

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Інститут Зернового, переробного і хлібопекарського бізнесу ім. К.А. Богомаза
Кафедра Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність G13 «Машинобудування»
Освітня програма Системний інжиніринг промислових виробництв



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему Розробка деалкоголізатора вина.

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача (ки) Кондратова Сергіч Євгенійовича
(прізвище, ініціали)

2 курсу СІ-20МН групи

Керівник доц. Мординський В.П.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: доц. Всеволодов О.М.
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 20__ р., протокол № ____.

Завідувач(ка) кафедри ПОтаЕМ Олег Бурдо
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Одеса - 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Зернового, переробного і хлібопекарського бізнесу ім. К.А. Богомаза
Кафедра	Кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту
Ступінь вищої освіти	Магістр
Спеціальність	G11 «Машинобудування»
Освітня програма	Системний інжиніринг промислових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри _____ " _____
" _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кондратова Сергія Євгенійовича

1. Тема проекту (роботи) «Розробка деалкоголізатора вина.»

Затверджені наказом ОНТУ від "11.11.24" № 707-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи): 10.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): продуктивність 150 кг/год.

Вміст спирту в вині $a=11\%$,

Вміст спирту в готовому продукті $b=0,5\%$

4. Переліки питань, які потрібно розробити):

Анотація; вступ; опис технологічної лінії, опис процесу ректифікації, вимоги до сировини огляд існуючого обладнання; патентний пошук; опис конструкції машини; технологічний розрахунок; силовий розрахунок; вибір додаткового обладнання, експериментальне дослідження, охорона праці;
список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

(з точним зазначенням обов'язкових креслень):

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
БЖД	Всеволодов О.М, доц. каф. ПОтаЕМ	3.04.2026	

7. Дата видачі завдання _____

Керівник _____ ПІБ

Завдання прийняв до виконання _____ ПІБ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
	Вступ та анотація до проекту	18.02.2026.	
	Опис технологічного процесу, Вимоги до сировини	25.02.2026	
	Способи реалізації технологічного процесу і машинне оформлення	03.03.2026	
	Огляд існуючого обладнання; патентний пошук	14.03.2026	
	Технічний проект; технологічний розрахунок	14.04.2026	
	Експериментальне дослідження	20.04.2026	
	Охорона праці та правила експлуатації машини; цивільний захист	25.04.2026	
	Список літератури; додатки	1.05.2026	
	Оформлення проекту та отримання рецензії.	до 10.06.2026.	

Здобувач-дипломник _____ ПІБ

Керівник роботи _____ ПІБ

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ. Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник _____ ПІБ Підпис

ЗМІСТ:

Анотація	5
1. ВСТУП	6
Розділ 1 Опис технологічного процесу деалкоголізації	7
Розділ 2. Вимоги до сировини	13
Розділ 3 Опис технологічного процесу ректифікації	15
3.1 Матеріальний баланс ректифікації	15
3.2 Ректифікаційні апарати	18
3.3 Визначення числа тарілок ректифікаційних колон для розділення двокомпонентних сумішей.	21
3.4 Патентний пошук	24
3.5 Опис ректифікаційної колони	34
Розділ 4. Технологічний розрахунок ректифікаційної колоди	36
4.1 Матеріальний баланс	36
4.2. Визначення числа тарілок ректифікаційних колон.	36
4.3 Тепловий баланс ректифікаційної колони	40
4.4 Тепловий баланс дефлегматора	40
4.5 Тепловий баланс конденсатора	41
4.6. Визначення поверхні теплообміну.	41
4.7 Розрахунок на міцність	50
4.7.1 Розрахунок циліндричних апаратів та їх елементів, що знаходяться під дією зовнішнього надлишкового тиску	50
4.5. Гідравлічний розрахунок.	55
Розділ 5 Вибір додаткового обладнання	57
Розділ 6 Експериментальне дослідження процесу вакуумної ректифікації	58
Розділ 7 Інструкція з охорони праці під час роботи блочного випарного апарату	67
Розділ 7. Висновки.	67
Список літератури:	71

Анотація

Актуальність роботи. Кваліфікаційна робота присвячена розробці ректифікаційної колони для виготовлення безалкогольних вин. Наразі зріст попиту на дані види напоїв спостерігаються в усьому світі. Слід зауважити, що обсяг світового ринку безалкогольних вин оцінюється в 20 мільярдів доларів США із сукупним річним темпом зростання понад 45 % у 2018 році і, за прогнозами, збільшиться зі значним середньорічним темпом зростання понад 7 % протягом прогнозованого періоду (2019...2027 рр.).

Деалкоголізація, незалежно від способу, окрім суттєвого зниження об'ємної частки спирту у винах, впливає на фізико-хімічні показники вина, зокрема знижується концентрація летких сполук, що змінює ароматичний профіль, смаковий баланс та значно знижує енергетичну цінність сухого безалкогольного вина, що підвищує його привабливість для споживачів, які відслідковують калорійність напоїв.

Мета досліджень – розробити установку для деалкоголізації вина.

Кваліфікаційна робота викладена на 71 сторінках і складається з вступу, сімох розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг роботи - 71 сторінки, включаючи 21 рисунок, 2 таблиць, список літературних джерел з 11 найменувань (на 1 сторінці).

Ключові слова: безалкогольне вино, вакуумна ректифікація.

Вступ

Забезпечення раціонального підходу до розробки енергоефективного обладнання для виробництва деалкоголізації вина залишається й сьогодні актуальною задачею промислової технології.

Метою роботи є створення вакуумної ректифікаційної установки для деалкоголізації вина.

Розділ 1

ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЕАЛКОГОЛІЗАЦІЇ.

Безалкогольне вино — це напій, який виготовляється за тією ж технологією, що й звичайне вино, але з особливим процесом видалення алкоголю.

В останні кілька років ринок безалкогольних напоїв активно розвивається, і безалкогольні вина стали важливою частиною цієї тенденції. Це частково пов'язано з такими глобальними трендами, як підвищена обізнаність про здоров'я, зменшення споживання алкоголю серед молодих людей та загальна орієнтація на здоровий спосіб життя.

Дослідження показують, що інтерес до безалкогольних варіантів зріс не тільки серед людей, які утримуються від алкоголю з релігійних чи медичних причин, а й серед тих, хто шукає альтернативи на вечірках або просто хоче знизити споживання алкоголю, не відмовляючись від виносного ритуалу.

Ринок безалкогольних вин за останні роки значно зріс. Це дозволяє не тільки задовольнити попит на цей сегмент, але й продовжувати знайомити споживачів з альтернативами. Споживачі вже можуть вибирати серед різних видів: біле, червоне, рожеве, і навіть ігристе без алкоголю.

Безалкогольне вино доступне не лише в магазинах, але й у ресторанах і барах, що вказує на те, що це не просто тимчасова мода, а стабільний ринок.

Безалкогольне вино має свої переваги і недоліки порівняно з традиційним. З одного боку, воно дозволяє насолоджуватися "винним" досвідом без алкогольного впливу, що приваблює тих, хто хоче зберегти здоров'я або відмовляється від алкоголю. З іншого боку, багато хто відзначає, що смак безалкогольного вина відрізняється від класичного, і хоча деякі бренди роблять великі зусилля для того, щоб він був якомога більш схожим, повністю замінити традиційне вино все ж не вдається.

Найбільше безалкогольне вино може бути схоже на справжнє вино в аспекті аромату та текстури, але через відсутність алкоголю відсутній характерний

"поштовх", що часто асоціюється з класичними винами. Тому для справжніх поціновувачів вино без алкоголю — це не зовсім те саме.

Безалкогольне вино може бути чудовою альтернативою для тих, хто хоче зменшити споживання алкоголю, але при цьому насолоджуватися вишуканим смаком і атмосферою, пов'язаною з вином. Це може бути особливо актуальним для вагітних жінок, водіїв, людей, які проходять лікування, або просто для тих, хто прагне обрати більш здоровий спосіб життя.

Проте, якщо ви справжній фанат вина і любите глибокий аромат та складність класичних вин, безалкогольне вино, можливо, не стане для вас ідеальним варіантом. Це більше як «вино для обстановки», де важливою є саме соціальна складова, а не глибокі смакові відтінки. [1]

Поширюється безалкогольний спосіб життя. Зараз 10% ринку пива у Франції є безалкогольним. В Іспанії – 25%.

Виробництво безалкогольного вина починається з виробництва алкогольного вина і йде за наступною схемою:

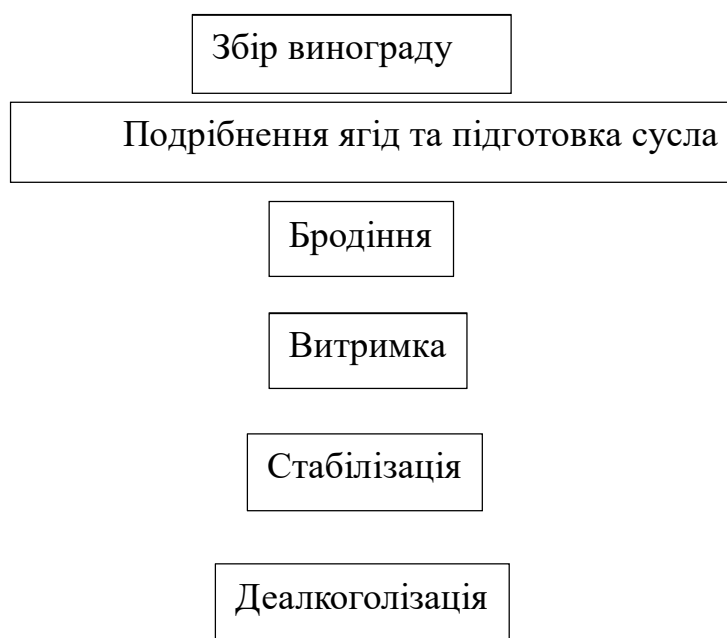


Рис 1.1. Схема виробництва безалкогольного вина.

Але оскільки вино безалкогольне, у кожен із цих етапів вносяться деякі зміни.

Збір винограду

Виноград для виробництва безалкогольного вина збирається трохи раніше, ніж для алкогольного вина. У такій сировині менше цукру і, відповідно, після бродіння з вини буде менше спирту.

Особливу увагу потрібно приділити кислотності винограду. У звичайному вині «каркасом» смаку є спирт. При його видаленні баланс порушується. Але якщо виноград спочатку кислий (наприклад, рислінг), саме кислота стає основою смакового профілю, і після деалкоголізації напій збереже свій характер.

Також для безалкогольного вина рекомендується вибирати яскраві ароматні сорти, наприклад, мускат або совіньйон блан.

Важливо: виноград має бути якісним, без дефектів, тому що після деалкоголізації всі недоліки вина стануть значно помітнішими.

Дроблення та підготовка суслу

Після збирання виноград сортують, видаляють гребені (не завжди) і акуратно дроблять, щоб не пошкодити кісточки та мінімізувати окиснення.

До білого та червоного вина підхід різний. Для виробництва білого вина сік швидко відокремлюють від шкірки, мезги та інших твердих частин винограду, щоб не почалася мацерація, сік не насичувався танінами та фенолами та залишався легким та м'яким на смак.

Для червоного вина сік залишають блукати разом із шкіркою, він насичується танінами, отримує глибокий смакоароматичний профіль та насичений колір. При виробництві безалкогольного вина часто зменшують час мацерації соку на меззі, щоб після видалення алкоголю танінний смак напою не

став занадто грубим. Таке вино за всіма характеристиками – і кольором, і смаком – ближче до рожевого.

Бродіння

На цьому етапі народжується вино. Зробити навіть безалкогольне вино без спиртового бродіння неможливо. Інакше це буде просто сік, який не має і половини властивого провину характеру, що створюється саме за рахунок ферментації.

Дріжджі переробляють цукор у спирт та вуглекислий газ. Принагідно формуються складні ароматичні ефіри, відтінки смаку і створюється тіло вина.

Для безалкогольного вина бродіння часто проводять при знижених температурах, щоб контролювати активність дріжджів, не допускаючи занадто бурхливий перебіг процесу і зберігаючи максимум летких ароматів. Іноді спеціально підбирають дріжджі з низьким виходом спирту.

Якщо мета – солодке вино – бродіння можуть зупинити раніше, щоб зберегти у складі більше сахароз.

Витримка

Після ферментації вино треба дозріти. Витримка допомагає стабілізувати смак, налаштувати баланс кислот та танінів та повною мірою розкрити смакоароматичний букет напою.

Іноді основу для преміальних безалкогольних вин наполягають по-старому в дубових бочках, але з цим інструментом потрібно поводитися вкрай обережно. Дубові ноти у напої без спирту можуть відчуватися різкішими і грубішими, і це може лише зіпсувати смак і зробити вино непридатним до вживання.

Тому більшість виробників використовують для витримки такого вина нейтральні, нержавіючі танки.

Стабілізація та підготовка

Перед видаленням алкоголю вино освітлюють та фільтрують (наприклад, за допомогою фільтрувального картону), очищаючи від помутнінь, кристалів винного каменю та сторонніх мікроорганізмів.

Це потрібно, щоб вино пережило деалкоголізацію, не зіпсувалося після видалення спирту (природного консерванту) та зберегло баланс смаку та аромату.

У результаті ми отримуємо повноцінне вино міцністю -9-13%, зі сформованим тілом та гармонійним букетом смаку та аромату.

Тепер можна розпочинати видалення алкоголю.

Є кілька способів зробити безалкогольне вино, зберігши багату палітру смаку оригінального напою. Для кожного з цих способів знадобиться спеціальне обладнання, і зараз ми докладно про нього розповімо.

Зворотний осмос (мембранна фільтрація)

При використанні зворотного осмосу вино пропускають через напівпроникну мембрану: вона вільно пропускає воду та інші низькомолекулярні сполуки, але утримує спирт та частину ароматичних речовин. Вино не піддається температурній обробці, що зводить до нуля ризику його «уварити», проте смак та аромат напою при зворотному осмосі помітно збіднюється.

Мембранна (осмотична) дистиляція проводиться у два етапи, що дозволяє максимально зберегти речовини, відповідальні за смак і аромат, проте викликає помутніння та нестабільність вина, тому цей спосіб рекомендований для часткової деалкоголізації.

Вакуумна дистиляція (низькотемпературна)

В установці для вакуумної дистиляції створюється знижений тиск., при якому етиловий спирт закипає не при звичайних 78⁰ C, а вже при 25-30⁰ C. Дистиляція проходить у щадному режимі: цінні ефірні олії, ароматичні

компоненти та корисні речовини з вина не піддаються термічному руйнуванню, а у смаку напою не з'являються «варені» ноти.

Як працює вакуумна деалкоголізація

Створення вакууму. Включається вакуумний насос, тиск усередині колони знижується.

Вино акуратно підігрівають у перегінному кубі. У разі вакууму спирт випаровується при 30-35 °С

Випаровування спирту. Етанол випаровується і піднімається вгору колоною. Більшість ароматичних сполук залишаються в рідині: їх молекули важчі і за таких умов майже випаровуються.

Конденсація пари. Пари спирту надходять у холодильник-конденсатор, де знову перетворюються на рідину. На виході одержують концентрований етанол (до 75%.), який можна зібрати та використовувати повторно.

Одержання безалкогольного вина. У колоні залишається деалкоголізований продукт або повністю безалкогольний, або з залишковим вмістом спирту менше 0,5%. Вино охолоджують та повертають у приймальну ємність.

Деалкоголізованому вину можна повернути втрачений органолептичний профіль, додавши до нього потрібні ароматичні речовини, але це ускладнює виробництво і підвищує собівартість підсумкового продукту. Тому більшість виробників віддають перевагу вакуумної дистиляції як більш щадному методу.

РОЗДІЛ 2

ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ

Вимоги до показників якості винограду, призначеної для споживання людиною згідно з ДСТУ 7669:2014 «Виноград свіжий технічний» за зовнішнім виглядом виноград ручного прибирання повинен бути чистим, здоровим, без листя та пагонів, одного ампелографічного сорту.

Допустимі відхилення масової частки:

- не більше 10% ягід, пошкоджених шкідниками та хворобами;
- не більше 10% сухих ягід;
- не більше 20% роздавлених ягід;
- не більше 15% домішки інших ампелографічних сортів, що відповідають за ботанічним виглядом та забарвленням ягід основному сорту;
- не допускається домішка інших ампелографічних сортів не відповідних по ботанічному виду та фарбуванню ягід основного сорту;
- Не більше 0,5% органічних домішок (листя, пагони);
- Токсичних елементів, мг/кг, не більше: свинець 0,4, кадмій 0,03, миш'як 0,2, ртуть 0,02, мідь 5,0, цинк 10,0;

— мікотоксинів та пестицидів не вище за рівні, допустимі «Медико-біологічними вимогами та санітарними нормами якості продовольчої сировини та харчових продуктів № 5061-89».

Сторонні домішки не допускаються.

На вигляд виноград свіжий технічний машинного прибирання повинен являти собою суміш цілих і роздавлених ягід і грон одного ампелографічного сорту з нормованою домішкою листя і пагонів виноградної рослини.

Допустимі відхилення масової частки:

- Роздавлених ягід не більше 40%;
- ягід, пошкоджених шкідниками та хворобами, сухих ягід, домішки інших ампелографічних сортів у тих самих нормах, що й для винограду ручного збирання;

- Органічних домішок (листя, пагони) не більше 1,0%;

— токсичних елементів, мікотоксинів та пестицидів у тих самих нормах, що й для винограду ручного прибирання;

- Сторонні домішки не допускаються.

Натуральний виноградний сік є напоєм, приготованим зі свіжого винограду без бродіння і містить не більше 0,5% по спирту. Не допускаються розведення соку водою, додавання цукру, кислот, барвників та ароматичних речовин.

Сік зберігає всі цінні властивості ягоди і має дієтичні харчові та лікувальні властивості, збуджує апетит, стимулює травлення, забезпечує організм цінними речовинами (вуглеводами, органічними кислотами). За своєю поживною цінністю прирівнюється до молока. За якістю сік ділять на три групи: марочний, вищого та I сортів.

Сік марочний готують з одного ампелографічного сорту винограду, сік вищого ґатунку з одного ампелографічного сорту або суміші сортів винограду. Він повинен містити сухих речовин не нижче 16 г/100 см^3 і мати кислотність, що титрується, 5-9 г/дм³.

Сік I сорту готують з одного ампелографічного сорту, суміші сортів із вмістом сухих речовин не нижче 14 г/100 см^3 та титрованої кислотністю 5-9 г/дм³. Кращі соки готують із сортів винограду, що використовуються для столових вин: Аліґоте, Рислінґ, Кокур, Ркацелі, Мускат, Каберне.

РОЗДІЛ 3

ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ.

Ректифікація

3.1. Матеріальний баланс перегонки.

З рівняння матеріального балансу визначають витрат дистиляту та його кінцеву концентрацію

$$G_{\text{сум}} = G_{\text{дис}} + G_{\text{зал.}}, \quad \text{кг/с} \quad - \text{ за потоком продукту,} \quad (3.1)$$

$$G_{\text{сум}} \cdot x_{\text{сум}} = G_{\text{дис}} \cdot x_{\text{дис}} + G_{\text{зал.}} \cdot x_{\text{зал.}}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}} - \text{ за низькокипячим компонентом} \quad (3.2)$$

де $G_{\text{сум}}$, $G_{\text{дис}}$, $G_{\text{зал.}}$ – продуктивність, відповідно початкової суміші, дистиляту і залишку.

$x_{\text{сум}}$, $x_{\text{дис}}$, $x_{\text{зал.}}$ – концентрація, відповідно початкової суміші, дистиляту і залишку

Ректифікація — процес багаторазової перегонки з метою повного розділення початкової суміші на компоненти [2].

Принцип ректифікації. Найпростішими способами перегонки рідких сумішей, як це зазначалося вище, є:

- 1) часткове випаровування рідини і конденсація отриманих парів з відведенням конденсату (проста перегонка) і
- 2) часткова конденсація парів суміші, що переганяється з відведенням конденсату (проста конденсація).

Кожен з цих процесів окремо не призводить до отримання досить чистих продуктів, але, здійснюючи обидва ці процеси одночасно і багаторазово в протиточних колонах, можна досягти поділу рідкої суміші на чисті, складові суміш компоненти. Такий процес поділу рідких сумішей за допомогою одночасно і багаторазово повторюваних часткових випарів і конденсацій називають ректифікацією.

Процес ректифікації здійснюється в протиточних апаратах – колонах: пара

суміші протікають від низу до верху, а назустріч парам зверху вниз протікає рідина, що подається в верхній елемент колони. Між рідкої і парової фазами виникає массообмін, внаслідок якого пара в міру їх просування по колоні збагачуються легколетучим компонентом, а рідина-менш летючим компонентом. В кінцевому підсумку пара, що виходить з верхньої частини колони, являє собою більш-менш чистий легколетучий компонент, конденсація якого дає готовий продукт-д істіллят, а з нижньої частини колони випливає порівняно чистий менш летючий компонент, так званий кубовий залишок, який, так само як і дистилят, може бути кінцевим продуктом перегонки.

Рідина, що надходить на зрошення колони, називають **флегмою**; її отримують шляхом конденсації пари, що піднімаються з верхньої частини колони, в спеціальних конденсаторах-дефлегматором. Для освіти парів нижній елемент колони постачають гріють пристосуваннями у вигляді змієвиків або трубчаток, в які і підводять необхідну кількість тепла, в більшості випадків з гріючою водяною парою.

Ступінь поділу рідкої суміші на складові її компоненти і чистота одержуваних дистиляту і кубового залишку залежать від того, наскільки розвинена поверхня фазового контакту, а остання визначається кількістю зрошуваною рідини-флегми і конструктивним оформленням апарату.

Найбільш наочно процес ректифікації можна простежити на схемі тарільчатої колони (рис. 3.1). Колона складається з ряду горизонтально розташованих перегородок-тарілок, що мають велике число отворів і переливні трубки, верхні кінці яких виступають на 30-50 мм вище тарілки, а нижні знаходяться в рідині на нижній тарілці, що забезпечує підтримку на тарілках певного постійного рівня рідини. На нижню тарілку надходить пар з куба колони, а зверху подається флегма.

На тарілці 1 рідина містить x_1 низькокипячого компонента. З цієї рідини виділяється пар, зміст низькокипячого компонента в якому в межах відповідає рівноважному складу y_1 , причому $y_1 > x_1$. Ця пара проходить в отвори тарілки 2 і, стикаючись на ній з рідиною, що має більш низьку температуру в порівнянні з температурою рідини на тарілці 1, частково конденсується, внаслідок чого зміст x_2 в рідині на тарілці 2 буде більше x_1 з цієї рідини утворюється пара, склад якого в межах дорівнюватиме рівноважному складу y_2 рідини, причому $y_2 > x_2$. Проходячи в отвори тарілки 3, цей пар частково конденсується і на тарілці 3 рідина містить компонент $x_3 > x_2$ іт. д.

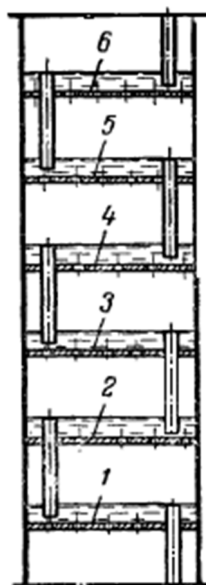


Рис. 3.1.

На кожній тарілці проходить масообмін між рідкою і паровою фазами, в результаті чого частина низькокипячого компонента переходить з рідкої фази в парову, а частина менше летючого компонента - з парової фази в рідку. При багаторазовому повторенні процесів випаровування і конденсації або, інакше кажучи, при відповідному, зокрема тарілок можна отримати в кінцевому підсумку вгорі колонни пар чистого низькокипячого компонента, а внизу колони - залишок рідини у вигляді чистого менш летючого компонента.

Теоретично кожна тарілка колони являє собою ступінь зміни концентрації; склад пара при виході з тарілки дорівнює рівноважному складу рідини при вході її на тарілку і, отже, теоретично число тарілок дорівнює числу ступенів зміни

концентрації для кожного даного випадку перегонки. Практично пара на тарілці рівноважного стану не досягає, і тому число реальних тарілок завжди буде більше теоретичного числа ступенів зміни концентрації.

3.2. Ректифікаційні апарати

Ректифікацію проводять як під атмосферним тиском, так і при тисках вище і нижче атмосферного. Тиску вище атмосферного застосовують в тих випадках, коли суміш, що розділяється при атмосферному тиску знаходиться в газоподібному стані; ректифікацію при зниженому тиску (під вакуумом) проводять для поділу висококиплячих сумішей.

Ректифікація рідких сумішей проводиться в апаратах (колонах) різних типів і конструкцій. Незалежно від типу і конструкції колон ректифікація проводиться як періодично, так і безперервно.

Періодична ректифікація. В періодично діючої ректифікаційної установки (рис. 3.2) переганяється суміш завантажують в куб 1, нагрівають глухим паром до температури кипіння і потім безперервно підтримують стан кипіння. Утворений в кубі пар надходить в колону 2 (так звану зміцнюючу колону), де

відбувається процес
ректифікації.

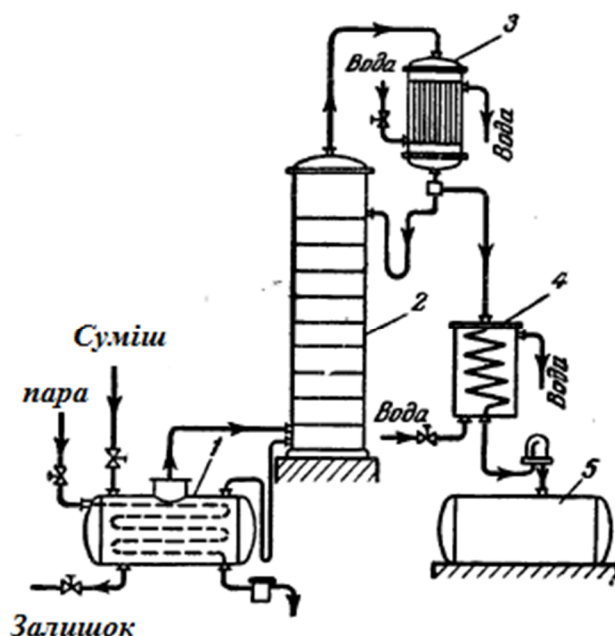


Рис. 3.2

Піднімається з верхньої тарілки пар направляється в дефлегматор 3, де частина його конденсується і у вигляді рідини-флегми стікає назад на верхню тарілку для зрошення колони. Несконденсована пара з дефлегматора надходить в холодильник, де вони повністю конденсуються, і отриманий рідкий дистилят охолоджується до заданої температури. З холодильника дистилят надходить через контрольний ліхтар до збірника 5. За ареометру, який знаходиться в ліхтарі, контролюють конденсацію дистиляту за питомою вагою. Спостерігаючи через ліхтар за протіканням дистиляту, регулюють швидкість перегонки.

Якщо при перегонці потрібно відібрати кілька фракцій з різною температурою кипіння, то встановлюють кілька збірок дистиляту (по числу фракцій) і в міру протікання перегонки збирають фракції в окремі збірники.

Ректифікацію в періодично діючої колоні ведуть до тих пір, поки не отримають в кубі рідину заданого складу, після чого обігрів куба припиняють, залишок зливають в збірники, а в куб завантажують нову порцію початкової суміші, яку знову переганяють до одержання дистиляту заданого складу.

Безперервна ректифікація. Для безперервного протікання процесу ректифікації необхідно, щоб надходить на поділ суміш стикалася із зустрічним потоком пара з більшою концентрацією висококиплячого компонента, ніж в суміші.

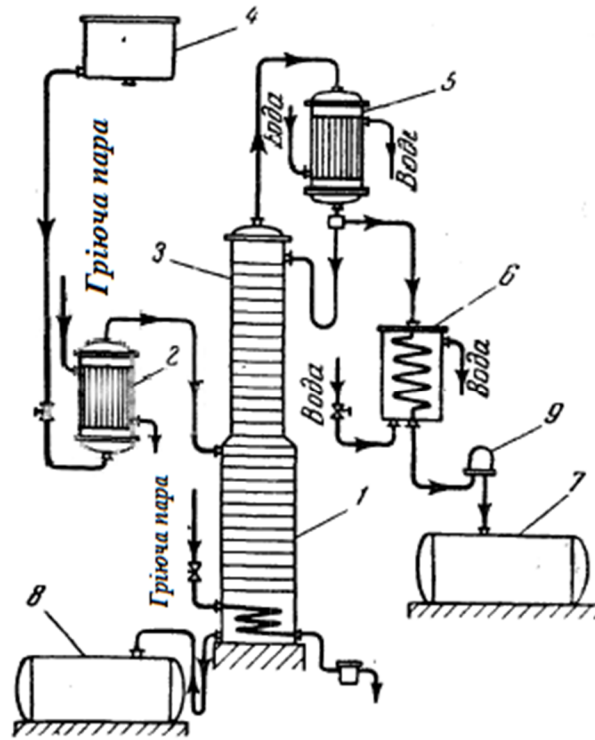


Рис. 3.3

Тому в установках для безперервної ректифікації (рис. 3.3) колони виконують з двох частин: нижньої 1 (виснаження) і верхньої 3 (зміцнення). У вичерпної частини колони відбувається видалення низькокипячого компонента з стікаючої вниз рідини, а у верхній – збагачення пари, яка піднімається вгору низьколетучим компонентом. Початкова рідка суміш безперервно надходить з напірного резервуара 4 на верхню тарілку виснажної частини колони (так звану поживну тарілку). Проходячи до колони через підігрівач 2, суміш підігрівается зазвичай до температури кипіння на живильному тарілці. На живильному тарілці рідина змішується з флегмою з зміцнює частини колони і, стікаючи по тарілках, взаємодіє з піднімається назустріч паром, багатшим висококипячим компонентом; при цьому з рідини видаляється низькокипячий компонент. Таким чином, в вичерпної частини колони відбувається процес ректифікації рідини. У нижній елемент колони стікає рідина, що складається майже цілком з висококипячого компонента. Частина її, так званий кубовий залишок, безперервно відводиться, а інша частина випаровується за рахунок тепла глухого

пари, що гріє, і підводиться в нижній елемент колони (кип'ятильник).

Пара піднімається по всій колоні знизу вгору, збагачується низькокипячим компонентом і надходить в дефлегматор 5. Тут частина пара конденсується і повертається в колону, де стікає у вигляді флегми зверху вниз. Інша частина пари надходить в холодильник – конденсатор 6, де відбуваються його конденсація і охолодження отриманого дистиляту; дистилят прямує в збірник 7. Гріюча пара підводиться в змійовик, встановлений в кубі колони; з куба безперервно стікає в збірник 8 залишок від перегонки, т. е. майже чистий висококипячий компонент.

Так як вихідна суміш надходить на ректифікацію безперервно, то при сталому стані склад рідини і пара на кожній ділянці колони залишається незмінним. У деяких випадках в дефлегматорі проводиться конденсація всіх парів, що піднімаються з колони. Отриманий конденсат ділиться на дві частини; одна частина надходить у вигляді флегми назад в колону, інша ж прямує в холодильник, де охолоджується до заданої температури дистиляту.

3.3. Визначення числа тарілок ректифікаційних колон для розділення двокомпонентних сумішей

Для визначення числа ступенів зміни концентрації будують діаграму $Y - X$ в прямокутній системі координат (рис. 3.4). По осі абсцис цієї діаграми в певному масштабі наносять зміст легколетучего компонента в рідині і по осі ординат-вміст того ж компонента в парах.

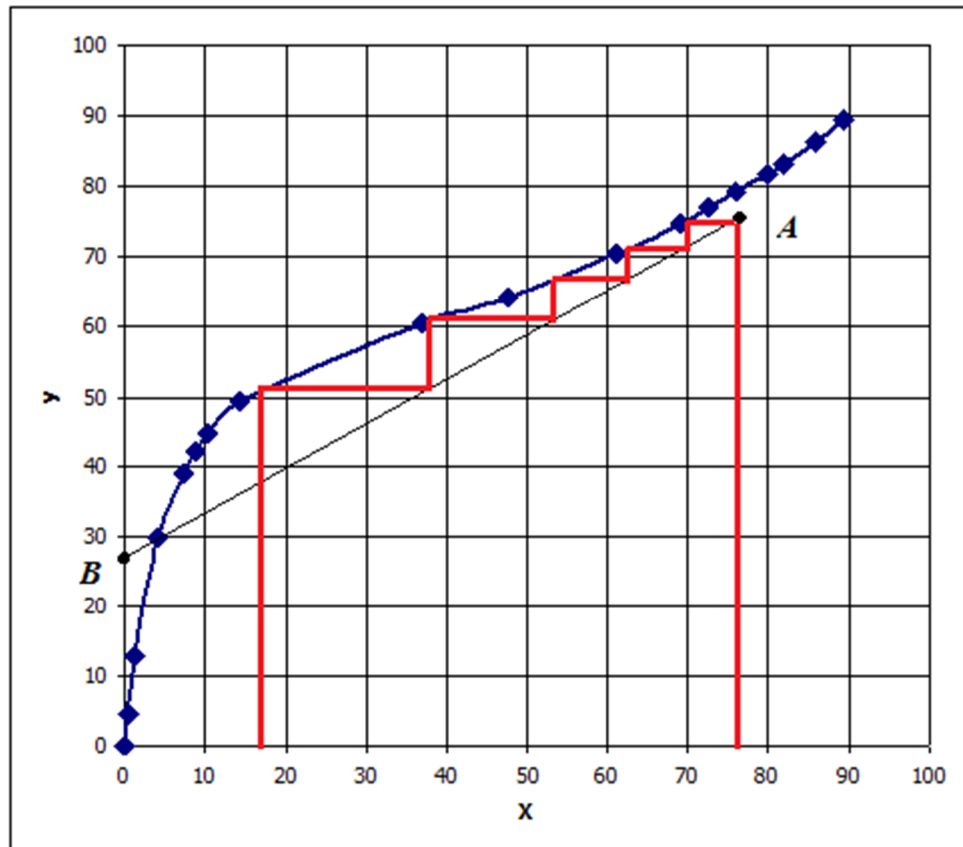


Рис. 3.4

Потім на діагоналі діаграми знаходять точку А з координатами $X = Y = X_d$. Далі за рівнянням знаходять мінімальне флегмове число

$$R_{min} = \frac{X_d - Y_{sum}}{Y_{sum} - X_{sum}}$$

Визначають робоче флегмове число

$$R_{роб} = K \cdot R_{min}$$

Коефіцієнт надлишку флегми приймається в межах $K = 1,4 \dots 2$.

Для побудови робочої лінії на осі ординат графіка $Y=f(X)$ відкладають відрізок, рівний $B = \frac{X_d}{R_{роб} + 1}$, і з'єднують його із точкою з координатами

$X_d = Y_d$ (точка А). У результаті одержують робочу лінію колони.

Для визначення числа теоретичних тарілок у межах концентрацій від X_f до Y_d вписують, починаючи від точки А, між лініями рівноваги й робочої східчасту

лінію. Число отриманих ступенів визначає число теоретичних тарілок n .

Число дійсних тарілок визначають по рівнянню

$$n_{\partial} = \frac{n}{\eta}$$

де η – ккд тарілки.

3.4. Патентний пошук



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **106537** (13) **U**
(51) МПК (2016.01)
A23L 2/70 (2006.01)
C12H 3/00
C12G 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 11349	(72) Винахідник(и): Гісем Володимир Васильович (UA), Кучеренко Володимир Михайлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 17.11.2015	(73) Власник(и): Гісем Володимир Васильович, вул. Шумна, 26, кв. 23, м. Ужгород, Закарпатська обл., 88000 (UA), Кучеренко Володимир Михайлович, вул. Сеченова, 7, кв. 2, м. Київ, 03127 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.04.2016	(74) Представник: Боровик Петро Антонович, реєстр. №166
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.04.2016, Бюл.№ 8	

(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО ІГРИСТОГО ВИНА

(57) Реферат:

Спосіб виробництва безалкогольного ігристого вина включає складання бродильної суміші, її шампанізацію, фільтрацію та вторинне бродіння. Після вторинного бродіння здійснюють деалкоголізацію вина шляхом його низькотемпературної фракційної дистиляції у вакуумі до об'ємної частки етилового спирту не більше 0,5 %, з наступним розливом безалкогольного ігристого вина у тару.

UA 106537 U

1. Спосіб виробництва безалкогольного ігристого вина, який включає складання бродильної суміші, її шампанізацію, фільтрацію та вторинне бродіння, який **відрізняється** тим, що після вторинного бродіння здійснюють деалкоголізацію вина шляхом його низькотемпературної фракційної дистиляції у вакуумі до об'ємної частки етилового спирту не більше 0,5 %, з наступним розливом безалкогольного ігристого вина у тару.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що дистиляцію здійснюють при температурі +15-22 °С.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що шампанізацію здійснюють пляшковим способом.
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що шампанізацію здійснюють резервуарним періодичним або безперервним способом.
5. Спосіб за п. 4, який **відрізняється** тим, що складання бродильної суміші включає отримання загальної кількості суслу на вироблення виноматеріалу у кількості не більше 60-65 декалітрів на 1 тону винограду.
6. Спосіб за п. 5, який **відрізняється** тим, що для отримання суслу використовують суміш винограду мускатних сортів у кількості не менше 50 % від загальної кількості винограду та винограду білих європейських сортів.
7. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що складання бродильної суміші включає сульфитування виноградної м'язги сірчаною кислотою у розрахунку 75-150 мг/дм³ з наступним настоюванням протягом 12-36 годин і періодичним перемішуванням.
8. Спосіб за п. 7, який **відрізняється** тим, що складання бродильної суміші включає відокремлення суслу після його настоювання з наступним зброджуванням на чистій культурі дріжджів при температурі не вище 26 °С.
9. Спосіб за пп. 7, 8, який **відрізняється** тим, що складання бродильної суміші включає декантування освітлених матеріалів з дріжджового осаду.
10. Спосіб за п. 9, який **відрізняється** тим, що після декантування здійснюють егалізацію.
11. Спосіб за пп. 7-10, який **відрізняється** тим, що складання бродильної суміші включає формування купажу виноматеріалів з використанням асамбляжу мускатних виноматеріалів та/або сортів виноматеріалів для ігристих вин.
12. Спосіб за п. 11, який **відрізняється** тим, що сформований купаж виноматеріалів оклеюють рибним клеєм та/або желатином, та/або таніном, та/або бентонітом.
13. Спосіб за пп. 11, 12, який **відрізняється** тим, що оброблений та знятий з клею купаж виноматеріалів охолоджують до температури у межах -3 - -4 °С з наступним витримуванням не менше 2 діб та фільтрацією у холодильній камері.
14. Спосіб за пп. 11-13, який **відрізняється** тим, що купаж виноматеріалів перед шампанізацією витримують не менше 30 діб в умовах, які виключають його окислення.
15. Спосіб за пп. 11-14, який **відрізняється** тим, що перед приготуванням бродильної суміші здійснюють знекиснення купажу виноматеріалів та бродіння при температурі не вище +12 °С.
16. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що вторинне бродіння здійснюють під зростаючим тиском при температурі не вище +15 °С.
17. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що здійснюють деалкоголізацію вина до об'ємної частки етилового спирту не більше 0,5 % при масовій концентрації цукрів у межах від 6 до 50 г/дм³, у перерахунку на інвертний цукор.



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 134315

(13) U

(51) МПК

B01D 3/10 (2006.01)

C12C 7/22 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2018 12383

(22) Дата подання заявки: 13.12.2018

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: 10.05.2019(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 10.05.2019, Бюл.№ 9

(72) Винахідник(и):

Шевченко Олександр Юхимович (UA),
Соколенко Анатолій Іванович (UA),
Васильківський Костянтин Вікторович
(UA),
Максименко Ірина Фаддеївна (UA),
Степанець Олег Іванович (UA)

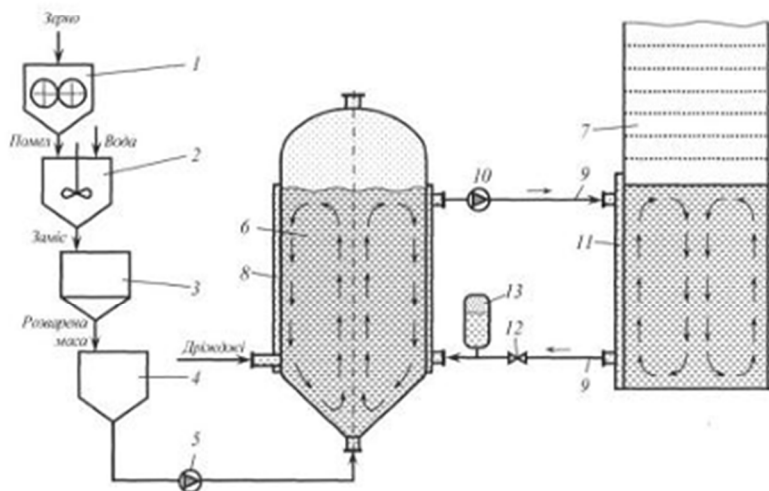
(73) Власник(и):

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ,
вул. Володимирська, 68, м. Київ-33, 01601
(UA)

(54) СИСТЕМА ЗБРОДЖУВАННЯ І ПЕРЕГОНКИ СУСЛА У ВИРОБНИЦТВІ ЕТАНОЛУ

(57) Реферат:

Система збродження і перегонки суслу у виробництві етанолу складається із дробарки зерна, змішувача помелу і води, апарата термоферментативної обробки, оцукрювача, які своїми виходами з'єднані між собою, а вихід оцукрювача трубопроводом, з встановленим на ньому насосом із бродильним апаратом з сорочкою охолодження і брагоперегонної колони, причому сорочки охолодження бродильного апарата і нагрівання брагоперегонної колони об'єднані у складі контуру холодильного агента, устаткованого трубопроводом, компресором, дроселем і гідралічним акумулятором.



Система зброджування і перегонки суслу у виробництві етанолу належить до технологічного обладнання, яке призначене для виробництва етанолу.

Відома система зброджування суслу (Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійничук С.Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія. - К.: Видавничий дім "Асканія", 2009. - С. 100, розд. 6.4, С. 209, рис. 3.2.), що складається із дробарки зерна, змішувача помелу і води, апарата термоферментативної обробки, оцукрювача, які своїми виходами з'єднані між собою, а вихід оцукрювача трубопроводом, з встановленим на ньому насосом, із бродильним апаратом з сорочкою охолодження і брагоперегонної колони.

Але вказана система потребує енергоматеріальних витрат на охолодження зброджуваного середовища і стабілізацію його температури та теплоенергетичних витрат для роботи брагоперегонної колони.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення системи зброджування і перегонки суслу у виробництві етанолу шляхом зміни конструкції, що дозволяє обмежувати енергетичні і матеріальні витрати, збільшувати продуктивність системи.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що система зброджування і перегонки суслу складається із дробарки зерна, змішувача помелу і води, апарата термоферментативної обробки, оцукрювача, які своїми виходами з'єднані між собою, а вихід оцукрювача трубопроводом, з встановленим на ньому насосом із бродильним апаратом з сорочкою охолодження і брагоперегонної колони.

Згідно з корисною моделлю, сорочки охолодження бродильного апарата і нагрівання брагоперегонної колони об'єднані у складі контуру холодильного агента, устаткованого трубопроводом, компресором, дроселем і гідравлічним акумулятором.

Причинно-наслідковий зв'язок між ознаками, що пропонуються, і результатом, що очікується, наступний.

Виконання сорочки охолодження бродильного апарата і нагрівання брагоперегонної колони об'єднаними у складі контуру холодильного агента, устаткованого трубопроводом, компресором і дроселем, забезпечує можливість трансформації енерготеплового потоку бродіння від 30 до 110 °С на вході в сорочку брагоперегонної колони, що обмежує енергоматеріальні витрати на охолодження зброджуваного середовища і стабілізацію його температури, а трансформована теплота бродіння забезпечує режим перегонки суслу в брагоперегонній колоні.

Таким чином сукупність запропонованих ознак дозволяє забезпечити в повному обсязі очікуваний технічний результат.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де показано систему зброджування і перегонки суслу. Система складається з дробарки 1, змішувача 2 потоків помелу і води, апарата 3 термоферментативної обробки, оцукрювача 4, насоса 5, бродильного апарата 6, які своїми виходами зв'язані між собою, брагоперегонної колони 7, контуру холодильного агента у складі сорочки 8 бродильного апарата, трубопроводів 9, компресора 10, сорочки 11 брагоперегонної колони, дроселя 12 і гідравлічного акумулятора 13.

Система зброджування і перегонки суслу у виробництві етанолу працює наступним чином.

Перероблювана зернова маса подається на дробарку 1, з якої помел потрапляє у змішувач 2, де готується заміс з водою і ферментами. Приготований заміс передається в апарат 3 ферментативної обробки середовища, а потім в оцукрювач 4, з якого насосом 5 середовище надходить в бродильний апарат 6.

Процес бродіння супроводжується виділенням теплоти. Під час зброджування 160 кг цукру в 1 м³ середовища виділяється 150220 кДж теплоти за оптимальної температури зброджування 28...32 °С. Термостабілізація на такому рівні здійснюється за рахунок взаємодії холодильного агента в сорочці охолодження 8 бродильного апарата. Утворювана при цьому парова фаза відсмоктується і стискається компресором 10 з підвищенням її температури до 110 °С та подається трубопроводом 9 в сорочку нагрівання 11 брагоперегонної колони 7. Тут відбувається конденсація пари холодильного агента з передаванням теплової енергії середовищу брагоперегонної колони. Сконденсований холодильний агент передається на дросель 12, в якому відбувається зниження тиску і наступна передача в гідравлічний акумулятор 13 і сорочку охолодження бродильного апарата.

Гідравлічний акумулятор забезпечує підтримання тиску в частині системи між дроселем і компресором.

Передавання енергетичних потоків від зброджуваного середовища до сорочки охолодження бродильного апарата і від сорочки нагрівання брагоперегонної колони здійснюється за рахунок теплової циркуляції в них, а підвищені коефіцієнти тепловіддачі в сорочках забезпечуються режимами відповідно випаровування та конденсації холодильного агента.

Із 160 кг цукру утворюється біля 80 кг спирту, випаровування якого потребує 72872 кДж. Це означає, що трансформована теплота бродіння може забезпечити повний процес перегонки з обмеженими енерговитратами на компресор теплового насоса на рівні 10 % від потужності в теплових контурах.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **136406** (13) **U**
(51) МПК (2019.01)
B01D 3/00
B01J 19/00
C10G 45/04 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2019 06777	(72) Винахідник(и): Вигоняйло Олександр Іванович (UA)
(22) Дата подання заявки: 18.06.2019	(73) Власник(и): ВИГОНЯЙЛО ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ , просп. Перемоги, буд. 94, кв. 25, м. Лисичанськ, Луганська обл., 93100 (UA), МАЛЮТІН ЕДУАРД ВІКТОРОВИЧ , просп. Шевченка, буд. 8/7, кв. 33, м. Одеса, 65058 (UA), КІЧУК АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ , б-р Лідерсовський, буд. 5, кв. 264, м. Одеса, 65014 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.08.2019	(74) Представник: Чьочь Вікторія Володимирівна , реєстр. №257
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.08.2019, Бюл.№ 15	

(54) КОЛОНА РЕАКЦІЙНОЇ РЕКТИФІКАЦІЇ

(57) Реферат:

Колонa реакційної ректифікації містить вертикальний корпус з патрубками введення сировини і виведення отриманих продуктів, усередині корпусу розміщено щонайменше два розподільчі елементи, які являють собою відокремлені шари нерегулярної насадки. Кожен з яких розміщено в окремому елементі вертикального корпусу колони (царзі), шар нерегулярної насадки утворено з гранул каталізатора у вигляді керамічних сфер або екструдату з рівномірно розподіленими в ньому капсулами активатора у співвідношенні 88-94 % до 6-12 % об'єму нерегулярної насадки, розмір капсули активатора становить щонайменше 30 мм, що у 10-20 разів перевищує розмір гранули каталізатора. Додатково внизу і вгорі окремого елемента вертикального корпусу колони (царги) розміщено сітчасті або провальні тарілки, діаметр отворів яких складає 2-3 мм, але не більше 80 % діаметра гранул каталізатора. Капсули активатора містять суміш металів або їх сполук побічних підгруп п'ятого і шостого періодів ПСЕ Д.І. Менделєєва.

UA 136406 U

Корисна модель належить хімічного машинобудування, хімічної, газової, нафтової та інших галузей, пов'язаних з переробкою вуглеводнів.

Відомі колони реакційної ректифікації, що працюють в режимі ректифікації і екстрактної ректифікації. Ці колони використовують у процесах отримання ефірів, присадок до моторного палива і форполімерів для виробництва каучуку. Колони реакційної ректифікації характеризуються простотою конструкції, достатньою легкістю управління технологічним процесом і технологічним режимом, але мають малу інтенсивність роботи [1].

Найбільш близьким аналогом є колона реакційної ректифікації для виробництва метилтретбутилового ефіру (МТБЕ) з метанолу та бутену [2], що містить вертикальний корпус з патрубками входу сировини і виходу готової продукції і сировини, яка не прореагувала, та розміщеними в корпусі елементами розподілу потоків. Розподільними елементами є два або три самостійних (відокремлених) шари нерегулярної насадки, кожен з яких розміщений в окремому елементі вертикального корпусу колони (царзі). Шар насадки, що являє собою сфери макропористої катіонообмінної смоли, яка містить функціональні сульфо-групи. Катіонообмінна смола повинна знаходитися в H^+ формі.

До недоліків роботи колони слід віднести середню і низьку інтенсивність процесів теплообміну і масообміну, обумовлену наявністю стадії хімічного перетворення, швидкість якого є визначальним фактором загальної інтенсивності процесу.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення відомої колони реакційної ректифікації, підвищення інтенсивності її роботи і зниження споживання енергії, шляхом застосування нових елементів колони, виготовлених з матеріалів, які раніше не використовувалися, та завдяки взаємозв'язку цих елементів з тепломасопередаючими пристроями колони.

Поставлена задача вирішується тим, що колона реакційної ректифікації, що містить вертикальний корпус з патрубками введення сировини і виведення отриманих продуктів, усередині корпусу розміщено розподільчі елементи, згідно з корисною моделлю, використано щонайменше два розподільчі елементи, які являють собою відокремлені шари нерегулярної насадки, кожен з яких розміщено в окремому елементі вертикального корпусу колони (царзі), шар нерегулярної насадки утворено з гранул каталізатора у вигляді керамічних сфер або екструдату з рівномірно розподіленими в ньому капсулами активатора у співвідношенні 88-94 % до 6-12 % об'єму нерегулярної насадки, розмір капсули активатора становить щонайменше 30 мм, що у 10-20 разів перевищує розмір гранули каталізатора, додатково внизу і вгорі окремого елемента вертикального корпусу колони (царги) розміщено сітчасті або провальні тарілки, діаметр отворів яких складає 2-3 мм, але не більше 80 % діаметра гранул каталізатора. Капсули активатора містять суміш металів або їх сполук побічних підгруп п'ятого і шостого періодів ПСЕ Д.І. Менделєєва.

Поставлена задача запропонованої корисної моделі полягає в підвищенні інтенсивності роботи колони реакційної ректифікації і зниження споживання енергії за рахунок введення до каталізатора капсул активатора, які виконують функцію промотора (каталізатора для каталізатора), що дозволяє знизити температуру процесу (на 50-200°C) і тиск в реакційній зоні (з 5-10 МПа до 0,1-0,3 МПа), а також модифікувати процеси, що проходять в реакторі, таким чином, що при цьому відбувається прискорення трансформації речовин, зміна їх фізико-хімічних властивостей та хімічного складу речовин, здійснюється прискорення досягнення рівноваги оборотних хімічних реакцій в усьому об'ємі колони реакційної ректифікації, розширення діапазону хімічних реакцій та їх поглиблення, що приводить до інтенсифікації процесів та обумовлює підвищення якості продуктів. Інтенсивність процесу підвищується до інтенсивності звичайної ректифікації.

Запропонована колона реакційної ректифікації пояснюється кресленням, де зображено загальний вигляд колони реакційної ректифікації, розріз.

Колона реакційної ректифікації містить вертикальний корпус 1 з патрубками введення - сировини 4 та зрошення 5, патрубком виведення отриманих продуктів (темної фракції) 2, кубом-збірником важкої фракції 3, патрубком виведення (шльомовий перевал) парів компонентів моторного палива (КМП) 8, усередині корпусу 1 розміщені розподільчі елементи - шари нерегулярної насадки 6, утворені з гранул каталізатора у вигляді керамічних сфер або екструдату з рівномірно розподіленими в ньому капсулами активатора у співвідношенні 88-94 % до 6-12 % об'єму нерегулярної насадки, розмір капсули активатора становить щонайменше 30 мм і у 10-20 разів перевищує розмір гранули каталізатора, внизу і вгорі царги розміщують сітчасті або провальні (напівглухі) тарілки 7, діаметр (2-3 мм) отворів яких не більше 80 % діаметра гранул каталізатора. Капсули активатора містять суміш металів або їх сполук побічних груп п'ятого та шостого періодів ПСЕ Д.І. Менделєєва.

Колона реакційної ректифікації працює наступним чином.

З печі або іншого пристрою нагріву сировини, суміш парової і рідкої фази вуглеводнів під тиском не більше 0,8 МПа і температурі не вище 375 °C надходить через патрубок введення сировини 4 в колону реакційної ректифікації під шар нерегулярної насадки 6 або між шарами нерегулярної насадки 6, розташованими в нижній частині колони. У колоні відбувається часткове випаровування рідини, і суміші пари і рідини сировини і загальний потік парів прямує вгору, проходячи і омиваючи шар (шари)



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **162143** (13) **U**
(51) МПК (2025.01)
C12G 1/00
C12F 3/06 (2006.01)
C12F 3/08 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2025 02514	(72) Винахідник(и): Успенко Ольга Василівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 28.05.2025	(73) Володілець (володільці): Успенко Ольга Василівна, пров. Шкільний, буд. 6, смт Єрки, Черкаська обл., 20505 (UA), ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "НАУКОВО- ВИРОБНИЧИЙ ЦЕНТР "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ ВІНА", вул. Сеченова, буд. 7, кв. 2, м. Київ, 03127 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 26.02.2026	(74) Представник: Успенко Ольга Василівна
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 25.02.2026, Бюл.№ 8	

(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА БЕЗАЛКОГОЛЬНОГО ВІНА

(57) Реферат:

Спосіб виробництва безалкогольного вина включає вибір винограду, ферментацію сусла та деалкоголізацію. Для збереження органолептичних властивостей вина застосовують вакуумну дистиляцію при тиску 50-60 мбар і температурі 40-60 °С, а після деалкоголізації додають кріоконцентрат у кількості 20-30 г/дм³, проводять охолодження до 0 °С, освітлення та стабілізацію перед розливом.

UA 162143 U

1. Спосіб виробництва безалкогольного вина, що включає вибір винограду, ферментацію суслу та деалкоголізацію, який **відрізняється** тим, що для збереження органолептичних властивостей вина застосовують вакуумну дистиляцію при тиску 50-60 мбар і температурі 40-60 °С, а після деалкоголізації додають кріоконцентрат у кількості 20-30 г/дм³, проводять охолодження до 0 °С, освітлення та стабілізацію перед розливом.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що у виробничому процесі використовуються ароматичні сорти винограду із вмістом цукру 160-223 г/дм³.
3. Спосіб за п. 2, який **відрізняється** тим, що проводять тривале настоювання суслу на м'яззі для збагачення ароматичними речовинами, а саме для білого вина - 20 годин при температурі 15 °С, або для червоного вина - 3 доби при температурі 10 °С.
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що необроблений виноматеріал піддають деалкоголізації методом вакуумної дистиляції при тиску 40-50 мбар та за температури 40-60 °С.
5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що до деалкоголізованого вина додають кріоконцентрат виноградного суслу до 30 г/дм³.
6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що після купажування підсолоджене вино охолоджують до температури близько 0-2 °С та витримують протягом 3-х діб з подальшою фільтрацією.
7. Спосіб за п. 6, який **відрізняється** тим, що проводять освітлення з подальшою стерильною фільтрацією, застосовуючи матеріал стабілізуючої дії на основі бентоніту, целюлози, полівінілполіпіролідону та рослинного протеїну у дозуванні 0,3 мг/дм³.
8. Спосіб за п. 6 або 7, який **відрізняється** тим, що готове безалкогольне вино проходить пастеризований розлив при температурі 60-70 °С в стерильних умовах й контролю мікробіологічної чистоти, щоб уникнути вторинного забруднення, із додаванням SO₂ з подальшим закупорюванням за допомогою корка.

Корисна модель належить до галузі виноробства, зокрема до способів, які включають часткове або повне видалення алкоголю для приготування низькоалкогольних та безалкогольних вин із збереженням його органолептичних характеристик, наприклад вина безалкогольного столового сухого, напівсухого, напівсолодкого, солодкого білого, рожевого та червоного з ароматичних українських та європейських сортів винограду.

Відповідно до чинних нормативних актів, вино безалкогольне - це вино, отримане з традиційного вина шляхом деалкоголізації, при цьому кінцевий продукт містить не більше 0,5% об'ємних одиниць алкоголю. Цей процес дозволяє зберегти характерні органолептичні властивості вина, такі як аромат і смак, без впливу алкоголю.

Відомо декілька способів виробництва безалкогольних вин.

Відомий спосіб отримання безалкогольного вина з вмістом алкоголю щонайбільше 0,5 % шляхом заморожування сухого вина з наступним розділенням на рідку фазу, яка містить алкоголь, та кристалічну фазу, стерилізацію і розлив у тару (заявка WO2011088809A2, опублікована 28.07.2011).

Також відомий спосіб деалкоголізації вина шляхом зворотного осмосу за допомогою мембрани, проникної для алкоголю і води. Фільтрат пропускають через вакуумну установку без зміни температурного режиму. Ароматичні компоненти відновлюють за допомогою вакуумного насоса (патент на винахід DE4137572, опублікований 20.08.1992).

Також відомий спосіб деалкоголізації напою, у тому числі і вина, шляхом десорбції спирту при пропусканні напою через газ (повітря, кисень, двоокис вуглецю та/або азот) при більш низькому тиску, ніж атмосферний, та без зміни температурного режиму (заявка DE102010031729 на винахід, опублікована 30.06.2011).

Також відомий спосіб деалкоголізації безалкогольного виноградного вина, яка забезпечується вакуумним методом за допомогою вакуумного насоса, з'єднаного з конденсатором без зміни температурного режиму. Спосіб дозволяє зберегти ароматичні речовини при перегонці вина (заявка на винахід CN103695221, опублікована 05.08.2015).

Також відомий спосіб отримання вина зі зниженням вмісту спирту згідно з патентом US4681767 на винахід, опублікованим 21.07.1987, шляхом вакуумної перегонки при попередній обробці спиртовмісного виноматеріалу зворотним осмосом без зміни температурного режиму.

Також відомий спосіб деалкоголізації будь-яких напоїв за допомогою трьох стадій: молекулярної ультрафільтрації під низьким тиском через напівпроникну мембрану з наступним зворотним осмосом ультрафільтрату на мембрані з більшою проникністю та подальшим випаровуванням і дистиляцією ультрафільтрату під вакуумом при низькій температурі (патент US4499117 на винахід, опублікований 12.02.1985).

Розкрито спосіб виробництва безалкогольного винного продукту. Об'єктом цього винаходу є спосіб виготовлення безалкогольних вин або фруктових вин, при якому на першому етапі спирт разом з ароматичними речовинами випаровується, разом з ароматичними речовинами з вина або фруктового вина спиртовмісний і ароматичний конденсат ректифікується на другому етапі, розділені таким чином ароматичні речовини знову додаються до концентрату, позбавленого будь-якого спирту, на третьому етапі, і змішувати разом з деароматизованим виноградним соком фруктового соку та демінералізованою або дистильованою водою, щоб отримати кінцевий напій без алкоголю. (патент US4626437A на винахід, опублікований 12.02.1986)

Патент США 4963381 винайшов своєрідний метод зворотного осмосу для видалення етанолу у вині та сидру. Цей метод дозволяє уникнути окислення шляхом додавання чистої води, щоб заповнити втрату об'єму в циклі деалкоголізації, таким чином зберігаючи аромат оригінального вина від пошкодження окисленням, але цей метод змінює смак оригінального вина.

Патент США 4816407 винайшов метод мембранної екстракції для виробництва вина або пива з низьким вмістом алкоголю. У цьому методі використовується щільна непориста мембрана, яка вибірково проникає в етанол, наприклад силіконова гума або мембрана зворотного осмосу, так що вихідне вино тече з одного боку мембрани; нетоксичний екстрагент тече з іншого боку мембрани, і в ньому знаходиться етанол. Його також легше розчинити у воді, ніж у воді. Цей метод може зберегти аромат і смак оригінального вина, але цьому методу бракує практичної роботи.

У патенті США № 5385647 винайдено метод первапорації для видалення етанолу з пива та вина. У цьому методі використовується силіконово-каучукова мембрана, наповнена силікатом, для вибіркового видалення етанолу з вина, конденсація парів етанолу, що проходить через мембрану поетапно, відокремлення та відновлення ароматичних речовин і відправлення їх назад до вихідного вина, зберігаючи смак вихідного вина незмінним. Основна проблема цього підходу полягає в тому, що використовувані мембрани не мають високого потоку пермеату, а неприйнятно великий вимога до площі мембрани робить це менш технічно та економічно доцільним.

Недоліком описаних способів є можливість випаровування ароматичних речовин при деалкоголізації, що може змінювати органолептичні якості отриманого таким чином вина.

Найближчим аналогом до корисної моделі є спосіб отримання безалкогольного вина з дозрілого сорту винограду, застосовуючи вакуумну дистиляцію в замкнутій системі, згідно із заявкою на винахід US4626437A, опублікованою 02.12.1986.

Згідно зі способом, використовуються різні випарники (трубчасті, пластинчасті, тонкошарові тощо). Температура випаровування – 15-100°C, а час від менше 1 хв до 20 хв. Процес може відбуватися під різним тиском.

Пари спирту й ароматичних речовин конденсуються та охолоджуються до <20°C, а випаровування дозволяє знизити вміст спирту до <2 г/л. Вакуумне випаровування у кілька етапів допомагає ефективно зберегти ароматичні речовини.

Подальша ректифікація відокремлює спирт від ароматів, використовуючи ректифікаційні колони з ≥40 стадіями поділу. Температурний діапазон фракцій: метанол і етиленацетат – до 76 °C, етанол – 76-78 °C, ароматичні речовини – 77-97 °C. Ароматичні фракції використовуються для створення безалкогольних напоїв, змішуючись з деароматизованими соками та водою.

Готовий напій проходить фільтрацію, пастеризацію, насичення CO₂ і додачу антиоксидантів (SO₂, аскорбінова кислота) для стабільності.

Вміст алкоголю в готовому безалкогольному вині становить не більше 0,5 об. %.

Недоліком найближчого аналога є здійснення деалкоголізації у декілька стадій, що також може змінити вміст ароматичних речовин у отриманому вині та дещо ускладнює реалізацію способу.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробити спосіб виробництва безалкогольного вина з вмістом алкоголю <0,5 % об. та зберегти смако-ароматичний профіль з одночасним спрощенням стадії деалкоголізації шляхом її здійснення у одну стадію для економічної ефективності.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб виробництва безалкогольного вина, що включає вибір винограду, ферментацію сусла та деалкоголізації, згідно корисної моделі, для збереження органолептичних властивостей вина застосовують вакуумну дистиляцію при тиску 40-50 мбар і температурі 40-60 °C, а після деалкоголізації додають кріоконцентрат у кількості 20-30 г/дм³, проводять охолодження до 0 °C, освітлення та стабілізацію перед розливом.

У виробничому процесі використовуються ароматичні сорти винограду із вмістом цукру 160-223 г/дм³.

Проводять тривале настоювання сусла на м'яззі для збагачення ароматичними речовинами, а саме для білого вина – 20 годин при температурі 15 °C або для червоного вина – 3 доби при температурі 10 °C.

Необроблений виноматеріал піддають деалкоголізації методом вакуумної дистиляції при тиску 40-50 мбар та за температури 40-60 °C.

До деалкоголізованого вина додають кріоконцентрат виноградного сусла до 30 г/дм³.

Після купажування підсолоджене вино охолоджують до температури близько 0-2 °C та витримують протягом 3-х діб з подальшою фільтрацією.

Проводять освітлення з подальшою стерильною фільтрацією застосовуючи матеріал стабілізуючої дії на основі бентоніту, целюлози, полівінілполіпіролідону та рослинного протеїну у дозуванні 0,3 мг/дм³.

Готове безалкогольне вино проходить пастеризований розлив при температурі 60-70 °C в стерильних умовах й контролю мікробіологічної чистоти із додаванням SO₂ з подальшим закупорюванням за допомогою корка.

Спосіб здійснюють наступним чином:

У схемі виробництва деалкоголізованих вин використовувалися сучасні технологічні підходи, що дозволяють зберегти органолептичні характеристики традиційного вина при видаленні спирту. Спершу потрібно підібрати ароматичний сорт винограду із вмістом цукру 160-223 г/дм³ (наприклад, Цитронний Магарача, Блауфранкіш, Ізабелла), причому ягоди повинні бути стиглими для забезпечення повноти аромату та смаку після деалкоголізації.

Після збору виноград піддається попередньому сортуванню та обробці, де відокремлюються гребні та подрібнюють ягоди, після чого відбувається сульфитація, внесення діоксиду сірки з розрахунку 60-75 мг/дм³.

Рекомендовано проводити подовжене настоювання на м'яззі: для білого вина 20 годин при температурі 15 °C, для червоного вина 3 доби при температурі 10 °C. Тривале настоювання сприяє екстракції поліфенолів, ароматичних та структурних компонентів, що формують характерний смаковий профіль вина.

Після відокремлення сусла від м'язги отримане сусло об'ємом не більше 60 дал/т, відстоюють (освітлюють) при температурі 10-12 °C до 24 годин.

Знявши сусло з густих осадів рекомендовано вносити чисту культуру дріжджів, окрім вина із сорту винограду Ізабелла, в якому бродіння відбувається на «диких» дріжджах.

Зброджування сусла слід проводити: для білого вина при температурі 12-18 °C та для червоного вина 10-24 °C. Після закінчення бродіння виноматеріал знімають з дріжджового осаду.

3.5 Опис ректифікаційної колони.

Ректифікаційна колона що працює під вакуумом (Рис. 3.5) складається з тих самих компонентів що і ректифікаційна колона безперервної дії. Для забезпечення вакууму колона комплектується вакуум насосом який під'єднаний до збірника готового продукту. З метою уникнення перегріву вина нагрівання вина проходить за допомогою пари яка знаходиться в паровій рубашці.

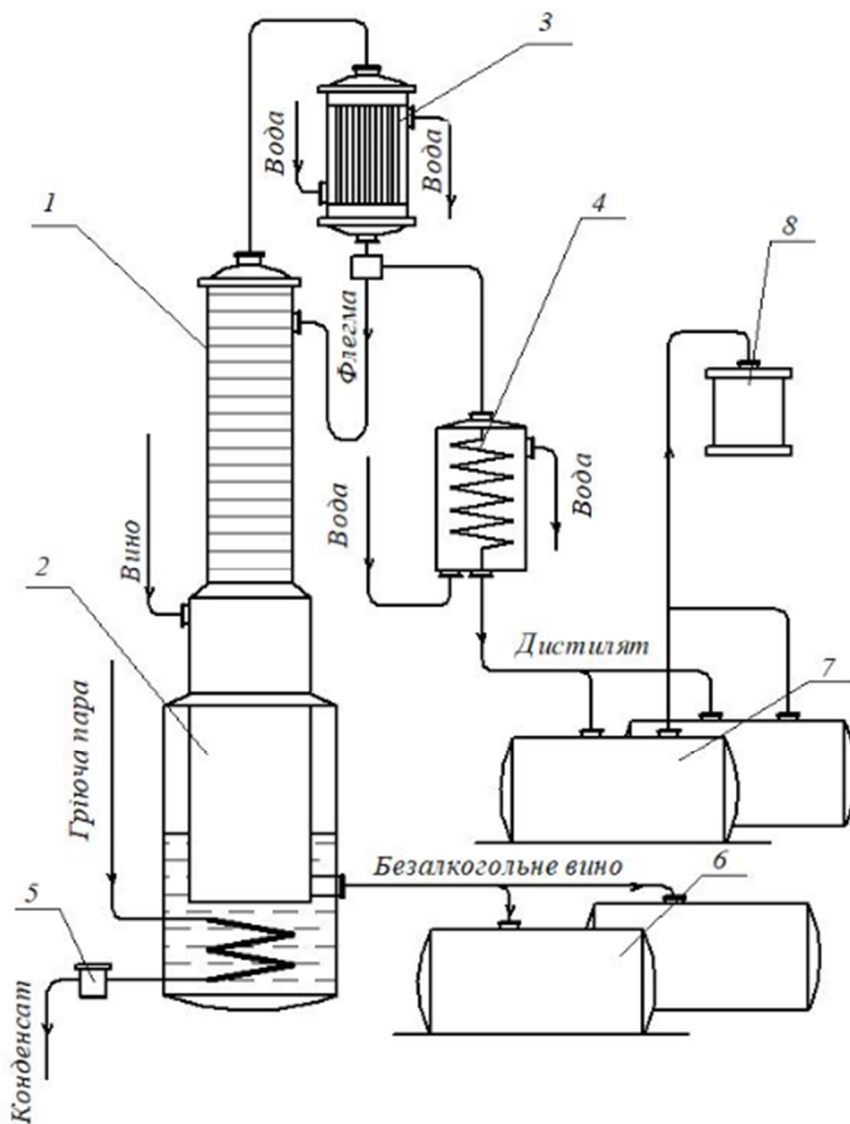


Рис.3.5 Ректифікаційна колона що працює під вакуумом.

1 – ректифікаційна колона, 2 – парова рубашка, 3 – дефлегматор, 4 – конденсатор, 5 – конденсатовідвідник, 6 – ємність для безалкогольного вина, 7 – ємність для дистилату, 8 – вакуум-насос.

В установці ректифікації безперервної дії вино подається на нижню тарілку зміцнюючої колони (1), ця тарілка називається тарілкою живлення. Зміцнююча колона забезпечена дефлегматором (3) і зрошується потоком флегми, що забезпечує отримання дистиляту необхідного постійного складу. З тарілки живлення, де флегма поєднується з вихідною сумішшю. Завдяки контакту з паром, збагаченим висококиплячим компонентом, вино збіднюється низькокиплячим компонентом і стікає в дистиляцонний куб де частина її випаровується, а решта відводиться в збірник вина (6) як кубовий залишок. З метою виключення можливості перегріву вина граючою паром з високою температурою нагрівання вина здійснюється за допомогою парової рубашки (2) в якій знаходиться вода під вакуумом. Таким чином температура теплоносія не перевищує 50 °С.

З верхньої тарілки парова суміш з високим вмістом низько киплячого компоненту поступає в дефлегматор (3), де вона частково конденсується, за рахунок віддачі теплової енергії воді, і поступає на верхню тарілку колони. Решта пари поступає в конденсатор (4) де вона конденсується. Сконденсований водно-спиртовий розчин подається в один з збірників дистиляту (7). По мірі заповнення збірника подача в нього завершується і перемикається в другий збірник, а з першого, після вирівнювання тиску з атмосферним з нього видаляється дистилят насосом.

Готовий продукт безперервно відводиться в один з збірників (6), який також по мірі наповнення вимикається та підключається інший збірник.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ КОЛОНИ.

Метою технологічного розрахунку є визначення кількості видаленої водно-спиртової суміші, розмірів ректифікаційної колони, витрат гріючої пари, розрахунок дефлегматора та конденсатора.

Початковими даними для розрахунку є

продукт – вино сухе;

тиск в апараті $P_{\text{вг}}=0,005$ МПа.

продуктивність установки по початковому продукту

$$G_{\text{п}} = 150 \text{ кг/год} = 0,0417 \text{ кг/с}$$

Концентрація спирту: початкова $a_f=11$ %,

кінцева $a_w=0,5$ %;

дистилляту $a_d=76\%$.

Початкова температура продукту $t_{\text{п}}=20^{\circ}\text{C}$.

4.1. Матеріальний баланс.

На підставі матеріального балансу процесу визначають масу одержуваного дистилляту, кг/с

$$G_d = G_f \frac{a_f - a_w}{a_d - a_w} = 0,0417 \frac{11 - 0,5}{75 - 0,5} = 0,00588, \text{ кг/с} \quad (4.1)$$

і кубового залишку, кг/с

$$G_w = G_f - G_d = 0,0417 - 0,00588 = 0,0358, \text{ кг/с} = 129 \text{ кг/год} \quad (4.2)$$

4.2. Визначення робочого числа тарілок

Для побудови кривої рівноваги й лінії робочих концентрацій в y - x координатах (y - концентрація спирту в паровій фазі, x – у рідині) виконується перерахування концентрацій легколеткого компонента (спирту) у вихідній суміші, дистилляті й кубовому залишку в мольні частки по формулі

$$X_{f,d,w} = \frac{\frac{a_{f,d,w}}{Ma}}{\frac{a_{f,d,w}}{Ma} + \frac{100 - a_{f,d,w}}{Mв}}, \quad (4.3)$$

де Ma й $Mв$ – молекулярні маси відповідно легколеткого (спирту) і важколеткого (води) компонентів; $Ma=46$; $Mв=18$.

Для початкової суміші

$$X_f = \frac{\frac{11}{46}}{\frac{11}{46} - \frac{100 - 11}{18}} = 4,61$$

Для дистилляту

$$X_d = \frac{\frac{75}{46}}{\frac{75}{46} - \frac{100 - 75}{18}} = 54$$

Для залишку

$$X_w = \frac{\frac{0,5}{46}}{\frac{0,5}{46} - \frac{100 - 0,5}{18}} = 0,196$$

Визначають мінімальне флегмове число

$$R_{min} = \frac{X_d - Y_{fd}}{Y_{fd} - X_f} = \frac{54 - 29,9}{29,9 - 4,61} = 0,953 \quad (4.4)$$

де Y_{fp} – концентрація спирту в парах, рівноважна з концентрацією спирту у вихідній суміші X_f (мольна частка); визначають по таблиці 12 [7]

Робоче флегмове число

$$R_{роб} = \beta \cdot R_{min} = 5,2 \cdot 0,953 = 4,96 \quad (4.5)$$

де β – коефіцієнт надлишку флегми. На основі експерименту визначено, що оптимальним коефіцієнтом надлишку флегми при наших умовах роботи є 5,2.

Для побудови робочої лінії на осі ординат графіка $Y=f(X)$ відкладають відрізок, рівний

$$B = \frac{X_d}{R_{\text{роб}} + 1} = \frac{54}{4,96 + 1} = 9,06$$

і з'єднують його із точкою з координатами

$X_d=U_d$ (точка А). У результаті одержують робочу лінію колони.

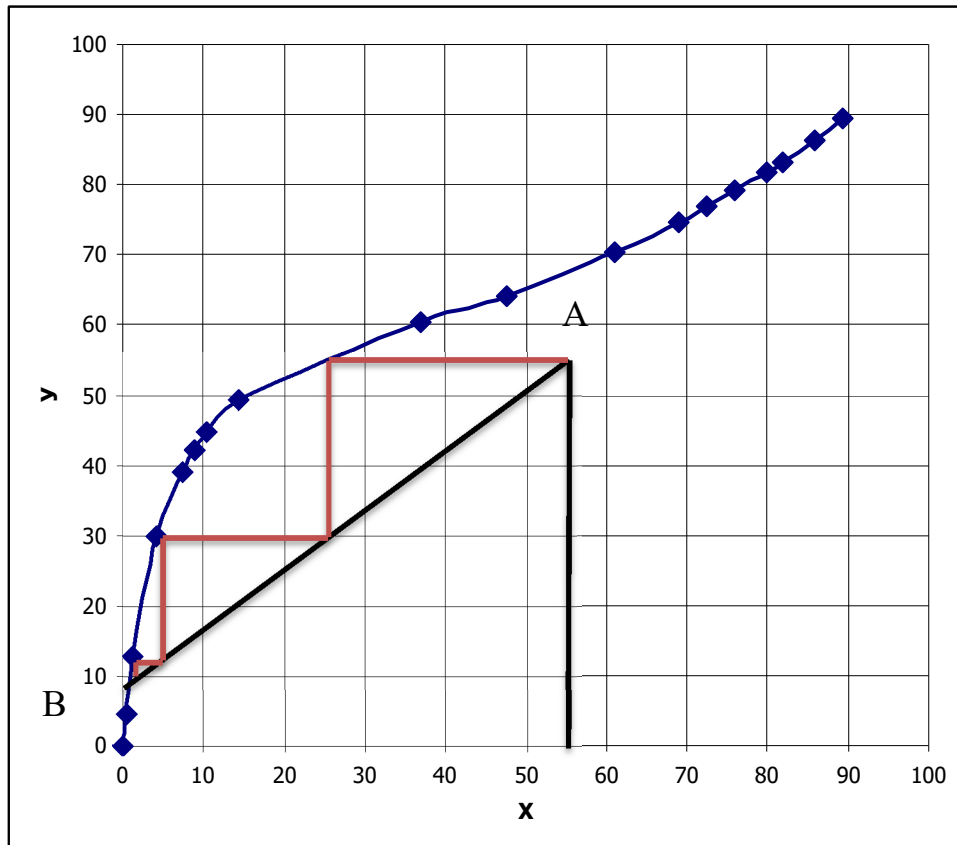


Рис 4.1. Визначення числа теоретичних тарілок.

Для визначення числа теоретичних тарілок у межах концентрацій від X_f до U_d вписують, починаючи від точки А, між лініями рівноваги й робочої східчасту лінію. Число отриманих ступенів визначає число теоретичних тарілок n . В нашому випадку $n=3$.

Число дійсних тарілок визначають по рівнянню

$$n_d = \frac{n}{\eta} = \frac{3}{0,5} = 6$$

де η – ккд тарілки

Робоча висота колони, м

$$H = h \cdot (n_d - 1) = 0,3 \cdot (6 - 1) = 1,5, \text{ м} \quad (4.6)$$

де h – відстань між тарілками, приймають у межах 0,25...0,3 м

Діаметр колони (м) визначають із рівняння

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_n}}, \text{ м} \quad (4.7)$$

де V – витрати пари в колоні, м³/с;

ω_n – швидкість пари в колоні, м/с

$$V = \frac{G_d \cdot (R + 1) \cdot (273 + t_{cp}) \cdot 22,4}{3600 \cdot M_a \cdot 273}, \text{ м/с} \quad (4.8)$$

M_a – молекулярна маса спирту, $M_a=46$;

t_{cp} – середня температура пари у колоні, в нашому випадку $t_{cp}=30$ °С .

Швидкість пари (м/с) у колонах з ковпачковими тарілками

$$\omega = \frac{0,305h}{60 + 0,05h} - 0,012z, \text{ м/с} \quad (4.9)$$

де h – відстань між тарілками, мм;

z – глибину барботажного шару, мм, приймають у межах 35...40 мм.

Таким чином швидкість пари

$$\omega = \frac{0,305 \cdot 300}{60 + 0,05 \cdot 300} - 0,012 \cdot 40 = 0,74 \text{ м/с}$$

Витрати пари в колоні складають

$$V = \frac{0,00588 \cdot (4,96 + 1) \cdot (273 + 30) \cdot 22,4}{46 \cdot 273} = 0,0183 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр колони

$$D = \sqrt{\frac{0,0183}{0,785 \cdot 0,74}} = 0,177 \text{ м}$$

4.3 Тепловий баланс ректифікаційної колони

Теплове навантаження ректифікаційної колони визначається з рівняння теплового балансу [8]

$$Q_{\text{заг}} = G_f \cdot c_f(t_k - t_n) + (R_{\text{роб}} + 1) \cdot G_d \cdot r_d + Q_{\text{втр}} \quad (4.9)$$

де $c_f=3784$ Дж/кгК – питома теплоємність вина [9]

$t_k=30$ °С і $t_n=20$ °С – відповідно температура кипіння і початкова температура вина.

$r_d=2233 \cdot 10^3$ Дж/кг – теплота пароутворення водно-спиртового розчину при тиску 5000 Па і концентрації 11% [8].

$Q_{\text{втр}}$ – витрати теплової енергії на компенсацію втрат в навколишнє середовище, приймають 3-5% від загальних витрат теплової енергії.

Таким чином

$$Q_{\text{заг}} = 1,04 \cdot (0,0417 \cdot 3784 \cdot (30 - 20) + (4,96 + 1) \cdot 0,00588 \cdot 2233 \cdot 10^3) = 83026 \text{ Вт}$$

Витрати гріючої пари

$$D = \frac{Q_{\text{заг}}}{i_n - i_k} = \frac{83026}{(2706,9 - 504,7)10^3} = 0,0377 \text{ кг/с}$$

4.4 Тепловий баланс дефлегматора

Теплове навантаження дефлегматора визначаємо з рівняння теплового балансу [8].

$$Q_{\text{деф}} = R_{\text{роб}} \cdot G_d \cdot r_d + Q_{\text{втр}} \quad (4.10)$$

Таким чином

$$Q_{\text{деф}} = 1,04 \cdot (4,96 \cdot 0,00588 \cdot 2233 \cdot 10^3) = 67730 \text{ Вт}$$

Витрати охолоджувальної води

$$G_{\text{ВД}} = \frac{Q_{\text{деф}}}{c_{\text{в}}(t_k - t_n)} = \frac{67730}{4190 \cdot (20 - 10)} = 1,67 \text{ кг/с}$$

4.5 Тепловий баланс конденсатора

Теплове навантаження конденсатора визначаємо з рівняння теплового балансу [8].

$$Q_{\text{кон}} = G_d \cdot r_d + Q_{\text{втр}} \quad (4.10)$$

Таким чином

$$Q_{\text{кон}} = 1,04 \cdot (0,00588 \cdot 2233 \cdot 10^3) = 12959 \text{ Вт}$$

Витрати охолоджувальної води

$$G_{\text{вк}} = \frac{Q_{\text{кон}}}{c_{\text{в}}(t_k - t_n)} = \frac{12959}{4190 \cdot (20 - 10)} = 0,309 \text{ кг/с}$$

4.6. Визначення поверхні теплообміну.

Визначення поверхні теплообміну перегінного кубу від пари до вина. Поверхню теплообміну визначаємо з рівняння теплопередачі.

$$Q = k \cdot F \Delta t_{\text{сер}}, \text{ Вт} \quad (4.10)$$

Звідкіля

$$F = \frac{Q_{\text{заг}}}{k \cdot \Delta t_{\text{сер}}}, \text{ м}^2$$

де: Q_k – тепловий потік до кристалізатора, Вт,

k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²К,

F – поверхня теплообміну, м².

$\Delta t_{\text{сер}}$ – температурний напір.

Визначення поверхні теплообміну перегінного кубу від пари до вина.

Для визначення температурного напору будуюмо температурну епюру.

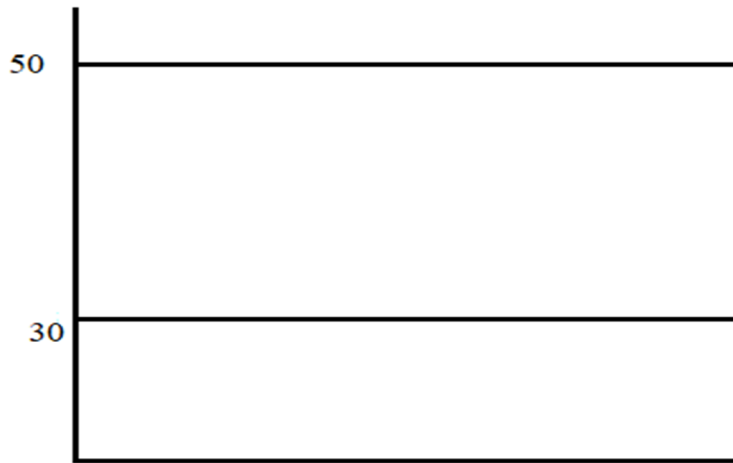


Рис.4.2. Температурна епюра перегінного кубу.

З епюри видно, що $\Delta t_{\text{сер}} = 50 - 30 = 20^{\circ}\text{C}$,

Коефіцієнт теплопередачі для випарника визначаємо за рівнянням

$$k_{\text{в}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.11)$$

де: α_1, α_2 – відповідно коефіцієнти тепловіддачі від гарячого теплоносія до поверхні теплообміну, і від поверхні теплообміну до холодного теплоносія.

$\delta_{\text{ст}} = 0,003$ м – товщина тепло передаючої поверхні

$\lambda_{\text{ст}} = 46,5$ Вт/мК – коефіцієнт теплопровідності нержавіючої сталі.

Коефіцієнт теплоотдачі α_1 при конденсації насиченої водяної пари на вертикальні поверхні (при ламінарній течії плівки конденсату) визначається за формулою для вертикальних труб

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_{\text{пк}}^3 \cdot \rho_{\text{пк}}^2 \cdot r}{l \cdot \mu_{\text{пк}} \cdot \Delta t}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.12)$$

де $\lambda_{\text{пк}}$ (Вт/мК), $\rho_{\text{пк}}$ (кг/м³), $\mu_{\text{пк}}$ (Пас) теплопровідність, густина, в'язкість плівки конденсату обирається з таблиці 10 [8] по $t_{\text{конд}}$ ($t_{\text{конд}} = t_{\text{гр}}$)

l – висота поверхні, м

Δt – різниця температур між паром та стінкою (приймається 3 – 15 °С).

r – прихована теплота пароутворення, Дж/кг (таб. 11 [7])

При заданій температурі конденсації 50°С відповідає тиск 12000Па

При цьому тиску $r=2384 \cdot 10^3$ Дж/кг

Параметри конденсату водяної пари будуть наступні

$\lambda_{\text{пк}}=0,648$ (Вт/мК), $\rho_{\text{пк}}=988$ (кг/м³), $\mu_{\text{пк}}=549 \cdot 10^{-6}$ (Пас)

Тоді

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,648^3 \cdot 988^2 \cdot 2384 \cdot 10^3}{1 \cdot 549 \cdot 10^{-6} \cdot 12}} = 4613 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Для процесу теплопередачі, що встановився, справедлива рівність

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \frac{1}{\delta/\lambda} \cdot \Delta t_{\text{ст}} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 \quad (4.13)$$

де: q – питоме теплове навантаження, Вт/м²;

Δt_1 – різниця між температурою конденсації пари і стінкою, °С;

$\Delta t_{\text{ст}}$ - перепад температур на стінці °С;

Δt_2 - різниця між температурою стінки з боку продукту та температурою кипіння продукту °С.

Для першого припущення приймаємо $\Delta t_1=5$ °С

$$\Delta t_{\text{ст}} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \left(\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \right) = 4613 \cdot 12 \cdot \frac{0,003}{46,5} = 3,57 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{\text{кор}} - \Delta t_{\text{ст}} - \Delta t_1 = 20 - 3,57 - 12 = 4,43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого продукту дорівнює:

$$\alpha_2 = A \cdot q^{0,6} = 780 \cdot \frac{\lambda_p^{1,3} \cdot \rho_p^{0,6} \cdot \rho_n^{0,06}}{\sigma_p^{0,5} \cdot r_p^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c_p^{0,3} \cdot \mu_p^{0,3}} \cdot q^{0,6} \quad (4.14)$$

де λ_p , ρ_p , c_p , μ_p , σ_p – відповідно теплопровідність (Вт/мК), щільність

(кг/м³), теплоємність, (Дж/кг К), в'язкість (Па с), поверхневий натяг (н/м) продукту при температурі кипіння, вибирається з довідників.

Значення поверхневого натягу σ_p беремо для води залежно від температури кипіння продукту (у довідниках дані щодо σ_p для харчових продуктів відсутні).

$\rho_{п}$ – густина пари при тиску в апараті, кг/м³;

ρ_o – густина пари при тиску 0.1 МПа, кг/м³;

Для наших умов розрахунку ($t_{кип} = 30$ °С, $P_{вт} = 0,005$ МПа) [8,9]

$\lambda_p = 0,448$ Вт/м·К; $\rho_p = 991$ кг/м³; $c_p = 3784$ Дж/кг·К;

$\mu_p = 1,26 \cdot 10^{-4}$ Па·с; $\sigma_p = 67,7 \cdot 10^{-3}$ Н/м; $\rho_n = 0,03481$ кг/м³; $\rho_o = 0,59$ кг/м³;
 $r = 2233 \cdot 10^3$ Дж/кг.

$$\alpha_2 = 780 \cdot \frac{0,448^{1,3} \cdot 991^{0,6} \cdot 0,03481^{0,06}}{67,7 \cdot 10^{-3}^{0,5} \cdot 2233 \cdot 10^3^{0,6} \cdot 0,59^{0,66} \cdot 3784^{0,3} \cdot 1,26 \cdot 10^{-4}^{0,3}} \cdot q^{0,6} =$$

$$= 14,8 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 5,51 \cdot (4613 \cdot 12)^{0,6} = 10421 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перевіряємо правильність першого наближення за рівнем питомих теплових навантажень

$$q^1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 4613 \cdot 12 = 55359 \text{ Вт/м}^2$$

$$q^2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 10421 \cdot 4,43 = 46167 \text{ Вт/м}^2$$

Як бачимо $q^1 \neq q^2$

Для другого приближення приймаємо $\Delta t_l = 11,7$ °С, тоді

$$\Delta t_{ст} = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \left(\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} \right) = 4316 \cdot 11,7 \cdot \frac{0,003}{46,5} = 3,2 \text{ °С}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_{кор} - \Delta t_{ст} - \Delta t_1 = 20 - 3,2 - 11,7 = 5,1 \text{ °С}$$

$$\alpha_2 = 5,51 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 5,51 \cdot (4316 \cdot 11,7)^{0,6} = 10264 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Перевіряємо правильність першого наближення за рівнем питомих теплових навантажень

$$q^1 = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 4316 \cdot 11,7 = 50497 \text{ Вт/м}^2$$

$$q^2 = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 10264 \cdot 5,1 = 52346 \text{ Вт/м}^2$$

Як бачимо $q^1 \approx q^2$, відносна похибка складає

$$\frac{|52346 - 50497|}{52346} \cdot 100\% = 3,53\% < 5\%$$

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо з наступної формули (4.11)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{4316} + \frac{0,003}{46,5} + \frac{1}{10264}} = 3115 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхня теплообміну перегінного кубу буде складати (4.7)

$$F = \frac{Q_{заг}}{k \cdot \Delta t_{кор}} = \frac{83026}{3115 \cdot 20} = 1,33, \text{ м}^2$$

При висоті перегінного кубу 1 м його діаметр буде складати :

$$D = \frac{F}{\pi \cdot l} = \frac{1,33}{3,14 \cdot 1} = 0,424 \text{ м} \quad (4.15)$$

Визначення поверхні теплообміну дефлегматора

Для визначення температурного напору будемо температурну епюру.

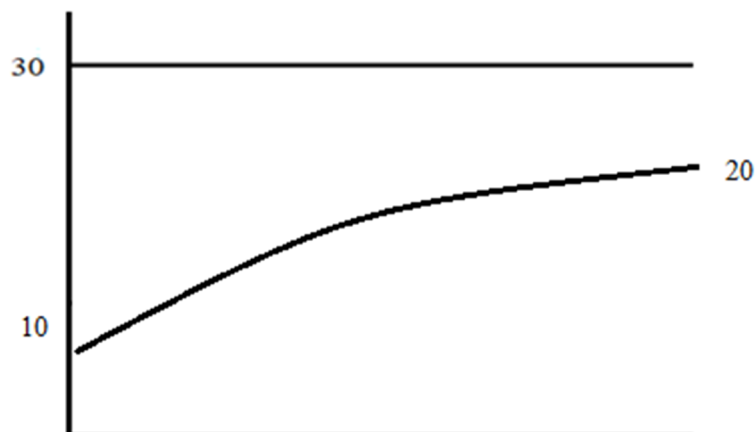


Рис.4.3. Температурна епюра дефлегматора.

З епюри визначаємо

$$\Delta t_6 = 30 - 10 = 20^0\text{C}$$

$$\Delta t_m = 30 - 20 = 10^0\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{сер}} = 15^0\text{C}$$

Коефіцієнт теплоотдачі α_1 при конденсації парів дистиллята на вертикальні поверхні (при ламінарній течії плівки конденсату) визначається за формулою для вертикальних труб

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_{\text{пк}}^3 \cdot \rho_{\text{пк}}^2 \cdot r}{l \cdot \mu_{\text{пк}} \cdot \Delta t}}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.16)$$

де $\lambda_{\text{пк}}$ (Вт/мК), $\rho_{\text{пк}}$ (кг/м³), $\mu_{\text{пк}}$ (Пас) теплопровідність, густина, в'язкість плівки конденсату обирається з довідників [8,9] по $t_{\text{конд}}$ ($t_{\text{конд}}=t_{\text{зр}}$)

l – висота поверхні, м

Δt – різниця температур між парою та стінкою (приймається 3 – 15 ⁰С).

r – прихована теплота пароутворення, Дж/кг [8]

При задані температурі конденсації 30⁰С відповідає тиск 10000Па

При цьому тиску $r=1281 \cdot 10^3$ Дж/кг

Параметри конденсату водно-спиртового розчину будуть наступні

$\lambda_{\text{пк}}=0,242$ (Вт/мК), $\rho_{\text{пк}}=845$ (кг/м³), $\mu_{\text{пк}}=162 \cdot 10^{-6}$ (Пас)

Тоді

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,242^3 \cdot 845^2 \cdot 1281 \cdot 10^3}{1 \cdot 162 \cdot 10^{-6} \cdot 5}} = 4080 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 від стінки труби до води в трубах до води визначають наступним чином.

За середньою температурою води

$$t_{\text{ср}} = (t_n + t_k)/2 = (10+20)/2 = 15^0\text{C}$$

за таблицею 10 [7] знаходимо теплофізичні характеристики води

$$c_p=4190 \text{ [Дж/кг]},$$

$$\mu = 1550 \cdot 10^{-6} [\text{Па} \cdot \text{с}],$$

$$\rho = 999 [\text{кг}/\text{м}^3],$$

$$\lambda = 0,587 [\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}],$$

Визначають режим руху, розрахувавши число Рейнольдса.

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho}{\mu} = \frac{1 \cdot 0,023 \cdot 999}{1550 \cdot 10^{-6}} = 14\,823 \quad (4.17)$$

де: ω – швидкість руху води приймають в межах 0,5 – 1,5 м/с.

Оскільки $Re > 10000$ значить режим руху води турбулентний

В залежності від режиму руху рідини в трубах вибирають критеріальне рівняння:

а) для ламінарного режиму ($Re < 2300$)

$$Nu = 1,4 \left(Re \frac{d}{l} \right)^{0,4} \cdot Pr^{0,33} \quad (4.18)$$

б) для перехідного режиму ($2300 < Re < 10000$)

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} \cdot Pr^{0,33} \quad (4.19)$$

в) для турбулентного режиму ($Re > 10000$)

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad (4.20)$$

Число Прандтля розраховують за формулою

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda} = \frac{4190 \cdot 1550 \cdot 10^{-6}}{0,587} = 11,06 \quad (4.21)$$

При турбулентному режимі руху критерій Нуссельта розраховуємо з рівняння (4.20)

$$Nu = 0,023 \cdot 14823^{0,8} \cdot 11,06^{0,33} = 110$$

Розрахувавши, за вибраним критеріальним рівнянням, число Нуссельта, знаходять коефіцієнт тепловіддачі α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{\text{вн}}} = \frac{110 \cdot 0,587}{0,023} = 2807 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (4.22)$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{4080} + \frac{0,001}{46,5} + \frac{1}{2807}} = 1605 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхня теплообміну дефлегматора буде складати

$$F = \frac{Q_{\text{деф}}}{k \cdot \Delta t_{\text{кор}}} = \frac{67730}{1605 \cdot 15} = 2,81, \text{ м}^2$$

Число труб в теплообмінному апараті визначають за формулою:

$$n = \frac{F}{f} = \frac{2,09}{0,0754} = 37,7$$

де: f – площа поверхні теплообміну однієї труби, м^2 .

$$f = \pi \cdot d_{\text{сер}} \cdot l = 3,14 \cdot 0,024 \cdot 1 = 0,0754, \text{ м}^2.$$

Приймаємо $n=38$ труб

Визначення поверхні теплообміну конденсатора

Для визначення температурного напору будуємо температурну епюру.

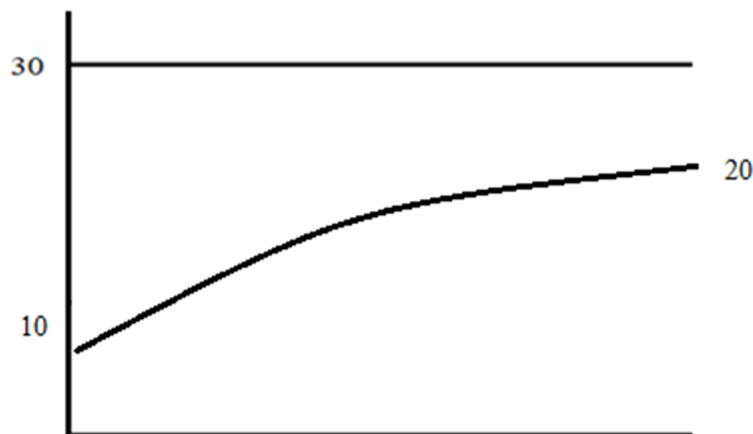


Рис.4.4. Температурна епюра конденсатора.

З епюри визначаємо

$$\Delta t_6 = 30 - 10 = 20^0 \text{C}$$

$$\Delta t_M = 30 - 20 = 10^0 \text{ C}$$

$$\Delta t_{\text{сер}} = 15^0 \text{ C}$$

Коефіцієнт теплоотдачі α_1

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,242^3 \cdot 845^2 \cdot 1281 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 162 \cdot 10^{-6} \cdot 5}} = 5513 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі α_2 від стінки труби до води в трубах до води визначають наступним чином.

За середньою температурою води

$$t_{cp} = (t_n + t_k)/2 = (10 + 20)/2 = 15^\circ \text{C}$$

за таблицею 10 [7] знаходимо теплофізичні характеристики води

$$c_p = 4190 \text{ [Дж/кг]},$$

$$\mu = 1550 \cdot 10^{-6} \text{ [Па} \cdot \text{с]},$$

$$\rho = 999 \text{ [кг/м}^3\text{]},$$

$$\lambda = 0,587 \text{ [Вт/м} \cdot \text{К]},$$

Визначають режим руху, розрахувавши число Рейнольдса.

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,5 \cdot 0,023 \cdot 999}{1550 \cdot 10^{-6}} = 22235$$

де: ω – швидкість руху води приймають в межах 0,5 – 1,5 м/с.

Оскільки $Re > 10000$ значить режим руху води турбулентний

В залежності від режиму руху рідини в трубах вибирають критеріальне рівняння:

Число Прандтля

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{\lambda} = \frac{4190 \cdot 1550 \cdot 10^{-6}}{0,587} = 11,06$$

При турбулентному режимі руху критерій Нуссельта розраховуємо з рівняння (4.20)

$$Nu = 0,023 \cdot 22235^{0,8} \cdot 11,06^{0,33} = 152$$

Розрахувавши, за вибраним критеріальним рівнянням, число Нуссельта, знаходять коефіцієнт тепловіддачі α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{\text{вн}}} = \frac{152 \cdot 0,587}{0,023} = 3879 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{5513} + \frac{0,001}{46,5} + \frac{1}{3879}} = 2265 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Поверхня теплообміну дефлегматора буде складати

$$F = \frac{Q_{\text{деф}}}{k \cdot \Delta t_{\text{кор}}} = \frac{12959}{2265 \cdot 15} = 0,381, \text{ м}^2$$

Число труб в теплообмінному апараті визначають за формулою:

$$n = \frac{F}{f} = \frac{0,381}{0,02268} = 16,7$$

де: f – площа поверхні теплообміну однієї труби, м^2 .

$$f = \pi \cdot d_{\text{сер}} \cdot l = 3,14 \cdot 0,024 \cdot 0,3 = 0,002268, \text{ м}^2.$$

Приймаємо $n=17$ труб

4.7 Розрахунок на міцність.

4.7.1 Розрахунок циліндричних апаратів та їх елементів, що знаходяться під дією зовнішнього надлишкового тиску [10].

Тонкостінний апарат, що працює під зовнішнім надлишковим тиском, знаходиться в менш сприятливих умовах міцності в порівнянні з апаратом, що працює під внутрішнім надлишковим тиском.

Якщо внутрішній надлишковий тиск сприяє утворенню та підтримці круглої форми апарату, то зовнішній надлишковий тиск, навпаки, сприяє порушенню круглої форми апарату, збільшуючи вже наявні відхилення від неї і викликаючи при цьому додаткові напруги вигину. Останні можуть призвести апарат до руйнування (втрати стійкості).

Якщо при зовнішньому надлишковому тиску напруга стиснення в стінці циліндричного апарата досягне межі плинності, міцність апарату порушиться. Цей випадок уражає циліндричних оболонок, товщина стінки яких становить

0,046 його зовнішнього діаметра. Розрахунок на міцність таких апаратів виробляють так само, як і тих, які знаходяться під дією внутрішнього надлишкового тиску, замінюючи лише у формулі для визначення товщини стінки апарату допустиму напругу при розтягуванні напругою при стисканні, тобто.

$$\delta_p > p \cdot D_v / (2 \cdot \beta [\sigma_{ст}]) \quad (4.23)$$

де p - робочий тиск, що допускається; D - внутрішній діаметр апарату; β - коефіцієнт міцності зварних швів; $[\sigma_{ст}]$ - допустима напруга при стисканні. Допустима напруга при стисканні можна приймати рівним однієї четвертої частини межі плинності матеріалу апарату при даній температурі.

Зовнішній тиск, у якому втрачається стійкість оболонки, називають критичним. Воно залежить від геометричної форми, розмірів та від фізичних властивостей матеріалу оболонки.

Оболонки поділяються на довгі та короткі. Як критерій для порівняння служить критична довжина оболонки, що розраховується за формулою

$$L_{кр} = 4,644 \cdot r \cdot \sqrt{(r/\delta) \cdot (1 - \mu^2)} \quad (4.24)$$

де r - радіус оболонки;

δ - товщина стінки оболонки;

μ - коефіцієнт Пуассона матеріалу оболонки.

Довгі оболонки розраховуються однозначно шляхом визначення критичного тиску, критичної напруги і зіставлення останньої межі плинності матеріалу оболонки.

Якщо коротка оболонка і на величину критичного тиску впливають умови на краях, критичний тиск визначають за наближеними формулами:

при дії тиску тільки на бічну поверхню оболонки

$$p_{кр} = \frac{E}{(n^2 - 1) \cdot N^2} \cdot \frac{\delta}{r} + \frac{E}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \left(\frac{\delta}{r} \right)^3 \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \mu}{N} \right] \quad (4.25)$$

при дії тиску на всю поверхню оболонки (всесічний тиск)

$$p_{кр} = E \frac{\delta}{r} \cdot \frac{1}{n^2 + 0.5(\pi \cdot r / L)^2} \left[\frac{1}{N^2} + \frac{N^2}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{\delta}{r} \right)^2 \left(\frac{\pi \cdot r}{L} \right)^4 \right] \quad (4.26)$$

де: L - фактична довжина судини;

n - число хвиль.

$$N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r}$$

Як видно з цих формул, у пружній стадії критичний тиск залежить не від міцності матеріалу, а від його модуля пружності та коефіцієнта Пуассона. Зазвичай, починаючи з $n = 2$, критичний тиск падає, досягаючи при деякому значенні числа хвиль мінімальної величини, а потім знову повільно збільшується.

Для полегшення розрахунків за формулами (4.27) та (4.28) число хвиль залежно від конструктивних розмірів циліндричної оболонки можна визначити за табл. 4.1.

Робочий тиск приймають у кілька разів менше критичного

$$p = p_{кр} / m \quad (4.27)$$

де m – коефіцієнт запасу стійкості.

Таблиця 4.1.

Число хвиль для циліндричних сталевих та алюмінієвих обичайок, які знаходяться бік боковим тиском або тиском з усіх сторін.

Значення відношення δ/r	Значення відношення L/r				
	2	3	4	5	6
0,005	7	6	5	5	4
0,010	6	5	4	4	4
0,015	5	4	4	4	3
0,020	5	4	4	4	3
0,025	5	4	3	3	3
0,030	4	4	3	3	3
0,040	4	3	3	3	3

Для точно виготовлених вертикальних циліндричних оболонок запас стійкості приймають рівним 4, для горизонтальних - 5. Для циліндричних

оболонки звичайної точності, виготовлених з вуглецевої сталі, запас стійкості дорівнює 6-9.

Якщо виявляється, що розрахунковий тиск менший за робочий, то товщина стінки циліндра повинна бути збільшена, або встановлені кільця жорсткості.

Розрахунок перегінного куба.

Перегінний куб уявляє собою циліндр з еліптичним днищем, діаметром 0,45 м і висотою 1 м.

Для розрахунку приймаємо наступні дані.

Зовнішній тиск на поверхню – 95 кПа.

Матеріал – нержавіюча сталь 08X18H10, який має наступні властивості:

Межа міцності $\sigma=510$ МПа,

Модуль пружності $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа,

Коефіцієнт Пуассона $\mu=0,27$

Коефіцієнт запасу міцності $n_b=3,5$.

З довідників вибираємо коефіцієнт міцності зварних швів $\beta=0,8$ і коефіцієнт запасу міцності для зварних ємностей, що не нагріваються $n=3,75$.

Тоді допустима напруга при стисканні буде

$$[\sigma_{ст}] = \sigma/n = 510 \cdot 10^6/3,75 = 136 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Тоді з рівняння (4.23) товщина стінки буде дорівнювати

$$\delta_p > 95 \cdot 10^3 \cdot 0,45/(2 \cdot 0,8 \cdot 136 \cdot 10^6) = 0,00196 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 2 мм

Визначаємо критичну довжину оболонки з (4.24)

$$L_{кр} = 4,644 \cdot 0,225 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,225}{0,002}\right) \cdot (1 - 0,27^2)} = 10,66 \text{ м}$$

Значить оболонка коротка.

Визначаємо $L/r=1/0,225=4,44$ та $\delta/r=0,002/0,225=0,00889$ з таблиці 4.1 приймаємо число хвиль $n=4$

За формулою (4.25) при $N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} = 1 + \frac{4 \cdot 1}{3,14 \cdot 0,225} = 6,65$

$$p_{кр} = \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,00889}{(4^2 - 1) \cdot 6,65^2} + \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,00889^3}{12 \cdot (1 - 0,27^2)} \left[4^2 - 1 + \frac{2 \cdot 4^2 - 1 - 0,27}{6,65} \right] = 3,07 \text{ МПа}$$

При запасі стійкості 5 $p = p_{кр}/5 = 3,07/5 = 614 \text{ кПа} > 95 \text{ кПа}$

Значить товщина стінки 2 мм відповідає умовам міцності.

Розрахунок парової рубашки.

Парова рубашка уявляє собою циліндр з еліптичним днищем, діаметром 0,55 м і висотою 1,2 м.

Для розрахунку приймаємо наступні дані.

Зовнішній тиск на поверхню – 95 кПа.

Матеріал – нержавіюча сталь 08X18H10, який має наступні властивості:

Межа міцності $\sigma = 510 \text{ МПа}$,

Модуль пружності $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$,

Коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,27$

Коефіцієнт запасу міцності $n_b = 3,5$.

З довідників вибираємо коефіцієнт міцності зварних швів $\beta = 0,8$ і коефіцієнт запасу міцності для зварних ємностей, що не нагріваються $n = 3,75$.

Тоді допустима напруга при стисканні буде

$$[\sigma_{ст}] = \sigma / n = 510 \cdot 10^6 / 3,75 = 136 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Тоді з рівняння (4.23) товщина стінки буде дорівнювати

$$\delta_p > 95 \cdot 10^3 \cdot 0,55 / (2 \cdot 0,8 \cdot 136 \cdot 10^6) = 0,0024 \text{ м}$$

Приймаємо товщину 3 мм

Визначаємо критичну довжину оболонки з (4.26)

$$L_{кр} = 4,644 \cdot 0,275 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,225}{0,003} \right) \cdot (1 - 0,27^2)} = 11,76 \text{ м}$$

Значить оболонка коротка.

Визначаємо $L/r = 1,2/0,275 = 4,36$ та $\delta/r = 0,003/0,275 = 0,00825$ з таблиці 4.1 приймаємо число хвиль $n = 4$

За формулою (4.28) при $N = 1 + \frac{n \cdot L}{\pi \cdot r} = 1 + \frac{6 \cdot 1,2}{3,14 \cdot 0,275} = 9,33$

$$p_{кр} = \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,00825}{(4^2 - 1) \cdot 9,33^2} + \frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,00825^3}{12 \cdot (1 - 0,27^2)} \left[4^2 - 1 + \frac{2 \cdot 4^2 - 1 - 0,27}{9,33} \right] = 1,52 \text{ МПа}$$

При запасі стійкості 5 $p = p_{кр}/5 = 1,52/5 = 304 \text{ кПа} > 95 \text{ кПа}$

Значить товщина стінки 3 мм відповідає умовам міцності.

4.8. Гідравлічний розрахунок.

Метою гідравлічного розрахунку є визначення діаметрів труб для подачі водно-спиртової суміші, гріючої пари і води..

Діаметр трубопроводу визначають з рівняння витрат.

$$G = \omega \cdot f \cdot \rho = \frac{\pi \cdot d_{BH}^2}{4} \cdot \omega \cdot \rho, \text{ кг/с} \quad (4.29)$$

де: ρ – густина теплоносія, кг/м^3 .

густину холодильного агенту R410a, приймаємо в залежності від тиску холодильного агенту в кожній точці системи та його агрегатного стану,

ω – швидкість руху теплоносія, м/с

швидкість руху пари і парової фази водно-спиртового розчину приймаємо в межах 30-50 м/с,

швидкість руху рідини приймаємо в межах 0,5-1 м/с,

Масові витрати пари і конденсату визначаємо з теплового балансу.

Діаметр паропроводу гріючої пари дорівнює

$$d_{BH1}^{\pi} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0377}{\pi \cdot 30 \cdot 1,12}} = 0,036 \text{ , м}$$

Діаметр трубопроводу для конденсату гріючої пари

$$d_{BH2}^{\kappa} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0377}{\pi \cdot 0,5 \cdot 943}} = 0,0101 \text{ , м}$$

Діаметр паропроводу водно-спиртової суміші від колони до дефлегматора

$$d_{\text{BH3}}^{\text{II}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,96 \cdot 0,00588,}{\pi \cdot 30 \cdot 0,107}} = 0,117 \text{ , м}$$

РОЗДІЛ 5

ВИБІР ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ.

У зв'язку з необхідністю проводити процес деалкоголізації під вакуумом, з метою зниження температури обробки вина, виникає необхідність в додатковому охолодженню води, яка поступає не дефлегматор і конденсатор. Для цього вибираємо холодильну машину загальною потужністю, яка дорівнює сумарні потужності дефлегматора і конденсатора, тобто $Q_{\text{хм}} = 67750 + 12959 = 80709$ Вт.

Для цього вибираємо холодильну машину чиллер Iindustrial frigo з повітряним охолодженням GR2A, який має наступні характеристики [11].

Країна виробник	Італія
Виробник	Industrial Frigo
Охолодження конденсатора	Повітряне
Тип чиллера з повітряним охолодженням	З осьовим вентилятором для охолодження конденсатора
Тип компресора чиллера	Спиральний
Кількість компресорів	1
Холодопродуктивність	97.5 кВт
Витрата повітря	34 куб.м/год
Максимальний робочий тиск	3.66 бар
Максимальна температура навколишнього середовища	35 град.
Рівень шуму	55 дБ
Вага	1 100 кг
Гарантійний термін	12 міс
Стан	Новий

РОЗДІЛ 6

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВАКУУМНОЇ РЕКТИФІКАЦІЇ

Основна доля вартості процесу ратифікації приходить на енергетичні затрати (гріючий пар та охолоджуючий агент) та капітальні затрати (вартість колони з дефлегматором).

Тепловий баланс ректифікації.

При деалкоголізації вина енергія витрачається на утворення пари в ректифікаційній колоні і утворенні флегми в дефлегматорі.

Теплові баланси колони:

$$Q_{\text{рек}} = G_f \cdot c_f (t_{\text{кип}} - t_n) + G_d (\beta \cdot R_{\text{min}} + 1) \cdot r_d + Q_{\text{втр}} \quad (6.1)$$

$$Q_{\text{деф}} = G_d \cdot \beta \cdot R_{\text{min}} \cdot r_d \quad (6.2)$$

де: G_f , G_d – відповідно витрати початкової суміші і дистиляту, кг/с.

c_f – теплоємність початкової суміші, Дж/кг К,

$t_{\text{кип}}$, t_n – температура кипіння і початкова температура суміші.

r_d – прихована теплота пароутворення дистиляту, Дж/кг.

β – коефіцієнт надлишку флегми.

R_{min} – мінімальне флегмове число,

Мінімальне флегмове число

$$R_{\text{min}} = \frac{X_d - Y_{fp}}{Y_{fp} - X_f}, \quad (6.3)$$

де Y_{fp} – концентрація спирту в парах, рівноважна з концентрацією спирту у вихідній суміші X_f (мольна частка);

З теплового балансу виходить, що витрати гріючої пари і холодної води виростають зі збільшенням коефіцієнту надлишку флегми β та досягають найменших значень при мінімальному флегмовому числу R_{min} відповідно $\beta=1$.

Залежність числа теоретичних тарілок ректифікаційної колони від коефіцієнту надлишку флегми приведена на рис 6.1 і 6.2.

На рис 6.1 проведено графік побудований для знаходження числа теоретичних тарілок при $\beta=\infty$. З графіка видно що в цьому випадку тарілки колони мають найбільш укріпляючий ефект а відповідно число їх буде мінімальним але при максимальним витратам теплової енергії. При $\beta=1$ (рис 6.2) число тарілок необхідне для перегонки максимальне при мінімальним затратам теплової енергії.

Таким чином, при збільшенні коефіцієнту надлишку флегми збільшується експлуатаційні затрати тобто затрати на утворення пари і конденсації флегми, але зменшується капітальні затрати у вигляді вартості обладнання. І навпаки із зменшенням коефіцієнту надлишку флегми зменшується експлуатаційні затрати але збільшується капітальні затрати. Оптимальним коефіцієнтом надлишку флегми буде вважатися той коефіцієнт, коли сума капітальних та експлуатаційних затрат буде мінімальною (рис. 6. 3)

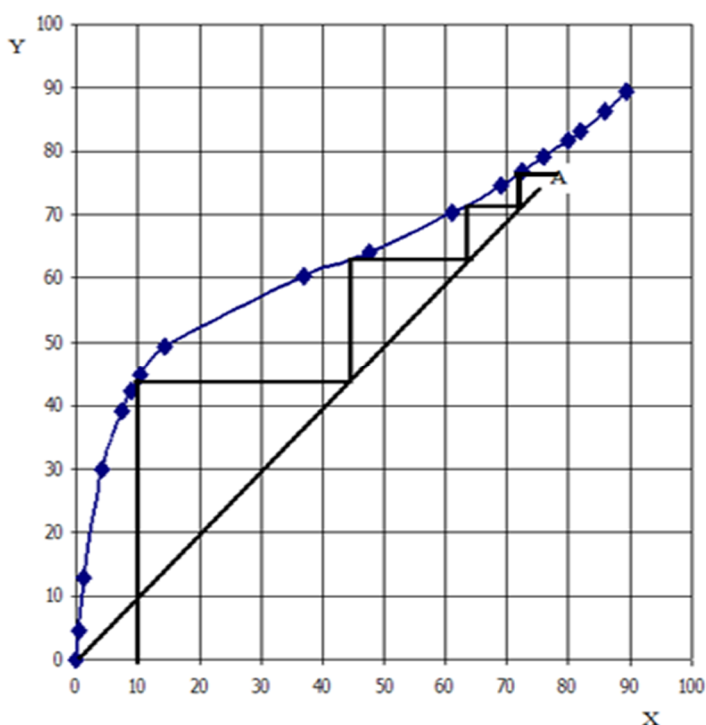


Рис 6.1. До визначення числа теоретичних тарілок при $\beta=\infty$.

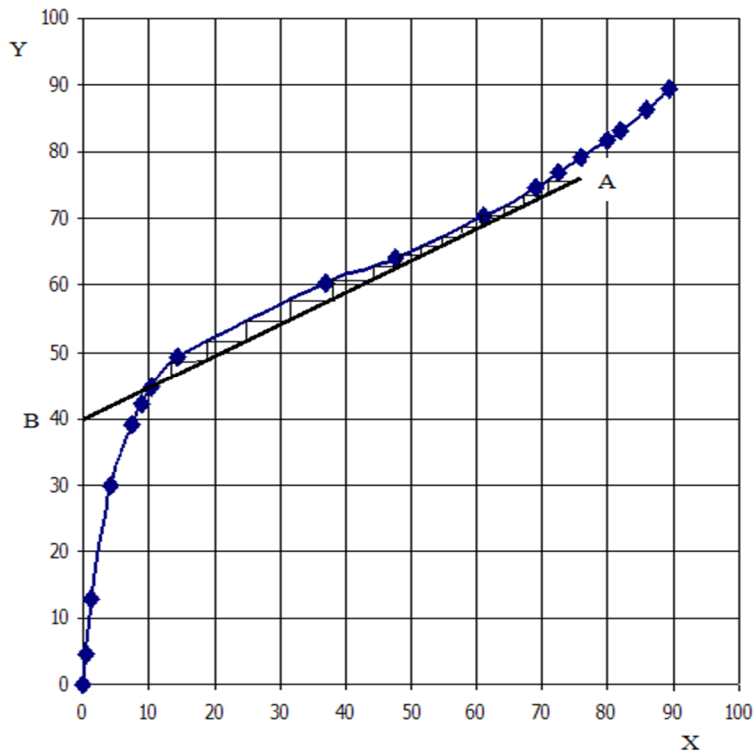


Рис 6.2. До визначення числа теоретичних тарілок при $\beta=1$.

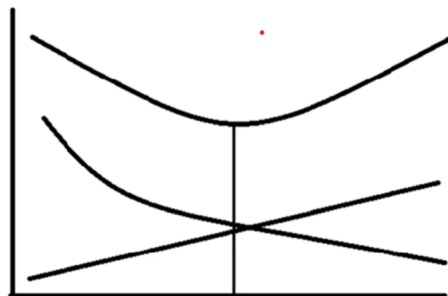


Рис. 6.3 До визначення мінімального коефіцієнту надлишку флегми.

Опис експериментальної установки для дослідження процесу деалкоголізації вина.

Експериментальна установка (рис 6.4) складається з насадочної ректифікаційної колони та вимірювально-регулювальної апаратури.

Колона складається з перегінного куба 1, насадочної колони 3, дефлегматора 4, конденсатора 5. З метою запобігання перегріву вина теплового

енергія від ТЕНа 6 передається за допомогою випарувального –конденсаційної ємності 2. Для забезпечення зберігання органолептичних властивостей вина ректифікація проводилася при вакуумі, який утворювався вакуум-насосом 7 і контролювався зразковим вакуумметром.

Під час проведення дослідження вимірювалися наступні параметри. Кількість початкової суміші і її концентрацію і температуру, кількість отриманого дистиляту і його концентрацію, час проведення досліду, температуру кипіння суміші.

Кількість підведеної енергії вимірюється лічильником 10. Величину теплової енергії регулюється ЛАТРом 9.

Кількість охолоджувальної води визначаються лічильником 8 а її температура цифровими вимірювачами температури 11.

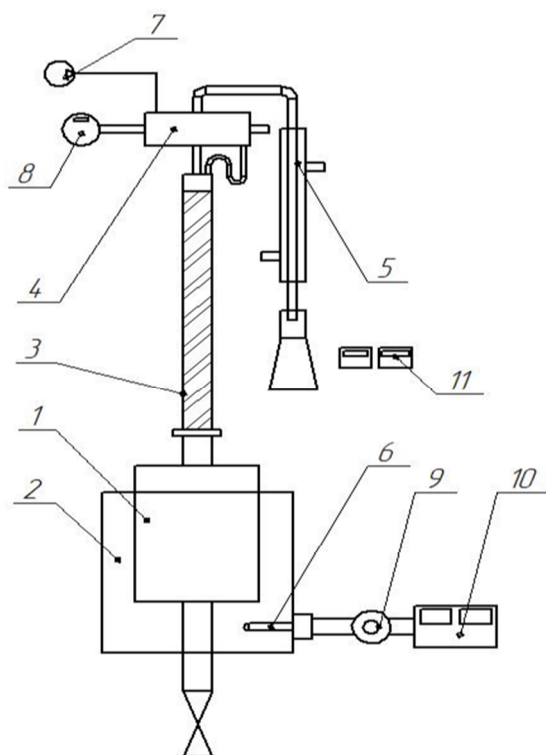


Рис 6.4. Схема лабораторної установки.

Методика виконання експериментальних досліджень.

В ємність набиралася певна кількість вина та включався вакуум насос. Після утворення вакууму включався ТЕН на певну потужність, який нагрівав продукт до температури кипіння, також за допомогою лічильник визначалися витрати охолоджувальної води в дефлегматорі. Під час попадання пари в дефлегматор засікався час і вимірювалася температура води на вході і виході з дефлегматора. Через певний проміжок часу замірявся об'єм отриманого дистилляту і його концентрація. Дослід проводився до тих пір поки концентрація залишку не дорівнювала нулю. Кількість спожитої енергії визначалось електричним лічильником.

Обробка результатів експериментальних дослідження.

Знаючи початкову масу вина і концентрацію спирту з матеріального балансу визначали масу спирту в вині.

З рівняння теплового балансу дефлегматора, знаючи витрати охолоджувальної води і її початкову і кінцеву температуру визначали масу флегми:

$$Q_{def} = G_{\phi} r_{\phi} = G_{\epsilon} C_{\epsilon} (t_{\epsilon k} - t_{\epsilon n})$$

де G_{ϕ} – масова витрата флегми, кг/с

r_{ϕ} - питома теплота пароутворення флегми, Дж/кг

G_{ϵ} - витрата води в дефлегматорі, кг/с, $G_{\epsilon} = G_2 / \tau_{\epsilon}$.

C_{ϵ} - питома теплоємність води, Дж/(кг К), $C_{\epsilon} = 4190$ Дж/(кг К).

$t_{\epsilon n}$, $t_{\epsilon k}$ - температура води відповідно на вході й виході з дефлегматора.

Приймаючи, що вміст спирту у флегми й дистилляті однаковий, визначають r_{ϕ}

$$r_{\phi} = r_d = r_c \frac{X_d}{100} + r_b \frac{100 - X_d}{100}$$

де $r_c = 845 \cdot 10^3$ Дж/кг - питома теплота пароутворення спирту

$r_b = 2264 \cdot 10^3$ Дж/кг - питома теплота пароутворення води

X_d - концентрація дистилляту, % мас.

Знаючи масу флегми і масу дистилляту визначають флегмове число R мінімальне флегмове число R_{min} і коефіцієнт надлишку флегми β .

$$\beta = \frac{R_{роб}}{R_{min}}$$

В якості об'єкту дослідження було сухе вино «Аліготе» початковою концентрацією спирту 11%. Потужність нагрівача регулювалась в межах 780-1200 Вт. Витрати холодної води в дефлегматорі дорівнювали $(4-8,3) \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$

За рахунок експериментального дослідження визначили часткові залежності від часу і потужності нагрівача. (рис 6.5- рис.6.11)

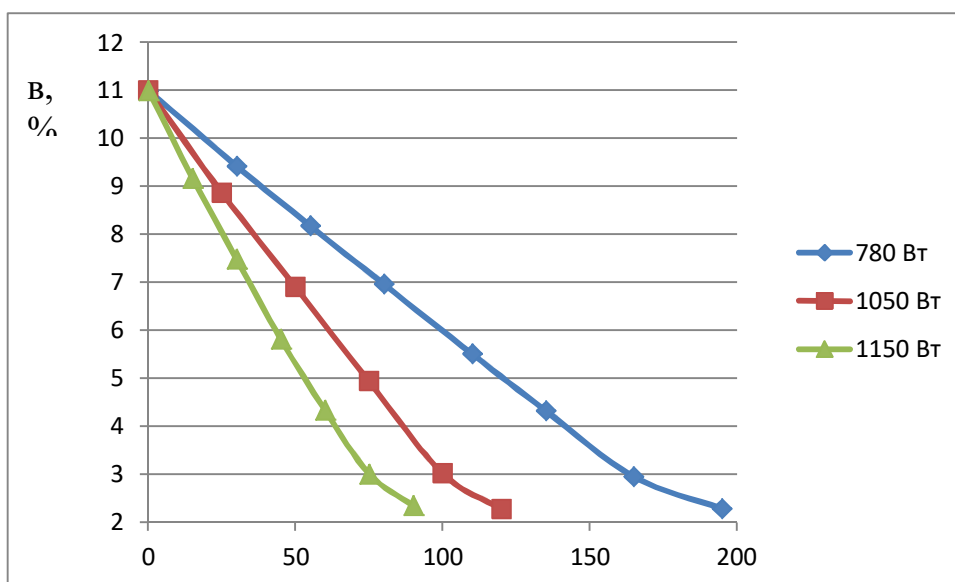


Рис 6.5. Залежність зміни концентрації вина від часу і потужності нагрівача.

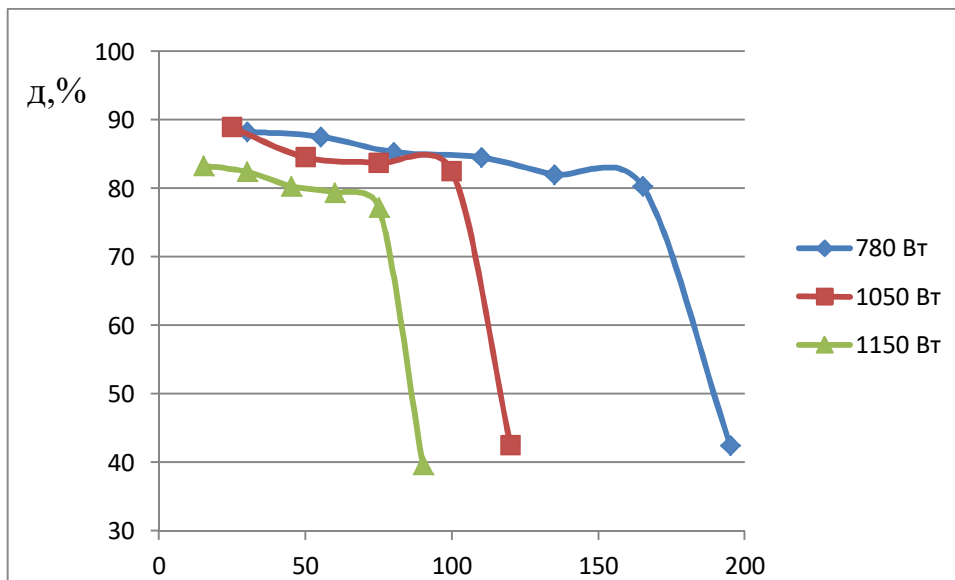


Рис 6.6. Залежність концентрації дистиляту від часу і потужності нагрівача.

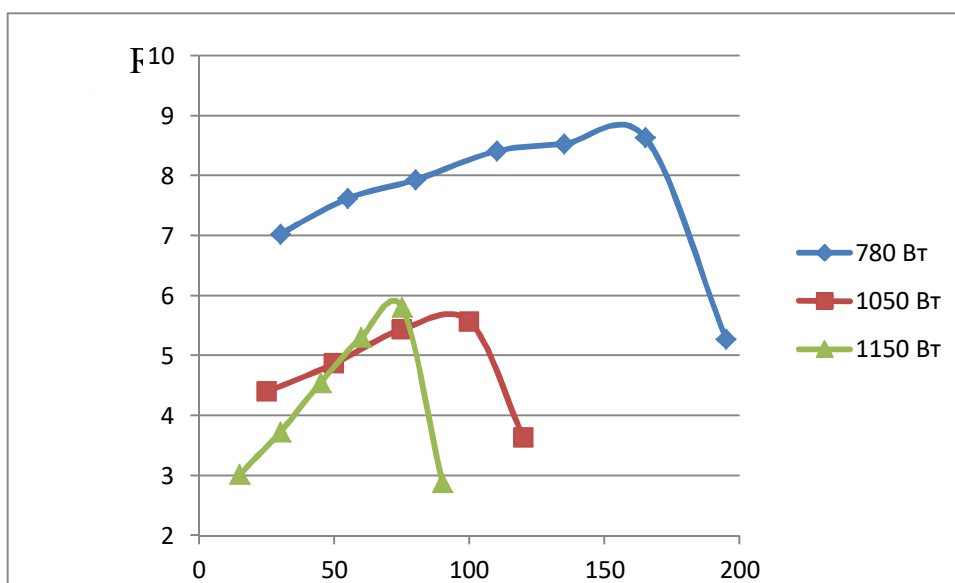


Рис.6.7. Залежність робочого флегмового числа від часу і потужності нагрівача.

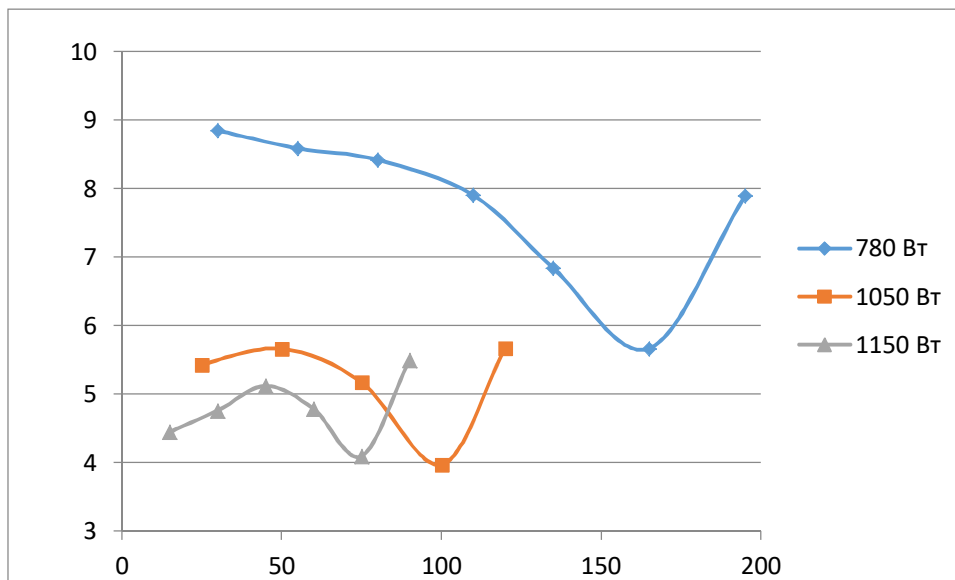


Рис.6.8. Залежність коефіцієнту надлишку флегми від часу і потужності нагрівача.

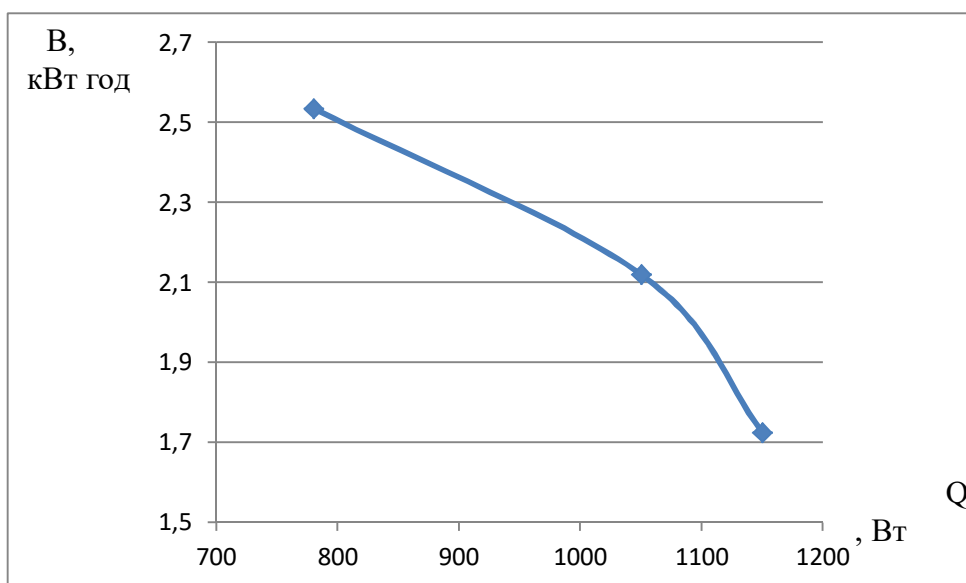


Рис.6.9. Залежність кількості спожитої енергії від потужності нагрівача

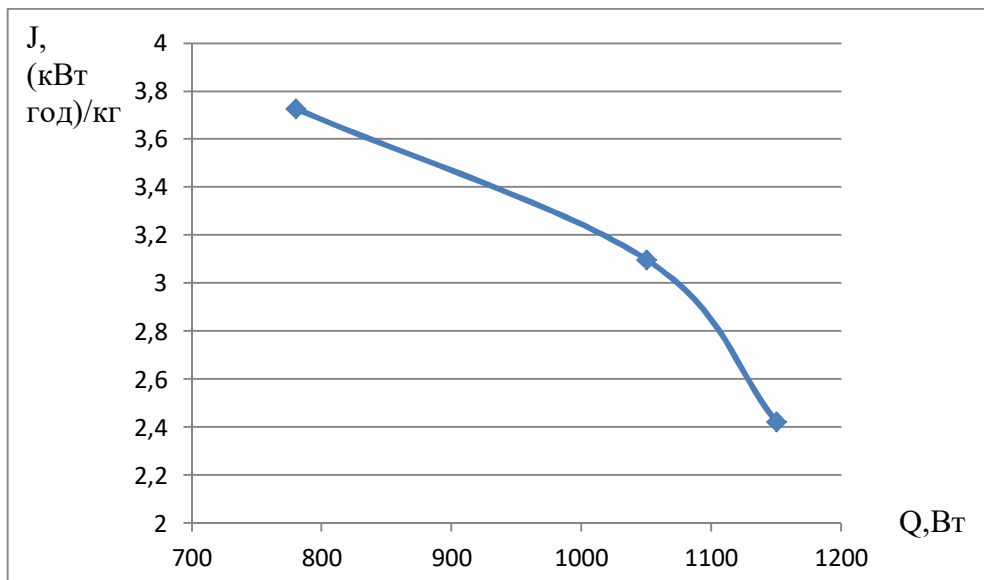


Рис.6.10. Залежність питомих витрат енергії від потужності нагрівача

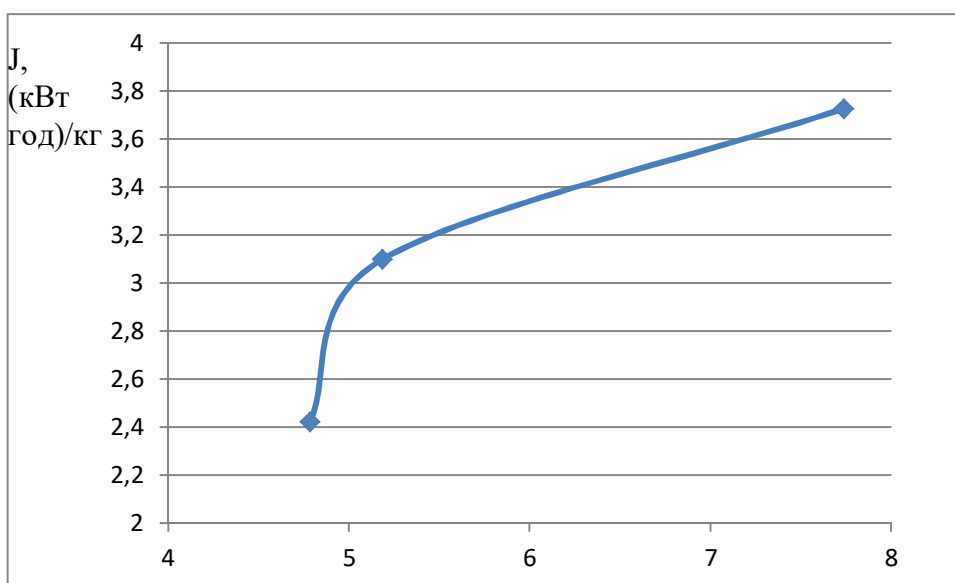


Рис.6. 11. Залежність питомих витрат енергії від коефіцієнту надлишку флегми.

РОЗДІЛ 7

ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБОТИ ВИПАРНОГО АПАРАТУ

1. Загальні положення

1.1. Інструкція з охорони праці при експлуатації вакуум – випарного апарату енергії розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-XII) в редакції від 20.01.2018р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 1 вересня 2017 року.

1.2. Дана інструкція з охорони праці розроблена з метою запобігання фактів травмування та забезпечення безпечної роботи працівників при використанні вакуум – випарного апарату.

1. Загальні вимоги безпеки

Допуск до роботи: До обслуговування колони допускаються особи, які пройшли медичний огляд, інструктаж з охорони праці та мають допуск до роботи з обладнанням під тиском і вибухонебезпечними середовищами.

Спецодяг: Працівники повинні бути забезпечені термостійким або антистатичним спецодягом, спецвзуттям, захисними окулярами та рукавичками.

Заборона: Категорично забороняється палити, використовувати відкритий вогонь або електронагрівальні прилади без вибухозахисту поблизу ректифікаційної установки.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

Перевірка обладнання: Візуально огляньте колону, трубопроводи, запірну арматуру та контрольно-вимірювальні прилади (КВП) на цілісність.

Вентиляція: Перевірте справність витяжної вентиляції в приміщенні.

Підготовка до пуску: Переконайтеся, що подача охолоджувальної води (дефлегматора) відкрита, а всі електричні з'єднання заземлені.

3. Вимоги безпеки під час роботи

Контроль параметрів: Регулярно стежте за показниками манометрів, термометрів, витратомірів. Не перевищуйте допустимі робочі значення тиску та температури.

Регулювання потоків: Уважно контролюйте подачу сировини, співвідношення флегми, вихід готового продукту та температуру в різних зонах.

Герметичність: Уникайте витоків спирту чи пари. Якщо відчувається запах, негайно припиніть роботу та провітріть приміщення.

Електробезпека: Уникайте контакту вологи з електричними компонентами.

4. Дії в аварійних ситуаціях

Знеструмлення: У разі виникнення аварійної ситуації (різке підвищення тиску, витік сировини, пожежа), негайно відключіть нагрівальні елементи та перекрийте подачу води/пари.

Евакуація: При виникненні пожежі негайно повідомте пожежну службу, розпочніть евакуацію персоналу та використовуйте первинні засоби пожежогасіння (порошкові або вуглекислотні вогнегасники, кошму).

5. Вимоги безпеки після закінчення роботи

Вимкнення: Відключіть нагрів колони, дайте системі охолонути до безпечної температури.

Перекриття: Перекрийте подачу води та запірну арматуру на лініях.

6. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

6.1. При виникненні будь-якої несправності в роботі ректифікаційної колони, а також при порушенні захисного заземлення її корпусу, ізоляції кабелю живлення роботу слід негайно припинити і вимкнути електроприлад від електромережі. Роботу дозволяється відновити тільки після усунення всіх несправностей.

6.2. У разі виникнення короткого замикання і загоряння електрообладнання ректифікаційну колону слід негайно відключити її від електричної мережі, евакуювати людей з приміщення і приступити до ліквідації осередку загоряння за допомогою вогнегасника.

При подальшому поширенні вогню викликати пожежну службу за телефоном 101 і повідомити про подію безпосередньому керівнику.

6.3. В разі ураження електричним струмом слід відключити ректифікаційну колону від електричної мережі і надати потерпілому першу допомогу. При відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно зробити йому штучне дихання і провести непрямий масаж серця, викликати швидку медичну допомогу або організувати його транспортування у найближчий медичний заклад.

Повідомити про те, що трапилося керівнику.

ВИСНОВКИ.

1. Розроблено ректифікаційну установку для вакуумної деалкоголізації вина.
2. Проведено технологічний розрахунок ректифікаційної установки.
3. Проведено розрахунок на міцність складових ректифікаційної установки.
4. Проведено гідравлічний розрахунок.
5. Проведено експериментальне дослідження впливу режимних параметрів роботи ректифікаційної колони на енергетичні затрати при виробництві безалкогольного вина.

Список літератури:

1. https://bilesuhe.com.ua/index.php?route=mpblog/blog&mpblogpost_id=68
2. Процеси та апарати харчових виробництв [Текст] : підручник / А. М. Поперечний, О. І. Черевко, В. Б. Гаркуша, Н. В. Кирпиченко ; за ред. А.М. Поперечного; Донец. держ. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. — Київ : ЦУЛ, 2007. — 304 с : ил.
3. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 106537
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/837625/>
4. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 134315
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1355144/>
5. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 136406
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1373363/>
6. Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 162143
<https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1901057/>
7. Методичні вказівки до самостійної роботи для виконання розрахунково графічного завдання по дисципліні «Процеси і апарати харчових виробництв» [Електронний ресурс] : для студентів напряму 181 денної і заочної форм навчання / О. Г. Бурдо, В. П. Мординський, О. К. Войтенко, П. І. Светлічний ; за ред. О. Г. Бурдо ; Каф. процесів, обладнання та енергетичного менеджменту. — Одеса : ОНТУ, 2024. — 27
8. Стабников, В. Н. Перегонка и ректификация этилового спирта [Текст] / В. Н. Стабников. — 2-е изд. — М. : Пищевая пром-сть, 1969. — 455 с. : ил.
9. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов [Текст] / И. А. Чубик, А. М. Маслов. — Изд. 2-е , доп. — М. : Пищевая пром-сть, 1970. — 184 с. : ил., табл.
10. Практикум по курсу "Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств" [Текст] : учебник / С. В. Харламов. — Л. : Машиностроение, 1971. — 200 с.
11. <https://prom.ua/ua/p2059318697-chiller-industrial-frigo.html>