,3	сліди	сліди	76,4
Естери	2394,9	186,4	39,7	20,2	68,3	40,5
етилацетат	2223,6	165,8	сліди	2,1	сліди	сліди
ізобутилацетат	23,0	13,0	7,9	10,1	сліди	11,1
ізоамілацетат	90,6	7,6	31,8	8,0	68,3	29,4
етилбутират	57,7	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди
Метанол, %	0,49	0,025	0,1445	0,013	0,0032	0,18
Сивушне масло	3113,1	18820	12583	48824	197726	105883
ізопропанол	4,9	4,9	1,7	1,1	сліди	1,2
н-пропанол	1186,4	1403	699,6	14741	36681	20002
ізобутанол	1640	606,1	4082	27557	36826	20297
н-бутанол	2,7	6,4	16,5	35	705,2	362
ізоамілол	279,1	1863,5	7783	6485,3	123514	65221

Звільнену від летких домішок кубову рідину подавали у верхню зону концентраційної частини епюраційної колони для проведення гідроселекції і

підвищення коефіцієнта ректифікації головних та частини проміжних домішок, у тому числі ізопропілового спирту.

Аналіз результатів показує, якщо час контакту пари та рідини на тарілках подовжується до 40 с ступінь вилучення і кратність концентрування всіх груп домішок зростала на 25-38 %.

Висновок

1. Для подовження часу масообміну між парою і рідиною на провальних тарілках ректифікаційної колони циклічної дії визначені гідродинамічні режими їх роботи. Отримані експериментальні дані гранично допустимої швидкості пари у перфорованих отворах сітчастих і лускоподібних тарілок і вільному перерізі колони:

— в період затримки рідини парова швидкість в отворах тарілок має становити 5,4-8 м/с, в отворах лусок – 6,5-13,5 м/с, лінійна швидкість пари у вільному перерізі колони 0,25-0,3 і 0,5-0,9 м/с відповідно;

— для інтенсивного переливу рідини парова швидкість в отворах повинна становити 1,5-1 м/с.

2. Для забезпечення стабільної роботи провальних тарілок в періоди затримки і переливу рідини площа вільного перерізу тарілки повинна миттєво змінюватись від 5,5 до 50 %.

3. Для здійснення контрольованих циклів затримки і переливу рідини тарілки повинні бути оснащені рухомими сегментами, з'єднаними з приводними механізмами (наприклад, пневмоциліндрами), управління якими відбувається відповідно до програми контролера за заданим алгоритмом.

4. Отримані позитивні результати досліджень доцільно використати для проектування колонних масообмінних апаратів циклічної дії, оснащених тарілками.

3. Характеристика вихідної сировини і готового продукту

Водно-спиртова суміш є розчинником, яка дозволяє отримувати есенції із будь-якої сировини, поглинаючи всі аромати.

У даній роботі розглядається очищення водноспиртової суміші, яка отримується після процесу екстрагування лікарської рослинної сировини та наступної перегонки спиртового екстракту.

Вхідним продуктом до ректифікаційної колони є спирт концентрацією 40%, який містить сторонні домішки, які мають температуру кипіння як нижчу за температуру кипіння спирту, так і вищу (наприклад, ефірні олії, сивушна олія). На виробництві такий продукт називають ароматним спиртом або ароматною водою, і його, згідно нормативних актів виробництва АФІ, не можна повторно використовувати для екстрагування.

Вихідним продуктом є водноспиртова суміш очищена концентрацією 60% об, з мізерно малими (допустимими) значеннями вмісту домішок, яку можна знову використовувати у процесах екстрагування рослинної лікарської сировини.

Характеристика та вимоги до етанолу як екстрагента:

- етанол є розчинником великої кількості сполук, які не екстрагуються водою, наприклад алкалоїдів, жирів, хлорофілу, ефірних олій, глікозидів, смол тощо;
- етанол має антисептичні властивості (у його водних розчинах концентрацією понад 20 % мікроорганізми та цвіль не розвиваються);
- чим більше концентрація спирту у воді, тим менш ймовірні у його середовищі гідролітичні процеси. Спирт також інактивує ферменти;
- Етанол леткий, тому спиртові екстракти легко концентруються і висушуються до стану порошкоподібної речовини. Для кращого зберігання термолабільних речовин процеси випарювання і сушіння екстрактів проводять під вакуумом;
- водно-спиртова суміш є лімітованим продуктом, тому відпускається фармацевтичними виробниками згідно встановленого порядку;

- Чим менша концентрація спирту, тим краще він проникає в клітини;
- Етанол фармакологічно неіндиферентний; він проявляє місцеву і загальну дію. Це треба враховувати у виробництві витяжок;
- Водно-спиртова суміш для екстрагування не має містити домішок, зокрема, ароматичних речовин та АФІ, отриманих у минулих технологічних операціях.
- спирт є вогнебезпечним.

4. Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи обладнання

У даному проекті ректифікаційної колони невеликої потужності для очищення водно-спиртових сумішей після екстрагування використано розробки вчених Національного університету харчових технологій.

Зазначимо, що дослідженнями процесів перегонки та ректифікації вчені Університету займалися з початку 30-х років, із приходом на кафедру Машин і апаратів харчових виробництв професора Олександра Кірова. Цей напрям продовжили професори Гліб Знаменський, Всеволод Стабніков, Володимир Аністратенко, Віталій Таран та багато інших видатних вчених [12]. Прізвища згадані тому, що конструкція пропонуваної колони, ідеї та інноваційні рішення, закродені у неї, є логічним продовженням бродильної наукової школи, яку вони розвивали.

Також, у даній ректифікаційній колоні використані розробки доцента Юрія Булія [34] та машинобудівного підприємства «ТІСЕР».

Розглянемо спрощений опис запропонованого технічного рішення.

Розділення компонентів відбувається у режимі роздільного руху рідкої і парової фаз. Використання цього способу дозволяє покращити ефективність масообміну між парою і рідиною шляхом збільшення проміжку часу знаходженн рідин на тарілках ректифікаційного апарату до досягнення стану фаз, який наближений до рівноважного. Це покращує сенсорні показники очищеного спирту, знижує металоємність обладнання, скорочує питомі витрати пари та кількість спиртовмісних виробничих відходів.

На рисунку 1 показана схема пропонуваного масообмінного апарата із контрольованими циклами.

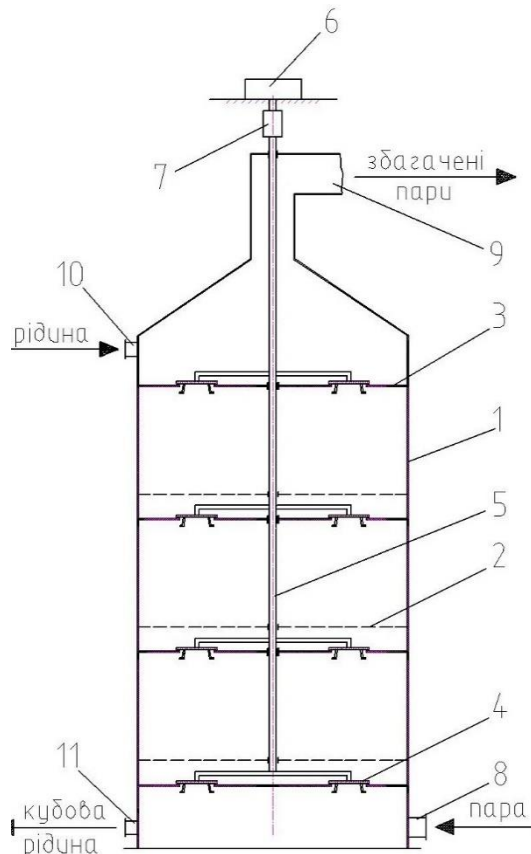


Рисунок 4. 1. Апарат з контрольованими циклами

Апарат має корпус 1 із тарілками 2, та над кожним з них розміщені тарілки 3 із клапанами 4, які з'єднані між собою. Переріз тарілок – 70-75 %. Клапани 4 тримаються на тязі 5, яка отримує рух від приводного механізму 6. Між рамою та приводом апарата знаходиться пристрій 7, який регулює висоту піднімання клапанів 4. Корпус 1 налічує патрубки подачі пари 8, 9 - для відводу збагаченої пари, 10 - для введення рідини і 11 - для відведення кубового залишку. Пара та рідина подаються на тарілку періодично. Пуск відбувається в період, тоді як клапана тарілок знаходяться в положенні “закрито”. Рідина збирається на тарілці 12 і перебуває та визначений період часу. Далі подачу рідини припиняють і в куб подають пару. Привід 6 підіймає клапана 4, та рідина із тарілки 12 переходять на наступну тарілку 2, і там підхоплюється парою. Швидкість пари у отворах - 10-15 м/с. Після відкриття клапану 4 рідина перетікає із тарілки 2 на наступну, нижчу тарілку 3. Цим вона проходить одноразова зміна рідинного затримання на всіх тарілках колони.

Як прототип взято розробку вчених НУХТ – ректифікаційну розгінну колону, у якій проходить процеси спирту із фракцій, збагачених леткими домішками. Фрагмент такої колони показано на рисунку 5.

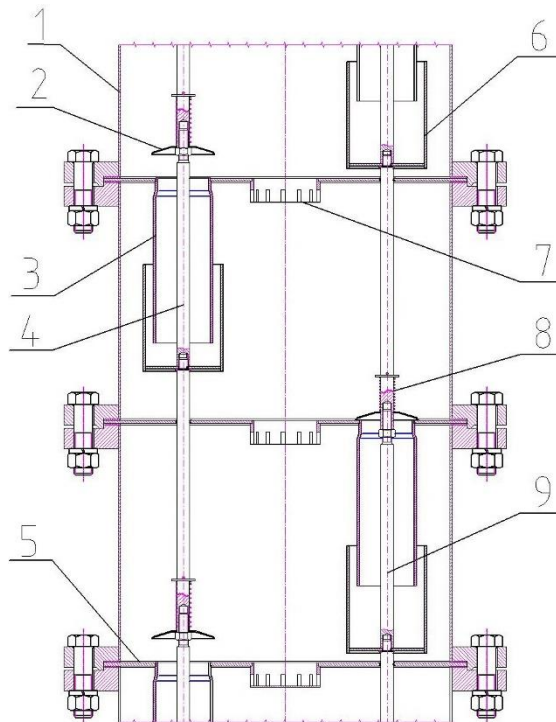


Рисунок 4.2. Фрагмент розгінної колони з керованими циклами

Колона оснащена ситчастими контактними пристроями (тарілками) із отворами 2,4 мм діаметром. Відстань між контактними пристроями - 300 мм. Переріз тарілок - 5,5 %. Колона має корпус 1, тарілки 5 із контактними елементами 7, переливними труби 3, які вставлені у стакани 6.

Принципова новизна – наявність рухомих тяг 4 і 9, на яких закріплені клапани 2. Тяги рухаються згідно сигналу контролера, який урухомлює приводні механізми - пневмоциліндри DNT 63-50-PPV-A (FESTO). Клапани 2 по черзі відкривають та закривають отвори парних та непарних тарілок. Конструкція переливних пристроїв запобігає прориву пари у період переливання рідин. Для щільності клапани піджимають пружини 8. Конструктивні елементи установки виконані з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т.

Згідно публікацій авторі колони [], при такій інноваційній технології достатньо повно видаляються альдегіди і естери, ступінь вилучення вищих спиртів (які є верхніми проміжними домішками) і кінцевих домішок збільшується на 38%. Питомі витрати пари для вилучення спирту складають 11 - 13 кг/дал від а.а., що запускається в колону. Показники спирту відповідають вимогам спирту “Люкс”.

Опис конструкції ректифікаційної колони

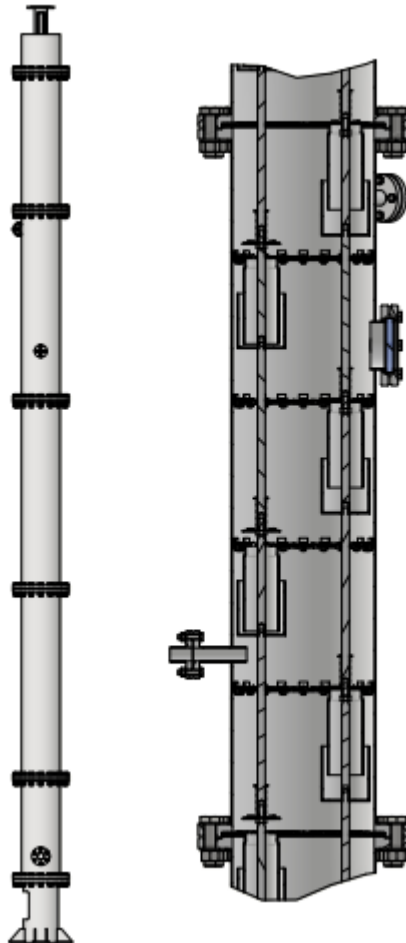


Рисунок 4.3. Загальний вигляд і розріз колони

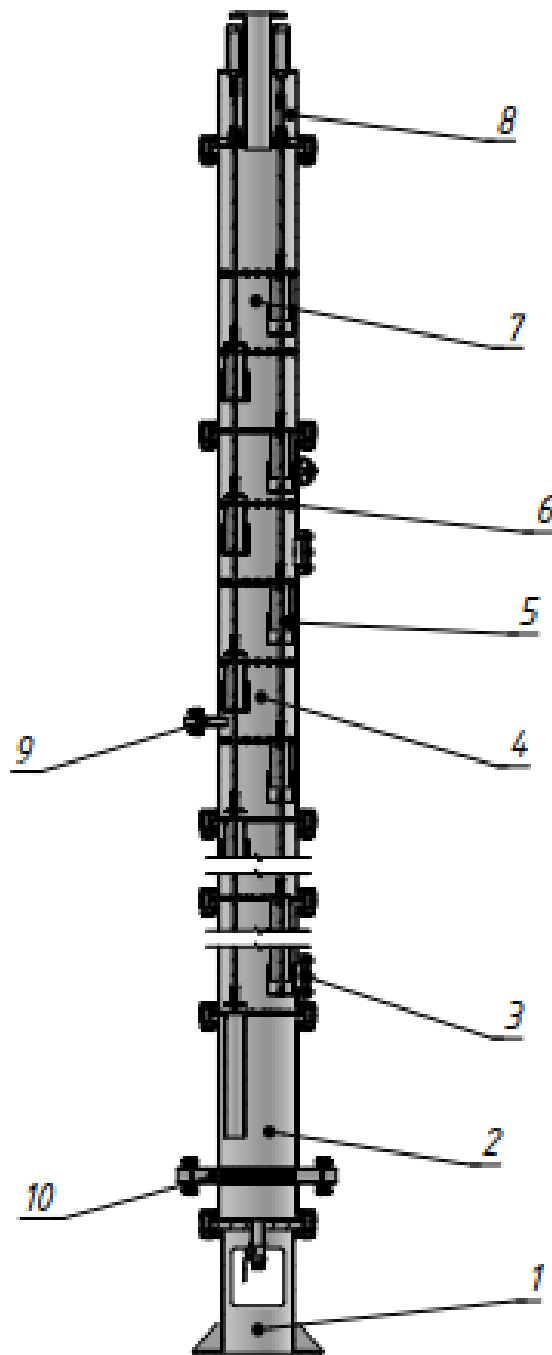


Рисунок 4.4. Конструкція колони
1 – опора; 2 – куб; 3 – вікно; 4 – царга; 5 – гідрозатвор; 6 – тарілка; 7- царга
верхня; 8 – верхнє днище; 9 – патрубок; 10 – барботер.

5. Вибір конструкційних матеріалів

Вибираємо матеріали для деталей і вузлів ректифікаційної колони (таблиця 5).

Таблиця 5

Вибір конструкційних матеріалів деталей ректифікаційної колони

Деталь	Матеріал
Царга	Сталь нержавіюча 12Х18Н10Т
Фланець	Сталь нержавіюча 12Х18Н10Т
Патрубок	Сталь нержавіюча 12Х18Н10Т
Корпус (робоча камера) царги Гідрозатвор Клапан Підвіска	Сталь нержавіюча, загартована 12Х18Н10Т
Вікно	Скло
Барботер	Сталь нержавіюча 12Х18Н10Т
Пневмоцилінд	Алюміній

6. Розрахункова частина

6.1. Розрахунок ректифікаційної колони з провальними тарілками

Вихідні дані:

$X_{бр} = 40\%$ мас - концентрація в суміші спирту в % мас;

$t_{кип} = 90,8^\circ C$ – температура кипіння суміші $^\circ C$;

$t = 75^\circ C$ – температура спиртової суміші, яка поступає в колону $^\circ C$;

$V = 21,5$ – вміст сухих речовин в % мас;

$P_1 = 0,015$ – спиртові втрати при перегонці, % мас;

За формулою Г.М.Знаменського визначимо теплоємність:

$$C_{бр} = 1,019 - 0,0095 \times V;$$

$$\frac{C_6H_{12}O_6}{180,158} = \frac{2CH_3CH_2 + OH + 2CO_2 + 118 \text{кДж}}{92,138 \dots \dots \dots 88,02}$$

$$X = 21,5CP;$$

$$C_{бр} = 1,019 - 0,0095 \times 21,5 = 0,81475 \text{ ккал/кг } \times ^\circ C = 0.1944 \text{ кДж};$$

Теплота підігріву на 100 кг бражки знаходиться за рівнянням:

$$Q = (t_{кип} - t) \times C_{бр} \times 100;$$

$$Q = 100 \times 0,1944 \times (91 - 75) = 307 \text{ кДж};$$

На графіку находимо концентрацію спирту в тарілці:

$$X_{жив} = 12,5\% \text{ мас} = 5,25\% \text{ мол}$$

Визначимо з таблиці концентрацію спирту у парі ($Y_{жив}$) над контактним пристроєм:

$$Y = 49,1 \text{ мас чи } 27,9 \text{ мол.}$$

Визначимо з рівняння балансу спирту кількість водно-спиртової пари:

$$\frac{\omega}{100} = X_{\sigma} \frac{100}{100} \times \frac{100 - P_1}{100} \times 100$$

де: ω - кількість водно-спиртових парів на 100 кг бражки, кг;

Маємо:

$$\omega = \frac{\frac{X_6 \times 100}{100} \times \frac{100 - p_1}{100} \times 100}{Y}$$
$$\omega = \frac{0,1 \times (100 - 0,0,15)}{56,6} = 19,4 \text{ кг}$$

Колона працює із коефіцієнтом надлишку пари 1,1, отже дійсна кількість водно-спиртових парів:

$$\omega = 19,4 \times 1,1 = 21,3 \text{ кг.}$$

Концентрація спирту у парі буде:

$$\omega = \frac{11 \times (100 - 0,0,15)}{21,34} = 51,443\%$$

Таблиця 6.1. Баланс колони на 100 кг бражки

Найменування	кг	Найменування продукту	кг
Прихід		Витрати	
Бражка	100	Пари спирто-водні	21,34
Гріюча пара	P	Барда	Б

Рівняння матеріального балансу:

$$100 + P = 21,34 + Б$$

звідси: Б = 78,6 + P

Таблиця 6.2. Тепловий баланс колони:

Найменування	Тепло- ємність, ккал/кг ^{°C}	Темпе- ратура °C	Тепло- ємність, ккал/кг	Розрахункова формула	Результат
<i>Прихід</i>					
Тепло, яке приходить із бражкою	0,95	75		$100 \times C_{бр} \times t$	7125
Тепло, яке приноситься із гріючою парою		106,5	64,12	$P \times 641,2$	$641,2 \times P$
<i>Витрати</i>					
Тепло, яке приходить з водно-спиртовими парами			469,7	$\omega \times i =$ $21,34 \times 469,7$	10023,4
Тепло, що виходить із бардою	0,97	102		$B \times C_{бр} \times t$	$7782,6 +$ $98,94 \times P$

Приймаємо тепловтрати 200 ккал = 47,7 кДж на 100 кг бражки
рівняння теплового балансу:

$$7125 + 641,2 \times P = 10023,4 + 1182,6 + 98,94 \times P + 200$$

$$542,26 \times P = 10831$$

$$P = 20,06 \text{ кг}$$

Знайдемо кількість барди, підставляючи значення P в рівняння:

$$B = 78,66 + P = 78,66 + 20,06 = 98,72 \text{ кг}$$

Визначимо витрати гріючого пару на 1 дал безводного спирту:

$$B_{\text{окл}} = \frac{20,06}{\frac{11}{100} \times (100 - 0,6)} = 26 \text{ кг} / \text{ дал}$$

Де:

$r_2 = 0,6$ – витрати спирту, %;

$X_{бр} = 11$ - концентрат спирту, % мас;

На 1 дал безводного спирту визначаємо вихід барди:

$$P_{окл} = \frac{98,72 \times 10 \times 0,79}{11 \times \frac{100 - 0,6}{100}} = 71,33 \text{ кг};$$

Де:

$\rho = 0,8$ - густина безводного спирту, кг/л;

$B = 98,7$ - барда на 100 кг барди;

Витрата барди, гріючої пари, водно-спиртових парів та вихід барди на 1 дал безводного спирту, та на 100 кг бражки, на добову та годинну продуктивність: На 1 дал безводного спирту:

$$P_{кг} = \frac{P}{\frac{11}{100} \times (100 - 0,015)}$$

де:

$p_1 = 0,015$ - втрата спирту під час бродіння, %;

$P_{на} = 100$ кг - витрата на 100 кг

Бражки:

$$P_{кг} = \frac{100,0}{\frac{11}{100} \times (100 - 0,015)} = 9,145 \text{ кг} / \text{ дал}$$

Барди:

$$P_{кг} = \frac{97,72}{\frac{11}{100} \times (100 - 0,015)} = 9,029 \text{ кг} / \text{ дал}$$

Водно-спиртових парів:

$$P_{кг} = \frac{15,8}{\frac{11}{100} \times (100 - 0,015)} = 1,445 \text{ кг} / \text{ дал}$$

Гріючої пари на 1 дал спирту:

$P_{дал} = 1,8346 \times 10 \times 0,79 = 26$ кг/дал.

Бражки:

$P_{дал} = 9,1458 \times 10 \times 0,79 = 72,2$ кг/дал;

Барди:

$P_{дал} = 9,029 \times 10 \times 0,79 = 71,3$ кг/дал;

Водно-спиртових парів:

$$P_{\text{дал}} = 1,445 \times 10 \times 0,79 = 11,45 \text{ кг/дал};$$

Гріючої пари на годину:

$$\frac{4500}{24} = 187,5 \text{ кг / дал}$$

Бражки на годину:

$$P_{\text{год}} = 9,1 \times 187,5 = 13546,8 \text{ кг}$$

Барди за годину:

$$P_{\text{год}} = 9 \times 187,5 = 13374,3 \text{ кг}$$

Водно-спиртових парів:

$$P_{\text{год}} = 1,445 \times 187,5 = 2146,8 \text{ кг}$$

Гріючої пари на добу:

$$P_{\text{доб}} = 26 \times 24 = 625 \text{ кг}$$

Бражки на добу:

$$P_{\text{доб}} = 13946,8 \times 24 = 267670 \text{ кг}$$

Для барди за добу:

$$P_{\text{доб}} = 13374,3 \times 24 = 25737 \text{ кг}$$

Водно-спиртової пари на добу:

$$P_{\text{дов}} = 2146,8 \times 24 = 4674 \text{ кг}$$

Отримані дані 1 дал безводного спирту, водно-спиртових парів, витрат гріючої пари, витрат барди на 100 кг бражки, бражки, на годину і добу продуктивність заносемо в таблицю 6.3 :

Таблиця 6.3.

<i>Найменування</i>	<i>На 100 кг бражки</i>	<i>На 1 дал безводног</i>	<i>На 1кг безводног</i>	<i>За годину</i>	<i>За добу</i>
Гріюча пара в кг	20,06	26	1,8	260	6250
Бражка	100	72,25	9,1458	13546,8	267670
Барда	98,7	71,3	9	13374,3	25737
Спирто-водна пара	15,8	11,4	1,4	2146,8	4674

6.2. Розрахунок кількості тарілок для колони

Робоча лінія бражної колони під час обігріву паром:

$$Y = \frac{\alpha}{G} \times (X - X_0)$$

де: Y і X - концентрація спирту в парі та рідинах в будь-яких перерізах, % мол;

L і G - кіломолі в паровому та рідинному потоці.

Величина парового потоку, яка піднімається по колоні:

$$G = \frac{P \times i_1}{i_2 \times M_B} = \frac{20,06}{18} = 1,114 \text{ кмоль}$$

M_B - молекулярна маса води.

Приймаємо $i_1 \approx i_2$

Нехтуємо зменшенням парового потоку із-за тепловтрат в навколишнє середовище.

Рідинний потік складається з бражки (L') та конденсату гріючої пари, який йде на нагрів колони (L'')-

Кіломолі пари, які йдуть на нагрів 100 кг бражки:

$$\alpha'' = \frac{Q}{(i_2 - i)M_e}$$

де: Q - теплота недогріву бражки в ккал;

i_2 - тепловміст гріючої пари в колоні при робочому тиску, в ккал/кг; i - температура барди, в °С.

$$\alpha'' = \frac{1287}{(641 - 90.8) \times 18} = 0,13$$

Кількість кіломолів в 100 кг бражки визначаємо:

$$\alpha = \frac{X_{\bar{c}}}{M_c} + \frac{100 - X_{\bar{c}}}{M_e}$$

Де: M_c та M_B - молекулярна маса спирту іта води

$$L' = \frac{11}{46} + \frac{100-11}{18} = 0.239 + 4,944 = 5,1831 \text{ кмоль}$$

Кількість молей в потоці рідини:

$$L=L'+L''= 5,31 \text{ Кмол.}$$

Підставимо значення G та L:

$$Y = \frac{5,31}{1,114} \times (X \times 0.015)$$

де: 0,015 - спирт в барді.

Через дві точки проводимо лінію: *перша точка* $Y = 0$; $X = X_0 = 0,015 \text{ \%мол.}$ *друга точка*

$$X - X_{жив} = 5,29 \text{ \%мол.}$$

$$Y = \frac{5.31}{1,114} \times (5.29 \times 0.015) = 25,2\%$$

Робоча лінія з отриманих двох точок. Використовуємо аналітичний метод.

Кількість контактних пристроїв:

$$n' = \frac{\lg(1 + \frac{X_n}{X_0} (nG - 1))}{\lg \frac{nG}{L}} - 1$$

де: n- коефіцієнт випаровування спирту на ділянці зміни від 0,004 і до 0,2 мол, дорівнює 13 та є постійним;

x,, X_д- концентрація спирту в n - ій тарілці та барді.

$$n' = \frac{\lg(1 + \frac{0,2}{0,004} (13 \times 1,114 - 5,31))}{\lg \frac{13 \times 1,114}{5,31}} - 1 = 3,45$$

Визначимо з графіка, так як концентрація змінюється від 0,2 і до 5,9 кількість контактних пристроїв буде:

$$n' = 5.$$

Загальне число тарілок:

$$n = n' + n'' = 5 + 3,45 = 8,45.$$

Коефіцієнт ККД тарілки в колоні 0,5.

Кількість реальних тарілок:

$$\frac{8,45}{0,5} = 16,9$$

Приймаємо число тарілок 18.

6.3. Визначення основних розмірів колони

Швидкість пари у колоні:

$$\omega = \frac{0,305 \times h}{60 + 0,05 \times h} \times 0,012 \times z$$

де: h- відстань між контактними пристроями. h рівна 300 мм.

z- глибина шару барботажного простору. z=40 мм.

Маємо:

$$\omega = \frac{0,305 \times 300}{60 + 0,05 \times 300} \times 0,012 \times 40 = 0,585 \text{ м/с.}$$

При робочому тиску 0,5 атм у колоні, густина водяної пари буде $\gamma = 0,33 \text{ кг/м}^3$.

Переріз колони:

$$F = \frac{P_{\text{год}} \times i'}{\gamma \times \omega \times i'_2 \times 3600},$$

де:

$i_1 \sim i_2$ - тепловміст пари у ккал/кг;

γ - питома вага пари при 0,5 атм у кг/м^3 ;

$P_{\text{год}}$ - витрата гріючої пари , у кг/год .

Маємо:

$$F = \frac{2716}{0,33 \times 0,585 \times 3600} = 3,9 \text{ м}^2$$

Діаметр колони:

$$F = \frac{\pi \times D^2}{4},$$

Звідки:

$$D = \frac{F^2}{\sqrt{\pi}}$$

Підставляючи вихідні дані:

$$F = \frac{3,14 \times 3,9}{4} = 0.306$$

Діаметр колони рівний 300 мм. Загальна висота:

$$H = h(N-1) + h_1 + h_2$$

де: h - простір між тарілками у мм, 300мм;

h_1 - відстань від нижнього контактного пристрою до опори 1300 мм;

h_2 - відстань від верхньої тарілки до верхнього днища 785 мм.

З конструктивних та експлуатаційних міркувань кількість тарілок 18.

$$H = (18 - 1) \times 300 + 1300 + 785 = 7200 \text{ мм.}$$

6.4. Визначення діаметрів штуцерів основних трубопроводів

Діаметр штуцерів, виходячи із об'єму

V та пропуску W трубопроводу, визначимо:

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} W \times 3600, \text{ м}^3$$

Звідки: $d = \frac{4 \times V}{\pi \times W \times 3600}, \text{ м}$

де:

V- об'єм водно-спиртових парів в м³;

W - швидкість руху продукту в м;

Об'єм водно-спиртових парів буде:

$$V = \frac{P_{год} \times 22,4T}{273 \times PM_{cp}}, \text{ м}^3$$

де:

P_{год}— кількість водно-спиртових парів;

T – температура пари у К, T= 273 + 93 = 366 К;

P – тиск 0,5 атм;

M_{cp}— молекулярна вага водно-спиртового пару при концентрації спирту у ньому 51,4 %мас:

$$M_{cp} = \frac{X_d \times M_c + (100 - X_d) \times M_v}{100}, \text{ моль}$$

де:

M_v та M_c - молекулярна вага спирту та води в моль;

X_d- концентрація спирту у дистилаті в % мас.

$$M_{cp} = \frac{51,443 \times 46 + (100 - 51,443) \times 18}{100} = 32,44 \text{ моль}$$

$$V = \frac{2716 \times 22,4 \times 366}{273 \times 0,5^2 \times 32,44} = 5028 \text{ кг / год}$$

Обчислюємо та заносимо дані у таблицю 6.4 :

Таблиця 6.4.

Найменування	Питома маса кг/м ³	Пропускна здатність		Швидкість руху		Діаметр штуцера	
		кг/год	м ³ /год	допус- тима	прий- нята	розра- хунком	прийнята,мм
Для підводу бражки	1000	1355	13,5	0,5	0,5	9,7	28
Для відводу барди	1028	1337	13	2..0	0,25	13,5	100
Для відводу спиртоводних		215	5028	4...10	5	42,1	41
Для підводу гріючі пари з тиском 0,5 атм	0,8	2600	3205	5...20	20	23,8	51

6.5. Розрахунок барботера

Діаметр барботера буде рівним діаметру трубопровода $d = 100$ мм.

Площа перерізу отворів пароповітря:

$$F = 1,25 \times \frac{\pi \times d^2}{4} = 1,25 \times \frac{3,14 \times 100^2}{4} = 9812 \text{ мм}^2$$

Діаметр отворів барботера буде $d = 8$ мм, загальна кількість отворів:

$$n = \frac{F}{\frac{d^2}{4}} = \frac{9812}{\frac{100^2}{4}} = 39 \text{ штук}$$

6.6. Механічні розрахунки

6.6.1 Розрахунок циліндричного корпусу

Тиск всередині колони однаково діє у всіх точках. Тиск пари або газового середовища, діючи на кришки циліндра або торцеві днища, утворює поздовжню розривну силу P , яка прагне розірвати циліндр в поперечному перерізі А - А.

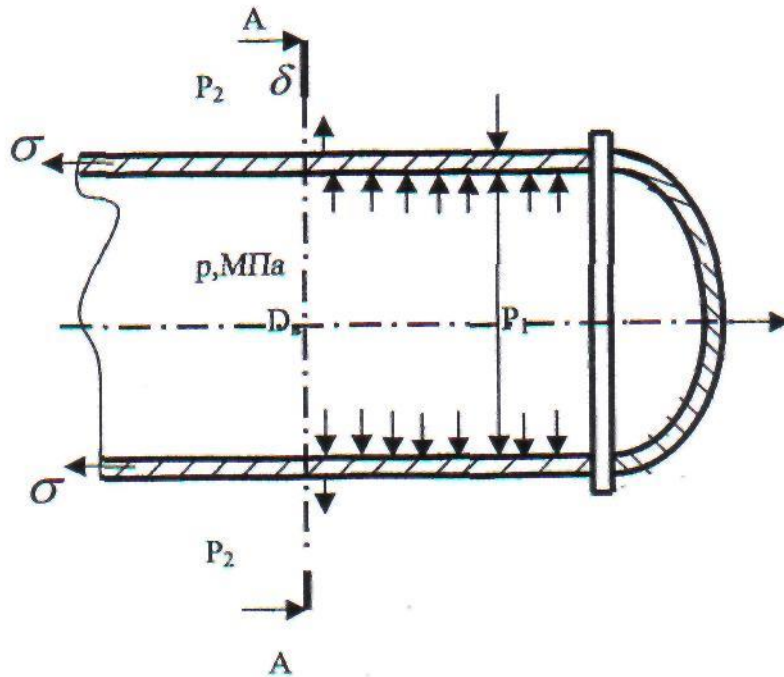


Рис. 6.1. Схема для розрахунку циліндричного корпусу.
Товщина стінки:

$$\delta = p D_B / (2 \sigma)$$

де: $[\sigma]$ -допустиме напруження в МПа; p -тиск в колоні в МПа;
 D_B -діаметр сосуда в м.

$$\delta = 0,05 \times 10^6 \times 2 / (2 \times 1290) = 3,2 \text{ мм.}$$

Приймаємо 3 мм.

6.6.2 Розрахунок товщини стінки днища

Товщина стінки днища:

$$\delta = 0,5p r l ([\sigma] \sin \alpha)$$

де:

p - тиск в колоні в МПа;

r - радіус колони в м;

$[\sigma]$ - допустиме напруження в МПа.

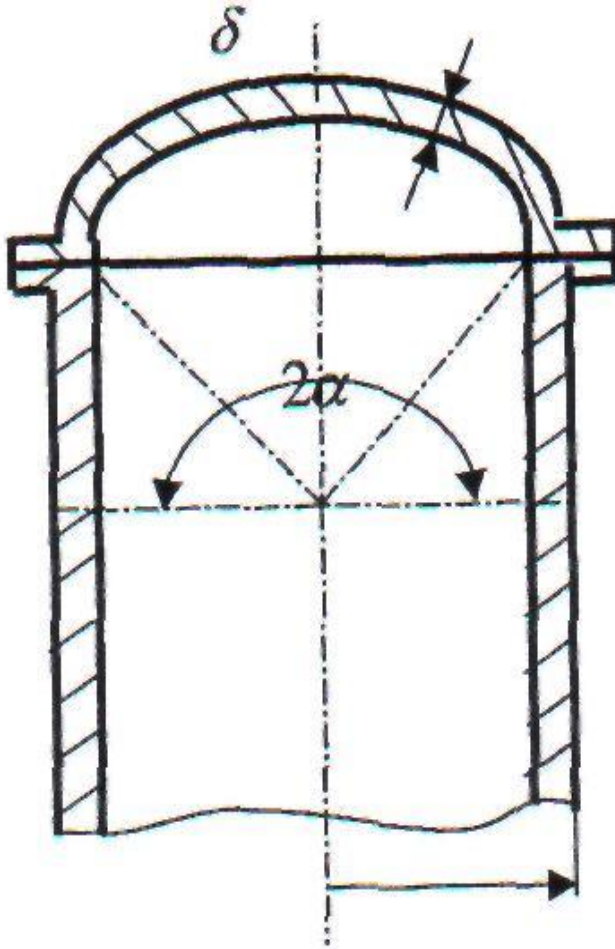


Рис. 6.2. Схема для розрахунку стінки днища.

$$\delta = 0,5 \times 0,03 \times 0,8 / (1290 \times \sin 60^\circ) = 3,1 \text{ мм}$$

Приймаємо 3 мм.

6.6.3. Розрахунок ізоляції

Для зменшення втрат теплоти використовується теплова ізоляція, створення умов безпеки праці і захисту поверхонь від корозії.

Матеріали теплоізоляції повинні мати властивості:

- малу густину;
- низьку теплопровідність;
- високу теплостійкість;
- високу міцність;
- низьку гігроскопічність.

Товщина ізоляції:

$$\delta = \lambda \frac{t_{жс} - t_m}{Q} - \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)$$

де:

$t_{жс}$ - температура рідини в °С;

t_m - температура повітря в °С;

α_1 та α_2 - коефіцієнти теплопровідності в Вт/м К.

Матеріал ізоляції: скляна вата.

Товщина ізоляції : $\delta = 12$ м.

7. Технологічний маршрут виготовлення деталі

Вибір заготовки та розрахунок припусків

Заготовку обираємо круглий прокат.

Загального припуск заготовки за розміром $\varnothing 105h7$.

- Припуск на чистове точіння: $2Z_{\min} = 2 \cdot (R_{Z3} + D_3 + \sqrt{T_{np3}^2 + \varepsilon_{y4}})$,

де: $R_{Z3} = 20$ мкм – висота нерівностей,

$D_3 = 20$ мкм – глибина шару дефектів,

$T_{np3} = 0$, $\varepsilon_{y4} = 0$ – значення похибок та похибка установки

$$2Z_{\min} = 2 \cdot (20 + 20) = 80, \text{ мкм}$$

- Чистове точіння:

$$2Z_{\max} = 2Z_{\min} + T_1 - T_2, \text{ мкм}$$

де: $T_1 = 200$ мкм – допуск чорнового точіння,

$T_2 = 30$ – допуск чистового точіння.

$$2Z_{\max} = 80 + 200 - 30 = 250 \text{ мкм}$$

- Припуск для оброблення поверхонь:

$$2Z_{ном} = \frac{2Z_{\min} + 2Z_{\max}}{2} = \frac{80 + 250}{2} = 165 \text{ мкм}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_m = \frac{M_{дет}}{M_{заг}} = \frac{3,68}{4,6} = 0,8$$

Маршрутна технологічна карта

№ операції	Назва операції	Технологічний оброблюваний інструмент, контрольний інструмент, обладнання, пристрої
10 10.1	Заготівельна Вирізати заготовку витримавши р-р 18мм	Вертикально-фрезерний 6P12, лещата верстатні - зовнішня поверхня
20 20.1 20.2 20.3 20.4	Токарна УЗЗ Торцювати пов.1 $z = 2\text{мм}$ Торцювати пов.1 $\varnothing 13,5\text{мм}$ на довжину 2мм. Зняти фаску $2 \times 45^\circ$ Свердлити отвір $\varnothing 33\text{мм}$ наскрізь	Токарно-гвинторізний верстат 16K20 трьохкулачковий патрон – зовнішня поверхня, Різець прохідний відігнутий правий T15K6, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi 1 = 90^\circ$, $\beta = 45^\circ$. Різець прохідний відігнутий правий T15K6, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi 1 = 90^\circ$, $\beta = 45^\circ$. Різець прохідний відігнутий правий T15K6, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi 1 = 90^\circ$, $\beta = 45^\circ$. Свердло 33 P6M5.
30 30.1	Токарна УЗЗ Торцювати пов.2 $z = 2\text{мм}$	Токарно-гвинторізний верстат 16K20 трьохкулачковий патрон – зовнішня поверхня, Різець прохідний відігнутий правий T15K6, $\varphi = 45^\circ$, $\varphi 1 = 90^\circ$, $\beta = 45^\circ$.
40 40.1	Токарна УЗЗ Торцювати пов.3 на $l = 2\text{мм}$, $\varnothing 100,7\text{мм}$	Токарно-гвинторізний верстат 16K20 трьохкулачковий патрон – поверхня 4, Різець прохідний відігнутий правий T15K6, $\varphi 1 = 90^\circ$,
50 50.1 50.2	Свердлильна УЗЗ Свердлити 4 отвори 10,2H9 пов.1 Розвернути 4 отвори 10,2H9 пов.1	Свердлильний верстат 2H125, кондукторний пристрій зажим, упор. Свердло 10 P6M9. Зенкер 10,2 P6M9.

Розрахунок режимів різання

20. Токарна

20.1 Торцювати зовнішню поверхню

- Глибина різання:

$$t = 2 \text{ мм}$$

Подача: $S = 0.4-0.5$ мм/об, $S = 0.5$ мм/об.

Визначимо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{463}{60^{0.2} \cdot 2^{0.15} \cdot 0.5^{0.35}} = 237 \text{ м/хв}$$

де: T – стійкість різця, $T = 60$ хв.

- Частота обертів шпинделя верстата:

$$n_6 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 237}{3,14 \cdot 100,7} = 750 \text{ об/хв}$$

Згідно метод. 3021, найближче менше значення $n_6 = 700$ об/хв.

- Швидкість різання:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_6}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100,7 \cdot 700}{1000} = 221 \text{ м/хв}$$

- Довжина оброблення:

$$L = 100,7 + 2 = 102,7 \text{ мм}$$

- Час на виконання переходу:

$$f_0 = \frac{L}{n_6 \cdot S} = \frac{102,7}{900 \cdot 0,5} = 0,1 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_0 = t_1 + t_2 = 0,11 + 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

20.2 Точити $\varnothing 13,5$ на довжині 2мм

- Глибина різання:

$$t = \frac{D_3 - d_3}{2} = \frac{100,7 - 33}{2} = 33,8 \text{ мм}$$

Подача: $S = 0.4-0.5$ мм/об, $S = 0.5$ мм/об.

Визначимо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{327}{60^{0.2} \cdot 33,8^{0.15} \cdot 0.5^{0.35}} = 108 \text{ м/хв}$$

де: T – стійкість різця, T = 60 хв.

- Частота обертів шпинделя верстата:

$$n_g = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 108}{3,14 \cdot 100,7} = 342 \text{ об/хв}$$

Згідно метод. 3021, найближче менше значення $n_b = 300$ об/хв.

- Швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_g}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100,7 \cdot 300}{1000} = 95 \text{ м/хв}$$

- Довжина оброблення:

$$L = 14 + 2 = 16 \text{ мм}$$

- Час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_g \cdot S} = \frac{16}{300 \cdot 0.5} = 0,1 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_o = t_1 + t_2 = 0.11 + 0.1 = 0.21 \text{ хв}$$

20.3 Зняти фаску 2x45°

- Основний час $t_o = 0.18 \text{ хв}$

- Допоміжний час $t_o = 0,04 \text{ хв}$

20.4 Свердлити отвір Ø33 на довжину 14мм

- Глибина різання:

$$t = \frac{D_3 - d_3}{2} = \frac{100,7 - 33}{2} = 33,8 \text{ мм}$$

Подача: S = 0.4-0.5 мм/об, S = 0.5 мм/об.

Визначимо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{327}{60^{0.2} \cdot 33,8^{0.15} \cdot 0.5^{0.35}} = 108 \text{ м/хв}$$

де: T – стійкість різця, T = 60 хв.

- Частота обертів шпинделя верстата:

$$n_g = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 108}{3,14 \cdot 100,7} = 341 \text{об/хв}$$

Згідно метод. 3021, найближче менше значення $n_b = 300$ об/хв.

- Швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_g}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100,7 \cdot 300}{1000} = 95 \text{м/хв}$$

- Довжина оброблення:

$$L = 14 + 2 = 16 \text{мм}$$

- Час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_g \cdot S} = \frac{16}{300 \cdot 0,5} = 0,1 \text{хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_o = t_1 = 0,11 \text{хв}$$

30. Токарна

30.1 Торцювати зовнішню поверхню

- Глибина різання:

$$t = 2 \text{мм}$$

Подача: $S = 0,4-0,5$ мм/об, $S = 0,5$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{463}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 237 \text{м/хв}$$

де: T – стійкість різця, $T = 60$ хв.

- Частота обертів шпинделя верстата:

$$n_g = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 237}{3,14 \cdot 196} = 385 \text{об/хв}$$

Згідно метод. 3021, найближче менше значення $n_b = 350$ об/хв.

- Швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_e}{1000} = \frac{3,14 \cdot 196 \cdot 350}{1000} = 215 \text{ м/хв}$$

- Довжина оброблення:

$$L = 100,7 + 2 = 102,7 \text{ мм}$$

- Час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_e \cdot S} = \frac{102,7}{350 \cdot 0,5} = 0,6 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_o = t_1 + t_2 = 0,11 + 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

40. Токарна

40.1 Торцювати зовнішню поверхню

- Глибина різання:

$$t = 2 \text{ мм}$$

Подачу: $S = 0,4-0,5$ мм/об, $S = 0,5$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{463}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 237 \text{ м/хв}$$

де: T – стійкість різця, $T = 60$ хв.

- Частота обертів шпинделя верстата:

$$n_e = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_3} = \frac{1000 \cdot 237}{3,14 \cdot 196} = 385 \text{ об/хв}$$

Згідно метод. 3021, найближче менше значення $n_b = 350$ об/хв.

- Швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_e}{1000} = \frac{3,14 \cdot 196 \cdot 350}{1000} = 215 \text{ м/хв}$$

- Довжина оброблення:

$$L = 12 + 2 = 14 \text{ мм}$$

- Час на виконання переходу:

$$f_o = \frac{L}{n_e \cdot S} = \frac{14}{350 \cdot 0,5} = 0,1 \text{ хв}$$

- Допоміжний час:

$$t_d = t_1 + t_2 = 0.11 + 0.1 = 0.21 \text{ хв}$$

50. Свердлильна

50.1 Свердлити 4 отвори під 10,2Н9

- Глибина різання:

$$t = \frac{d_3 - d_{ce}}{2} = \frac{100,7 - 10,2}{2} = 45,25 \text{ мм}$$

- Вибираємо подачу. Для сталей з $\sigma_B \leq 800$ МПа при свердлінні отворів \varnothing 10 мм подачі 0,45-0,55 мм/об. $S = 0.5$ мм/об.
- Швидкість різання:

$$V = \frac{18 \cdot d^{0.4}}{T^{0.2} \cdot t^{0.2} \cdot S^{0.5}}$$

де $T = 90$ хв – стійкість свердла.

Тоді

$$V = \frac{18 \cdot 100,7^{0.4}}{90^{0.2} \cdot 45,25^{0.2} \cdot 0.5^{0.5}} = 31 \text{ м/хв}$$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d_{ce}} = \frac{1000 \cdot 31}{3.14 \cdot 100,7} = 98 \text{ об/хв.}$$

$n_B = 100$ об/хв.

- Швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi d_{ce} n_e}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100,7 \cdot 100}{1000} = 31 \text{ м/хв.}$$

- Час на виконання переходу:

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_e},$$

де $L = l + l_1 + l_2 + l_3$

де $l = 87$ мм – глибина свердління; $l_1 = 2$ мм – величина підведення свердла із механічною подачею; $l_1 + l_2 = 7$ мм – врізання та перебіг свердла

$$t_{01} = \frac{14}{0.5 \cdot 100} = 0.3 \text{ хв.}$$

- Час на перехід:

$$t_{\Delta 1} = 0.1 \text{ хв}$$

50.2 Розвернути 4 отвори під 10,2Н9

- Глибина різання:

$$t = \frac{d_3 - d_{ce}}{2} = \frac{100,7 - 10,2}{2} = 45,25 \text{ мм}$$

- Вибираємо подачу. Для сталей при зенкеруванні отворів $\varnothing 10$ мм подачі 1-1,3 мм/об. $S = 1,2$ мм/об.
- Швидкість різання:

$$V = \frac{18,6 \cdot d^{0,3}}{T^{0,3} \cdot t^{0,2} \cdot S^{0,7}}$$

де $T = 60$ хв.

Тоді

$$V = \frac{18,6 \cdot 100,7^{0,3}}{60^{0,3} \cdot 45,25^{0,2} \cdot 1,2^{0,7}} = 9$$

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 9}{3,14 \cdot 100,7} = 30 \text{ об / хв.}$$

$n_b = 100$ об/хв.

- Швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi d n_g}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100,7 \cdot 100}{1000} = 32 \text{ м / хв.}$$

- Час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{S \cdot n_g},$$

де $L = l + l_1 + l_2 + l_3$

де $l = 87$ мм – глибина свердління; $l_1 = 2$ мм – підведення свердла із механічною подачою; $l_1 + l_2 = 6$ мм – врізання та перебіг свердла

$$t_{01} = \frac{14}{1,2 \cdot 100} = 0.1 \text{ хв.}$$

- Час на перехід

$$t_{\Delta 1} = 0.1 \text{ хв (табл. 51).}$$

- Операційний час

$$T_{оп} = T_o + T_{\delta} = 4,81 + 1,68 = 6,49 \text{ хв}$$

$$T_{ум} = T_{оп} + T_{од} + T_{м} = 6,49 + 0,13 + 0,39 = 7,01 \text{ хв}$$

$$T_{п.з.} = 10 + 4 = 14 \text{ хв}$$

$$T_k = T_{ум} + T_{пз} / n = 7.01 + 14 / 100 = 10 \text{ хв}$$

- Норма виробітку за 1 год $N = \frac{60}{T_k} = \frac{60}{10} = 6 \text{ деталей.}$

8. Вимоги щодо монтажу і технічного сервісу

8.1 Монтаж та розміщення апарата

У спеціальному цеху підприємства, на першому поверсі, встановлений фундамент бражної колони, регулятор для відведення барди та трубчастий теплообмінник. Другий поверх, на висоті 4,8 метра, знаходиться головне робоче місце апаратника, забезпечене всіма необхідними контрольнo-вимірювальними приладами та водяним колектором. Третій і четвертий поверхи слугують проміжними рівнями для зручності ремонту та обслуговування колони. П'ятий поверх відведено під теплообмінну апаратуру: підігрівачі, сепаратор бражки, дефлегматор, конденсатор спиртового дистиляту та спиртоуловлювачі.

Бражна колона розташована в лінію з епюраційною та спиртовою колонами, з інтервалом у 5 метрів між ними та на відстані 3 метрів від стіни. Її бетонний фундамент має висоту 0,6 метра.

Транспортування колони, через її значну довжину, здійснюється окремими секціями граничної величини. Кожна секція перед відправкою повинна бути зібрана на заводі, оснащена всіма внутрішніми компонентами, перевірена на герметичність та контрольнo зібрана з сусідніми секціями. Обов'язковим є нанесення незмивними фарбами контрольних міток та маркувань на кожен частину.

З метою збереження обладнання під час перевезення, усі отвори та штуцери апаратів повинні бути щільно закриті пробками, кришками або заглушками. Ущільнювальні поверхні фланців потребують змащення та захисту від механічних пошкоджень. Кришки люків слід встановлювати на робочі прокладки з використанням повного комплекту болтів (шпильок). Контрольнo-вимірювальні прилади, що входять до комплекту установки, підлягають упаковці та зберіганню на складі.

В процесі встановлення колон ключовим є забезпечення ідеально рівного фундаменту та рівномірної підтримки колони по всій площі її основи. Для гарантування опирання колони всією нижньою частиною, а не лише виступаючими болтами, на фундамент попередньо укладається сталевий лист, товщина якого відповідає висоті головок болтів.

Підйом бражної колони необхідно здійснювати, закріплюючи стропи вище її центру ваги та якомога ближче до верху. Через недостатню міцність стінок апаратів пряме стропування царг та іншого обладнання за корпус або оболонку неприпустиме. Також забороняється підіймати обладнання за фланці штуцерів, горловини, люки та інші виступаючі елементи. Для безпечного підйому колон (царг) рекомендується використовувати спеціальну хрестовину зі швелера, що відповідає діаметру колони, а для підвищення жорсткості фланців – додаткові підсилювальні косинки.

Царги та будь-яке інше обладнання слід підіймати таким чином, щоб при опусканні вони максимально точно займали своє проектне положення.

Після встановлення першої (нижньої) царги колони на фундамент необхідно перевірити правильність її розташування, виконати підclinювання та заповнити простір цементним розчином. Контроль вертикальності здійснюється за допомогою виска, а горизонтальність ситчастих тарілок перевіряється рівнем у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Встановлення пластин здійснюється без демонтажу колони на окремі царги, завдяки достатнім розмірам люків для доступу монтажників. Підготовлені кутові елементи з пазами для розміщення похилих пластин фіксуються до тарілки болтовим з'єднанням через передбачені отвори. Для кожної тарілки використовується три таких кутники, кожен з яких кріпиться трьома болтами. Довжина цих кутників точно відповідає відстані від переливної планки до зливного пристрою. Похилі пластини потім вставляються у спеціальні пази на кутниках. До переливної планки

приєднується розподільна планка, завданням якої є рівномірний розподіл рідини, що надходить з переливного кармана, по робочій поверхні тарілки.

По завершенні монтажних робіт проводиться всебічна перевірка та випробування апарату, включаючи окремі вузли та систему в цілому. До початку випробувань у приміщенні ректифікаційного цеху мають бути повністю завершені будівельні та оздоблювальні роботи, підключені всі необхідні мережі, комунікації та контрольно-вимірювальні прилади. Апарат проходить випробування на герметичність та механічну міцність. Після успішного гідравлічного або пневматичного тестування усуваються всі виявлені протікання, і проводиться випробування під робочим навантаженням – спочатку з використанням водяної пари, а потім з реальною бражкою для оцінки функціонування установки.

8.2 Технічне обслуговування і технічна експлуатація

Після успішного завершення монтажних та випробувальних робіт проводиться підготовка установки до першого пуску. Ректифікаційний цех підлягає ретельному прибиранню, з нього видаляються всі сторонні об'єкти. Запірна арматура на колекторах пари та води чітко маркується. Контрольно-вимірювальні прилади проходять обов'язкову перевірку та калібрування. Усе технологічне обладнання ретельно промивається, а залишки води видаляються через передбачені спускні крани.

Перед початком пуску здійснюється контроль правильності встановлення зливних стаканів в колоні, перевіряється на герметичність закриття люків і лазів, а також легкість ходу і працездатність запірної арматури. Уся запірна арматура перед пуском повинна перебувати в закритому положенні.

Процес пуску розпочинається із подачі води і пари в відповідні колектори коли відкриті дренажні пристрої до випуску повітря та конденсату.

Прогрівання установки починається із колони. За допомогою насоса чи із напірної ємності бражка подається в колону, попередньо проходячи через підігрівник та вуглекислотний сепаратор, в обсязі приблизно 25% від її номінального навантаження. Процес прогрівання колони триває близько півгодини. В міру нагрівання підігрівника зростає температура, яка надходить в колону, та конденсат пари починає надходити у колону. При появі рідини у нижній частині епюраційної колони в неї починають подавати пару, одночасно закриваючи дренажний кран і контролюючи рівень рідини за допомогою водомірного скла.

У процесі нагрівання колони та теплообмінних апаратів здійснюється детальний візуальний та тактильний контроль за їхньою роботою: рухом пари та рідини в трубопроводах. Особливу важливість має перевірка герметичності фланцевих з'єднань та зварних швів на колонах і трубопроводах.

Тиск в нижній частині бражної та епюраційної колон поступово доводиться до рівня близько 1,5 метрів водяного стовпа. Після успішної безперервної роботи установки протягом 6-8 годин на парі та воді за умови усунення всіх недоліків, здійснюється перехід при подачі бражки із розрахунку робочого навантаження і починають брати участь контрольні прилади до розрахунку виробленого спирту.

Із надходженням бражки у колону спостерігається зменшення температури у живильній тарілці колони, також температури самої бражки, що подається. Температура у тарілці досягає стабільного значення в діапазоні 93-95°C, яке визначається міцністю бражки, тиском в верхній частині колони і об'ємом поданої пари.

У зв'язку зі зменшенням температури в тарілці колони необхідно контролювати температуру в її кубі вміст спирту у відпрацьованій барді, міцність та температуру бражного конденсату, що відбирається для аналізу епюраційної колонони через пробний або дренажний кран на гідрозатворі.

За умови підтримання стабільної температури у нижній частині колони, є важливим систематичний контроль вмісту спирту у відпрацьованій барді завдяки пробовідбірника із охолодженням.

Вміст спирту у барді не має перевищувати 0,015 % за об'ємом. Концентрація спирту у бражному конденсаті має бути максимально наближеною до рівноважної концентрації спирту у бражці.

Після досягнення робочого заповнення спиртом колон проводиться повторна інспекція всього обладнання та налагоджується оптимальний робота конденсаторів еспураційної, бражної і ректифікаційної колон шляхом коригування об'єму води, що подається в дефлегматори.

В умовах стабільної роботи всіх компонентів установки поступово збільшується об'єм бражки, що подається у колону. Здійснюється моніторинг вмісту спирту у барді і лютері, температурних показників у нижніх частинах колон, ступеня завантаження ректифікаційної колони, температури у тарілці, також температур конденсаторів. Зі зростанням подачі бражки, за потреби, пропорційно збільшуються подача пари у колони і відбір ректифікованого спирту, а також об'єм води, що подається у дефлегматори колон.

Брагоректифікаційна установка має функціонувати без зупинки протягом тривалого періоду часу, аж до моменту, коли виникає необхідність у проведенні очистки бражної колони.

Брагоректифікаційна установка може бути зупинена планово (з метою профілактичного обслуговування) або екстрено (через непередбачені обставини). Планова зупинка буває короткотривалою чи тривалою. Аварійна зупинка, відбувається несподівано через такі причини, як відсутність пари або води. У випадку аварійної зупинки через припинення подачі пари негайно зупиняється подача бражки у колону, закриваються клапани відведення барди та лютеру, а також перекривається кран на лінії подачі еспурату до ректифікаційної колони.

У разі короткочасної зупинки установки, спричиненої відсутністю бражки або зупинкою колони, ректифікаційна частина стає пустою під дією пари. При цьому здійснюється часткове виведення спирту із колони, після чого відбір непастеризованого спирту припиняється, конденсатори колон охолоджуються для запобігання втрат спирту з випарами, і зменшується подача пари у колони.

Після відновлення подачі бражки попередньо прогрівається бражна колона, і в міру насичення епюраційної та ректифікаційної колони спиртом відновлюється режим роботи. Ректифікаційна частина установки буває під дією пари протягом 4-6 годин.

8.3 Огляд та ремонт апарата

За необхідністю тривалої зупинки брагоректифікаційної установки або для проведення зварювальних ремонтних робіт виконується повне виведення спирту із усіх колон та обладнання. Припиняється подача бражки в бражний насос, натомість подається вода, яка використовується для витіснення залишків бражки з усіх трубопроводів та підігрівників. Після досягнення температури 100°C у тарілці колони подача води та пари в цю колону припиняється через 10 хвилин, при цьому обов'язково контролюється відкриття кранів на лініях, що з'єднують колону із вакуум-переривниками.

Наступний етап з установки видаляється вся рідина з вакуум-переривників, регуляторів пари та води, гідравлічних затворів, теплообмінників та інших елементів. Відкриваються кришки люків та лазів колон, знімаються кришки теплообмінних апаратів. Усе обладнання ретельно промивається, очищається від забруднень та оглядається з метою виявлення можливих несправностей.

Незалежно від поточного стану установки під час зупинки проводиться комплексна ревізія насосного обладнання, внутрішні елементи бражної колони очищаються від накипу та осаду, перепаковуються всі фланцеві з'єднання, що мали ознаки протікання, проводиться обслуговування запірної

арматури (притирання клапанів та набивання сальників), очищаються від бруду та накипу теплообмінні апарати, здійснюється огляд внутрішніх компонентів колон, зношені деталі підлягають ремонту або заміні, проводиться тарування та регулювання контрольних-вимірювальних приладів, промиваються та очищаються водяний колектор та водонапірний бак, а також очищається та промивається скло на оглядових ліхтарях та ротаметрах.

Для видалення накипу з теплообмінних поверхонь дефлегматорів застосовуються механічні або хімічні методи. Механічна очистка включає використання шарошок, а потім металевих щіток та йоржів. Хімічна очистка передбачає обробку спочатку розчином соди (кальцинованої та каустичної), з подальшим 5-10-хвилинним промиванням водою та завершальною обробкою розчином соляної кислоти.

Нормальне функціонування брагоректифікаційної установки може бути порушене з багатьох різних причин. Перелік деяких можливих причин, способи їх ідентифікації та рекомендації щодо їх усунення представлені в таблиці 7.1.

Неполадки в роботі ректифікаційних установок, способи їх виявлення та усунення		
Причина	Спосіб виявлення неполадки	Спосіб усунення неполадки
Трубопровід засмічений Штуцер врізано в рідинний простір; неправильно прокладено трубопровід	Відсутнє надходження конденсату в ліхтар пробного холодильника	Необхідно перевірити розташування трубопроводу між пробним холодильником і колоною, прочистити його, а якщо його діаметр менший за 25 мм – замінити на більший
Забруднений змійовик	Незважаючи на достатнє водопостачання, конденсат у ліхтарі пробного холодильника залишається гарячим	Очищення змійовика від бруду
Засмічений трубопровід	Гідравлічний	Очищення трубопроводу

(імпульсна труба)	парорегулятор несправний	від бруду
Штуцер відігнуто вверх	Спостерігаються викиди рідини поштовхами в ліхтарі конденсатора, а тиск у вакуум-переривнику коливається	Штуцер необхідно встановити горизонтально або з невеликим нахилом до ліхтаря

На піднятих ділянках між уловлювачами, конденсаторами та дефлегматорами відсутні повітряні хідники	Внаслідок перегріву конденсаторів та уловлювачів спостерігається тривала відсутність подачі води з колектора до дефлегматора	На всіх піднятих ділянках встановити повітряні хідники
У трубопроводі зависла рідина; неправильне місце умтановки штуцера; діаметр трубопроаоду менший 40 мм	Незважаючи на нормальну роботу парорегулятора, тиск у його манометричній трубці різко коливається та є нижчим, ніж у манометричній трубці нижнього вакуум-переривника	Необхідно виправити положення штуцера та трубопроводу: штуцер встановити якомога вище з нахилом до колони, а трубопровід відразу після штуцера має стати вертикальним (стояком) з горизонтальними ділянками, що мають ухил не менше 3% у бік колони
Штуцер знаходиться вище вакуум-переривника	Ненормальна робота вакуум-переривника проявляється у підвищеному тиску в його манометричній трубці порівняно з фактичним	Вакуум-переривник слід підняти так, щоб його сполучний штуцер був не нижче штуцера на колоні, а горизонтальні ділянки трубопроводів мали ухил не менше 3% у бік колони
Рідина знаходиться в поплавку регулятора	Парорегулятор несправний і не контролює подачу пари через постійно відкриту заслінку	Вийняти поплавок, вилити рідину та усунути течу
Валик заслінки заїдає	Нерівномірна подача пари в колону парорегулятором	Необхідно відремонтувати шток клапана
Конденсатор-відвідник	Випарник ефективно	Виявити та усунути

несправний	нагріває колону, але спостерігається витрата пари	несправність
Поява повітряних пробок у гідрозатворі	Спостерігається застій рідини в уловлювачі, конденсаторі, парорегуляторі	Прочистити колектори для збору рідини з гідрозатворів та обладнати їх повітряними хідниками

9. Опис системи управління

Оператор з пульту керування вмикає подачу відпрацьованого спирту через патрубок 7, і подачу пари через патрубок 1. Далі запускає роботу підйому клапанів на тарілках та слідкує за процесом, зокрема:

- температурою тиску в кубовій частині;
- температурою тиску в колоні;
- температурою у дефлегматорі.

Для регулювання частоти кінцевого продукту регулюється кількістю подачі флегми у колону, а саме регулювання вентеля 5, і відводу конденсату через вентель 6.

Перевіщення вмісту спирту в навколишньому середовищі регулюються окремим датчиком А8.

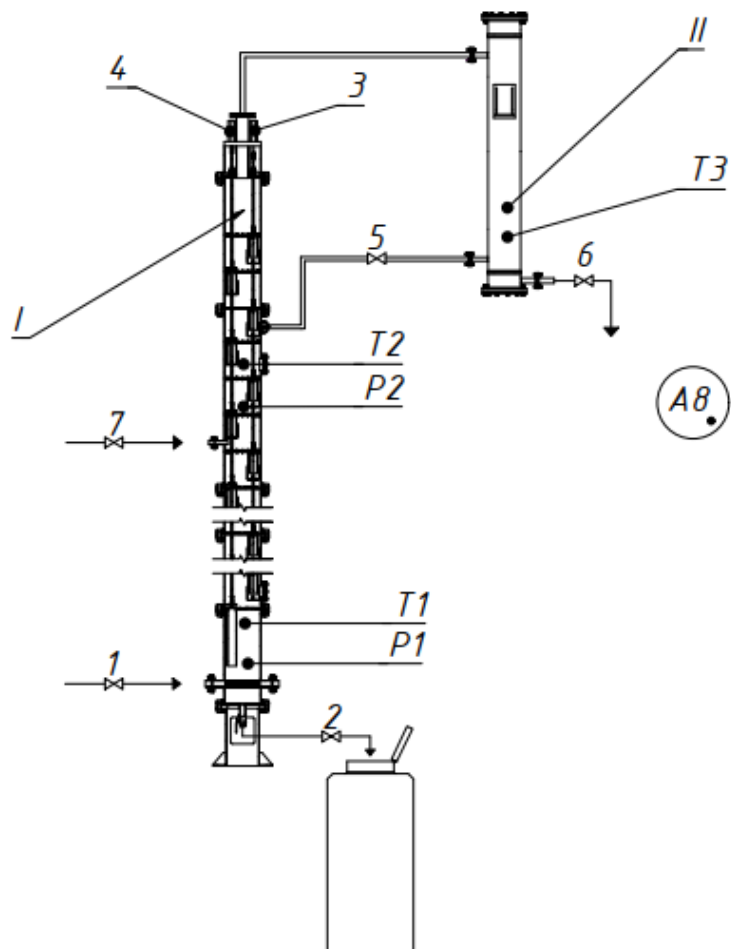


Рис. 9.1. Система управління вентилями, пневмоциліндрами і датчиками.

Вентилі:

- 1 – вхід пари; 2 – вихід куюового залишку;
- 5 – вхід флегми;
- 6 – вихід дистилляту;
- 7 – вхід відпрацьованого спирту.

Пневмоциліндри:

- 3,4 – відкриття клапанів на парних та непарних тарілках;

Датчики:

- T1,P1 – температура і тиск у кубі;
- T2,P2 – температура і тиск у колоні;
- T3 – температура у конденсаторі;
- A8 – датчик перевищення вмісту спирту у повітрі.

10. Заходи щодо охорони праці

10.1. Небезпечні місця на ректифікаційній колоні.

Список деяких звичайних і не дуже поширених місць, де можна знайти небезпеки на ректифікаційній колоні.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Потрібно завжди дотримуватися засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). До них належать рукавички, захисні щитки для обличчя, лабораторні халати та засоби захисту очей.

Електрична безпека

Правильне маркування всіх високовольтних проводок, розеток та вимикачів. За потреби використовувати знаки «Небезпека» або «Висока напруга». Високовольтні дроти повинні бути належним чином захищені, а під час роботи з ними слід одягати тестові рукавички.

Взуття та одяг

Потрібно носити черевики на гумовій підошві, які мають клас електричної небезпеки, де це можливо.

Одяг також має бути відповідним: уникнення флісу, пухнастого одягу та вільної тканини, яка може генерувати статичний заряд. Деякі матеріали, наприклад, акрилові тканини, можуть накопичувати статичну електрику, тому їх краще уникати. Найкращим вибором є натуральні волокна, такі як бавовна, оброблені теплом. Завжди заправляйте сорочки та інший одяг у пояс під час роботи з дистиляторами відкритого типу або мішалками.

Вентиляція та освітлення

Потрібно бути уважним при відкриванні вікон та забезпечити достатнє освітлення на всіх робочих місцях. Переконайтеся, що видно освітлені лещата. На шляху не повинно бути відкритого вогню. Вентилятори не повинні розташовуватися поблизу відкритих дистиляторів. Вентиляційні

канали також не повинні знаходитися близько до джерел тепла або дистилляторів. Відкриті вентиляційні отвори або входні отвори, ніколи не повинні бути заблокованими.

Робота зі шлангами та розливами

Обов'язкове використання шлангів низького тиску та регулярна перевірка фітинги для забезпечення надійного з'єднання. Якщо можливо, шланги повинні знаходитися на підлозі на підлозі.

Також слід використовувати відповідні покриття та вторинну систему локалізації розливів.

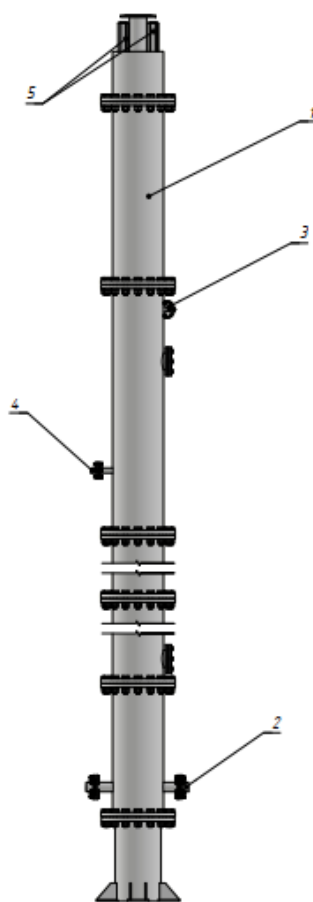


Рис. 10.1. Небезпечні зони на ректифікаційній колоні.

Номер зони	Назва	Небезпечний фактор	Рекомендації
1	Весь корпус колони	Висока температура; теплові травми, опіки; велика маса; травми внаслідок раптових зрушень частин корпусу; велика висота; травми внаслідок падіння	Колона має бути оснащена тепловою ізоляцією. Всі роботи проводити у захисному одязі, зокрема, у перчатках. Забезпечити надійну фіксацію частин колони під час монтажу і ремонту. Забезпечити надійне кріплення монтажних лісів. Роботи проводити зі спеціальним спорядженням.
2	Патрубок входу нагрівної пари	Перегрита пара має високу температуру і тиск. Струмінь такої пари миттєво спалює тіло.	Забезпечити герметичність патрубку. Не допускаються роботи з ремонту під час подачі пари.
3, 4	Патрубок виходу пари на верхньому днищі, і патрубок повернення флегми	Висока температура. Теплові травми, опіки	Забезпечити герметичність патрубку. Не допускаються роботи з ремонту під час подачі пари.
5	Зона пневмоциліндрів	Рухомі деталі і вузли. Травми внаслідок механічних ударів	Ремонт і обслуговування проводити лише при вимкнених пневмоциліндрах
6	Система контролю та автоматизації. Електроприлади.	Електротравми	Монтаж обслуговування і ремонт проводити при вимкненому електрощитку

10.2. Заходи протипожежної та противибухової безпеки

Зберігання легкозаймистих речовин

Весь готовий та розливний алкоголь повинен зберігатися у закритих, пожежобезпечних приміщеннях. Для всіх легкозаймистих продуктів має забезпечуватися вогнестійкі шафи та заземлюючі дроти.

Запобігання вибухам пилу

Усе обладнання для обробки зерна та цукру повинно бути вибухозахищеним. Дрібний пил від солодового зерна або цукру може створити вибухонебезпечну атмосферу.

При роботі з зерном, цукром або спиртом використовуйте вибухозахищене обладнання та освітлення.

Застосування системи збору пилу в усіх зонах, де спостерігається значна кількість твердих частинок.

Вентиляція та маркування

Вентилювання верхньої частини дистиляторів та збірних ємностей.

Розміщення чітких табличок «Відкритого вогню заборонено» або «Куріння заборонено».

Витяжна вентиляція повинна використовуватися в будь-якому закритому просторі, де можуть накопичуватися пари етанолу.

Висновки

В результаті модернізації бражної колони, шляхом зменшення кількості тарілок в колоні та встановлення тарілок на кріпильні засоби, зменшуються габаритні розміри колони. А також економиться матеріал на фланцях.

При цьому не втрачається продуктивність та ефективність колони завдяки контролю переливу рідини з непарної тарілки на парну.

Модернізація не є складною і може бути здійснена заводською майстернею в короткі терміни.

1. Batt C.A. Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition) / C.A. Batt. – Elsevier, 2017. – 110 p.
2. Brennan J. G.. Food Processing Handbook, 2nd Edition / James G.B., Alistair S.G. – Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2011. – 826 p.
3. Fellows P. Food processing technology. Principles and Practice. Second Edition / P. Fellows. – CRC Press, 2000. – 591 p.
4. Godbey W.T. An Introduction to Biotechnology. The Science, Technology and Medical Applications. 1st Edition. Academic Press. 2014
5. Gupta V., Sengupta M., Prakash J., Tripathy B.C. An Introduction to Biotechnology. Basic and Applied Aspects of Biotechnology. 2016. 23:1–21. doi: 10.1007/978-981-10-0875-7_1
6. Lelieveld H. Handbook of Hygiene Control in the Food Industry (Second Edition) / H. Lelieveld, J. Holah, D. Gabrić. – Elsevier, 2016. – 736 p.
7. Yiu H. Hui. Handbook of Food Science, Technology, and Engineering. / H. Hui Yiu. – CRC Press, 2006. – 928 p.
8. Буценко, Л. М. Технології мікробного синтезу лікарських засобів [Текст] : навч. посіб. / Л. М. Буценко, Ю. М. Пенчук, Т. П. Пирог ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2010. — 323 с.
9. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. – Київ: НУХТ, 2014. – 530 с.
10. Заплетніков, І. М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв [Текст] : навч. посібник / І. М. Заплетніков, В. Г. Мирончук, В. М. Кудрявцев ; Нац. ун-т харч. технол., Донец. нац. ун-т екон. і торг. — Київ : Кафедра, 2018. — 344 с.
11. Інноваційне обладнання харчових виробництв [Електронний ресурс] [Текст]: навч. посібник / О. М. Чепелюк, О. М. Гавва, В. Г. Мирончук та ін. ; за ред. О. М. Гавви ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2024. — 584 с.
12. Історичні фрагменти розвитку кафедри машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв НУХТ [Текст] / В. Таран, О. Гавва, В. Теличкун, О. Губеня, Решетняк В. // Ukrainian food journal. — 2013. — vol. 2, issue 4. — С. 618-624.
13. Малезик І. Ф., Зав'ялов В. Л., Шевченко О.Ю. та ін. (2021). Процеси і апарати харчових виробництв / за ред. І. Ф. Малезика; Київ : НУХТ, 2021. – 419 с.
14. Монтаж і технічний сервіс обладнання [Текст] : підручник / В. Г. Мирончук, М. В. Якимчук, Д. М. Люлька, С. О. Володін ; Національний університет харчових технологій. — Київ : НУХТ, 2024. — 267 с.
15. Нормативно-правове регулювання діяльності біотехнологічних і фармацевтичних підприємств [Текст] : підручник / М. В. Стасевич,

- А. М. Кричковська, Б. П. Громовик та ін. ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". — Львів : Новий світ-2000, 2018. — 288 с.
16. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] : підручник / В. Г. Мирончук, І. С. Гулий, М. М. Пушанко та ін. ; за ред. В. Г. Мирончука. — 2-ге вид., перероб. і доп. — Вінниця : Нова книга, 2007. — 648 с.
 17. Основи охорони праці [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм навчання / В. С. Гуць, С. Д. Коваленко, О. В. Євтушенко та ін. — К. : НУХТ, 2016. — 97 с.
 18. Павлице, В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин [Текст] : Підруч. / В. Т. Павлице. — 2-ге вид., перероб. — Львів : Афіша, 2003. — 560 с.
 19. Пакувальне обладнання [Текст] : підручник / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. — К. : Упаковка, 2010. — 744 с.
 20. Пирог Т. П. Загальна біотехнологія [Текст] : підручник / Т. П. Пирог, О. А. Ігнатова ; МОН України ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : НУХТ, 2009. — 336 с.
 21. Процеси і апарати харчових виробництв [Текст] : приклади і задачі : навч. посіб. / І. Ф. Малежик, П. М. Немирович, В. Л. Зав'ялов та ін. ; за ред. І. Ф. Малежика ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2015. — 386 с.
 22. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості [Текст] : Навч. посіб. / В. Г. Мирончук, Л. О. Орлов, А. І. Українець та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. — Вінниця : Нова книга, 2004. — 288 с.
 23. Сидоров, Ю. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості [Текст] : навч. посіб. / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В. П. Новіков. — Вінниця : Нова книга, 2009. — 816 с.
 24. Соколенко, А. І. Інтенсифікація масообмінних процесів в харчових і мікробіологічних технологіях [Текст] : монографія / А. І. Соколенко, О. Ю. Шевченко, В. А. Піддубний. — К. : Люксар, 2008. — 443 с.
 25. Сухенко Ю. Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: підручник / Ю. Г. Сухенко, О. А. Литвиненко, В. Ю. Сухенко. — Київ: НУХТ, 2010. — 547 с
 26. Технологічне обладнання фармацевтичної та біотехнологічної промисловості [Текст] : підручник / С. Т. Стасевич, А. О. Милянч, Л. С. Стрельников та ін. ; Нац. ун-т "Львів. політехніка", Нац. фармац. ун-т. — Львів : Новий світ-2000, 2017. — 500 с.

27. Технологічне обладнання харчових виробництв [Текст] : навч. посібник / В. Теличкун, Ю. Теличкун, О. Губеня та ін. — Київ : Сталь, 2023. — 634 с.
28. Технологічні комплекси харчових виробництв [Текст] : навч. посіб. / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. — Київ : Сталь, 2017. — 456 с.
29. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин [Текст] : монографія / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук та ін. ; за ред. О. М. Гавви ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : Сталь, 2015. — 547 с.
30. Шредер, В. Л. Полімерна упаковка [Текст] : монографія / В. Л. Шредер, В. М. Кривошей, Н. В. Кулик. — Київ : ІАЦ "Упаковка", 2021. — 580 с.
31. Булій Ю. В. Технологія ректифікації в режимі керованих циклів [Електронний ресурс] / Ю. В. Булій, П. Л. Шиян, П. А. Дмитрук, А. І. Малигін // Харчова промисловість. - 2013. - № 14. - С. 63-67. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khp_2013_14_16
32. Булій Ю. В. Керування циклами ректифікації за допомогою механотронних підсистем на основі пневмоелектроавтоматики [Електронний ресурс] / Ю. В. Булій, Ю. Б. Беляєв, П. Л. Шиян, І. В. Ельперін, А. М. Куц // Наукові праці Національного університету харчових технологій. - 2014. - Т. 20, № 3. - С. 17-23. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2014_20_3_3
33. Іванов С. В. Використання механотронних підсистем в процесі вилучення та концентрування органічних домішок спирту [Електронний ресурс] / С. В. Іванов, П. Л. Шиян, Ю. В. Булій // Харчова промисловість. - 2014. - № 15. - С. 36-41. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khp_2014_15_9
34. Булій Ю. В. Технологія розгонки спиртовмісних фракцій в режимі керованих циклів ректифікації [Електронний ресурс] / Ю. В. Булій, П. Л. Шиян, А. П. Дмитрук, А. І. Малигін // Харчова наука і технологія. - 2012. - № 3. - С. 94-98. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit_2012_3_35
35. Булій Ю. В. Із досвіду експлуатації розгінних колон в режимі керованих циклів ректифікації [Електронний ресурс] / Ю. в. Булій, П. Л. Шиян, П. А. Дмитрук, В. В. Пятецький, А. Л. Данилюк // Наукові праці Національного університету харчових технологій. - 2012. - № 44. - С. 32-37. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2012_44_8
36. Булій Ю. В. Інноваційна технологія ректифікації в режимі контрольованих циклів затримки і переливу рідини [Електронний ресурс] / Ю. В. Булій, П. Л. Шиян, А. М. Куц, Р. Г. Кириленко // Наукові праці Національного університету харчових технологій. - 2017.

- Т. 23, № 1. - С. 144-151. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2017_23_1_18
37. Булій Ю. В. Підвищення експлуатаційних характеристик брагоректифікаційних установок шляхом використання технології керованої ректифікації [Електронний ресурс] / Ю. В. Булій, П. Л. Шиян, А. М. Куц, А. П. Дмитрук // Наукові праці Національного університету харчових технологій. - 2017. - Т. 23, № 2. - С. 234-240. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2017_23_2_30
38. Українець А. І. Інноваційна технологія ректифікації в режимі роздільного руху фаз [Електронний ресурс] / А. І. Українець, П. Л. Шиян, Ю. В. Булій, А. М. Куц // Наукові праці Національного університету харчових технологій. - 2017. - Т. 23, № 5(2). - С. 55-62. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2017_23_5\(2\)_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2017_23_5(2)_9)
39. Булій Ю. В. Підвищення енергоефективності брагоректифікаційних установок і ступеню очистки біоетанолу [Електронний ресурс] / Ю. В. Булій, О. М. Ободович // Промислова теплотехніка. - 2018. - Т. 40, № 3. - С. 27-31. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/PTT_2018_40_3_5
40. Булій Ю. В. Підвищення експлуатаційних характеристик масообмінних колонних апаратів циклічної дії [Електронний ресурс] / Ю. В. Булій, А. М. Куц, П. Л. Шиян // Наукові праці Національного університету харчових технологій. - 2019. - Т. 25, № 5. - С. 48-54. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2019_25_5_6
41. Булій Ю. В. Підвищення якості спирту етилового ректифікованого в процесі брагоректифікації [Електронний ресурс] / Ю. В. Булій, А. М. Куц, М. В. Бондар, Р. М. Мукоїд // Харчова промисловість. - 2020. - № 28. - С. 17-24. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khp_2020_28_4
42. Булій Ю. В. Інноваційна технологія переробки напівпродуктів і побічних продуктів у спиртовому виробництві [Електронний ресурс] / Ю. В. Булій, А. М. Куц, І. В. Карпович, Ю. В. Запорожець // Наукові праці Національного університету харчових технологій. - 2024. - Т. 30, № 6. - С. 87-98. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2024_30_6_9
43. Bulii, Yu. (2024). Improvement of alcohol distillation plant operation. Ukrainian Food Journal, 13(4), 675–693. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2024-13-4-4>
44. Bulii, Yu. (2024). Improvement of alcohol distillation plant operation. Ukrainian Food Journal, 13(4), 675–693. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2024-13-4-4>
45. Thepetrosolutions (2023). Types of Trays in Distillation Columns. Режим доступу: <https://thepetrosolutions.com/types-of-trays-in-distillation-columns/>.

46. Chemengvirtual (2022). Distillation Column. Режим доступа:
<https://chemengvirtual.uwaterloo.ca/distillation-lab/components/distillation-column.html>.