

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

**Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок
та косметичних засобів**

«До захисту в ЕК»
Директор інституту ННІХТ
Оксана КОЧУБЕЙ-
ЛИТВИНЕНКО
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«__» червня 2025 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри ТЖХТ
Тамара НОСЕНКО
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«__» червня 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія**

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Хімічна технологія
на тему: Удосконалення технології отримання етилового спирту

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ХТ-4-14
ТКАЧ Яніна Миколаївна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)


(підпис)

Керівник БОЙЧУК Тетяна Михайлівна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти Ігор ЖИТНЕЦЬКИЙ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)


(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Рецензент Ольга ДІДЕНКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

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

Здобувач(ка) 
(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та
косметичних засобів

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічна технологія

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

“ ” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Ткач Яніна Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема Удосконалення технології отримання етилового спирту
керівник роботи БОЙЧУК Тетяна Михайлівна к.х.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “07”квітня 2025 року
№ 212-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 03.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи потужність виробництва 200 кг/цикл

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ, аналітичний огляд науково-технічної літератури, технологічна частина,
техніко-економічне обґрунтування, організація та контроль якості продукції,
екологічна безпека та охорона праці, висновки, список використаної
літератури

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 3. Креслення апарату (загальний вигляд), формат аркушу А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Житнецький І.В., доцент, к.т.н.	20.05.2025	28.05.2025

7. Дата видачі завдання 01 травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	05.05.2025	
2	РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	06.05.2025-11.05.2025	
3	РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12.05.2025-25.05.2025	
4	РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	26.05.2025-27.05.2025	
5	РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	28. 05.2025-29. 05.2025	
6	РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	30.05.2025-31.05.2025	
7	ВИСНОВКИ	01.06.2025-02. 06.2025	
8	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	15.05.2025-25.05.2025	
9	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	12.05.2025-18.05.2025	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	19.05.2025-25.05.2025	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД АПАРАТУ	20.05.2025-28.05.2025	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	12.06.2025-19.06.2025	

Здобувач


(підпис)

Яніна ТКАЧ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Тетяна БОЙЧУК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Ткач Я.М. Удосконалення технології виробництва етилового спирту продуктивністю 200 кг/цикл.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА КУРСОВОЇ РОБОТИ СКЛАДАЄТЬСЯ З ЗМІСТУ, ВСТУПУ, 5 РОЗДІЛІВ, СПИСКУ ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ВИСНОВКІВ. РОБОТА МІСТИТЬ 81 СТОР., 24 РИС., 20 ТАБЛ., 3 АРКУШІ ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ ТА 26 ДЖЕРЕЛ.

У кваліфікаційній роботі досліджено галузі вживання та технології виробництва етилового спирту, зокрема приділено увагу методу прямої гідратації етилену, яка є найпоширенішим та найвигіднішим з економічної точки зору методом.

Було описано основну сировину для виробництва етанолу.

За даною технологією було розраховано матеріальний баланс, складено принципову та апаратурну технологічні схеми. Підібрано основне технологічне обладнання.

На основі матеріального балансу було надано техніко-економічне обґрунтування способу виробництва, в ході яких виявили що рентабельність даного способу виробництва становить 13.5%.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕТИЛЕН, ЕТАНОЛ, ВОДЯНА ПАРА, ГІДРАТАЦІЯ, КОНСЕРВАНТ, РОЗЧИННИК, ТЕХНОЛОГІЯ, УДОСКОНАЛЕННЯ, РЕКТИФІКАЦІЯ.

ABSTRACT

Tkach Y.M. Improvement of the technology of ethyl alcohol production with a capacity of 200 kg/cycle.

THE EXPLANATORY NOTE OF THE COURSE THESIS CONSISTS OF THE TABLE OF CONTENTS, INTRODUCTION, 5 CHAPTERS, LIST OF REFERENCES AND CONCLUSIONS. THE WORK CONTAINS 81 PAGES, 24 FIGURES, 20 TABLES, 3 SHEETS OF GRAPHIC MATERIAL, 26 SOURCES.

The qualification work investigated the areas of use and technology of ethyl alcohol production, in particular, attention was paid to the method of direct ethylene hydration, which is the most common and most profitable from an economic point of view method.

The main raw materials for ethanol production were described.

For this technology, a material balance was calculated, a principle and apparatus technological schemes were drawn up. The main technological equipment was selected.

Based on the material balance, a feasibility study of the production method was provided, during which it was found that the profitability of this production method is 13.5%.

KEYWORDS: ETHYLENE, ETHANOL, WATER VAPOR, HYDRATION, PRESERVATIVE, SOLVENT, TECHNOLOGY, IMPROVEMENT, RECTIFICATION

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ I. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	8
1.1 Харчові добавки консерванти.....	8
1.2 Области застосування етилового спирту	11
1.3 Виробництво етанолу в Україні	12
1.4 Історія етанолу	13
1.5 Способи виробництва етанолу	14
РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	17
2.1 Фізико-хімічні особливості процесу	17
2.2 Принципова схема виробництва етанолу	25
2.3 Матеріальний баланс.....	28
2.4 Підбір основного технологічного обладнання	34
2.5 Апаратурна технологічна схема виробництва етанолу.....	41
2.6 Розрахунок ректифікаційної колони	43
РОЗДІЛ III. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	60
РОЗДІЛ IV. ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ	64
РОЗДІЛ V. ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	67
5.1 Загальні вимоги до охорони праці	67
5.2 Вимоги під час технологічного процесу виготовлення синтетичного спирту.....	69
5.3 Охорона навколишнього середовища	72
ВИСНОВОК	78
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	79

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ткач Я.М.	ЗМІСТ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.006.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 6/81

ВСТУП

Етанол – цінна сировина, яка в умовах інтенсивного розвитку хімічної промисловості залишається найбільш поширеною та важливою органічною сполукою в хімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості. Він використовується як консервант, розчинник, як альтернативне паливо і як сировина для синтезу.

Методи вироблення етанолу різняться: існують як біохімічні методи (ферментація з цукровмісної сировини) так і синтетичні методи (пряма та непряма гідратація).

Найбільш популярними на сьогоднішній день вважаються синтетичні методи, які дозволяють здійснювати виробництво з високим ступенем економічної ефективності.

Україна має власні потужності для виробництва етилового спирту: «Укрспирт» та ДП «Житомирський лікєро-горілочний завод».

Актуальність даної роботи полягає в тому, що етанол є однією з найбільш споживаних речовин у світі, яка має широкий спектр застосування.

Метою роботи було удосконалення технології отримання виробництва етилового спирту.

Предметом дослідження даної кваліфікаційної роботи є етиловий спирт.

Об'єктами дослідження роботи стали технологія виробництва етилового спирту

Для реалізації поставленої мети було поставлено наступні завдання:

- проведення дослідження щодо методів синтезу етилового спирту;
- вибір із запропонованих методів найефективнішого;
- розробити принципову технологічну схему на основі обраного методу;
- на основі принципово-технологічної схеми розрахувати матеріальний

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Бойчук Т.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ткач Я.М	<i>Назва, додаткова на</i> ВСТУП	<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.007.КР.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 7/81

баланс;

- на основі принципово-технологічної схеми та матеріального балансу зробити підбір обладнання;
- розробити апаратурно-технологічну схему;
- на основі отриманих даних розрахувати рентабельність процесу.

РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Харчові добавки- консерванти

Харчові добавки – натуральні або синтетичні речовини, які вводять в харчовий продукт для надання йому бажаних якостей.

Окремим блоком харчових добавок виводять консерванти – харчові добавки, які продовжують термін зберігання харчових продуктів і захищають його від псування, спровокованого мікроорганізмами. Для консервантів використовують Е-коди з Е200 по Е299.

Мікробіологічне псування зумовлене життєдіяльністю дріжджів, бактерій та пліснявих грибів, і консерванти знищують або пригнічують їх ріст та розмноження. [1]

Деякі консерванти можуть бути одночасно антиоксидантами

Для попередження або затримки росту та розвитку мікроорганізмів у сировині, напівфабрикатах або готовому продукті застосовують хімічні консерванти. Їх застосовують тільки у тих випадках, коли інші засоби збереження продуктів неможливі.

Консерванти мають бути:

- безпечними для організму людини
- використовуватися в концентраціях, мінімальних для досягнення технологічного ефекту
- справляти ефективну антимікробну дію
- не змінювати органолептичних властивостей продукту
- бути технологічним і дешевим
- не впливати на мікробіологічні процеси, які передбачені технологією виробництва
- залишатися в продукті протягом всього терміну зберігання.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ткач Я.М	РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.009.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 9/81

Консерванти не дозволяється вносити у продукти масового споживання, такі як молоко, борошно, хліб, вершкове масло, дитяче харчування, спеціалізовані дієтичні продукти, або у вироби, які маркують позначками «натуральні».

У хлібобулочних та кондитерських виробках тривалого зберігання передбачається застосування консервантів у кількості, передбаченій нормативною документацією [1].

Зазвичай в одному продукті можуть використовувати кілька видів консервантів, оскільки більшість з них мають специфічну антимікробну активність, в той час як псування продукту зумовлене багатьма видами мікроорганізмів. Сумісне використання декількох консервантів, чи консервантів з речовинами, що викликають осмос (сіль, цукор) може посилювати антимікробний ефект та знижувати концентрації окремих консервантів [2].

Вибір консервантів та їх дозування залежить від:

- умов зберігання
- ступеню мікробіологічного забруднення
- фізико-хімічних властивостей продукту
- технології виробництва
- бажаного терміну придатності

Перелік консервантів, дозволених у країні, затверджує уряд.

В Україні, станом на сьогоднішній день, дозволеними до використання є такі консерванти, як сіль кухонна, етиловий спирт, оцтова кислота (E260) та її солі, сорбінова кислота (E200) та сорбат натрію (E201), бензойна кислота (E210) і бензоат натрію (E211), сірчиста кислота (E22) і сірчаноокислі препарати, діоксид вуглецю (E290), натрію нітрит (E250) та нітрат (E251), калію нітрат (E252) та уротропін (239) [1].

Перед використанням консерванти мають бути перевірені на генотоксичність (здатність впливати на спадковість, спричиняти небажані мутації) та канцерогенність (здатність сполук спричиняти розвиток різних пухлин).

1.2 Области застосування етилового спирту

Етиловий спирт відомий як харчова добавка E1510. З давніх давен відігравав роль складової частини напоїв, ліків, як заспокійливе та афродизіак, є найбільш важливим розчинником після води, а також є найпоширенішим та найдавнішим антисептиком, відомим людству [3].

Етанол знаходить місце у застосуванні у паливній промисловості, в молекулярній біології, є антидотом при отруєннях метанолом, а також є сировиною для синтезу етанолу, будатієну, діетилового етеру та інших речовин.

В харчовій промисловості етанол займає різні позиції, як від основної частини продукту, так і харчової добавки [3].

Етиловий спирт, завдяки своїй широкій антимікробній дії, використовується для розпилення його на поверхні готових кондитерських і хлібобулочних виробів перед пакуванням, та для обробки упаковки [3].

Етанол є активним компонентом різноманітних алкогольних напоїв, може використовуватися як розчинник для ароматизаторів та барвників, а також як підсилювач смаку.

Нерідко етанол зустрічається в пекарській промисловості – додавання алкоголю до тіста призводить до того, що випічка отримає більш ніжне та повітряне тісто (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 Круасани «7 Days mini»

Зокрема етиловий спирт додається до цукерок з рідкою алкогольною начинкою та до слабоалкогольних напоїв з ароматизаторами (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 Слабоалкогольний напій «MOVE ON»

Також спирт використовують у побуті, зокрема для очищення скла (рис. 1.3)



Рисунок 1.3 Засіб для миття вікон та скла Clin

В косметиці етиловий спирт використовується в основному в парфумерії, як розчинник, та знаходить місце у косметиці по догляду за жирною шкірою, оскільки він ефективно розчиняє надлишок шкірного себуму та підсушує запалення.

1.3 Виробництво етанолу в Україні

Найбільшим виробником спирту в Україні є державне підприємство «Укрспирт».

ДК «Укрспирт» забезпечує сировиною цілий ряд галузей – лікеро-горілчані підприємства, кондитерська промисловість, фармацевтика, медицина парфумерія та інші.

Основними видами виробленої продукції є спирт та горілка, а також понад 30 видів побічних продуктів, окрема вуглекислоти, технічний спирт, продукції з технічного спирту.

Загальна виробнича потужність ДП Укрспирт – понад 36 млн. декалітрів на рік, і одним з пріоритетних завдань підприємства є розвиток експорту. Продукція ДП Укрспирт експортується в країни Азії, Туркменістану, Грузії, Туреччини, Австрії, Польщі та інші країни [4].

Іншим великим виробником є Житомирський лікєро-горілочаний завод, основним видом діяльності якого є виробництво етилового спирту, лікєро-горілчаної продукції та горілки, спиртований та зброджених соків та виробництво житнього солоду.

Продукція виробництва реалізується на лише на території України, а також експортується в США, Азербайджан, Грузію, Німеччину та В'єтнам [5].

1.4 Історія етанолу

Етанол використовувався людством з давніх давен.

В Стародавньому Єгипті його добували ферментацією рослинної сировини, однак таким способом отримували тільки розведений розчин спирту. Згодом, з метою збільшення концентрації, в Китаї винайшли спосіб перегонки.

Приблизно 9000 років тому в Китаї виготовляли напої з ферментованих сумішей рису, фруктів та меду, а на Близькому Сході спирт отримували з винограду та ячменю [6].

Першою назвою спирту в рецептах європейських вчених була «аква арденс», тобто «палаюча вода» — саме здатність горіти вважалася визначальною для цієї рідини. Оскільки отримували її з вина, поширилося й альтернативне ім'я — «спірітус віні», «дух вина». Звідси й походить українське слово «спирт».

Італійський алхімік Таддео Альдеротті винайшов в XIII сторіччі подвійну перегонку, завдяки якій отримав 90 % спирт. До того ж він одним з перших європейців запропонував використовувати отриману рідину в медичних цілях. Впевнений в чудодійних властивостях «духу вина», він називав його — «аква віте», тобто «водою життя» або навіть «живою водою» [6].

Чистий етанол у 1796 році отримав німецький хімік Товій Єгорович Ловіц. Згідно з описом Антуана Лорана Лавуазьє, досліджувана сполука складалась з хімічних елементів вуглецю, водню та кисню.

У 1808 році швейцарський біохімі Ніколя Теодор де Соссюр встановив хімічну формулу етанолу, а п'ятдесят років потому, шотландський хімік Арчібальд Скотт Купер запропонував його структуру [6].

Перший синтетичний метод отримання етилену розробили незалежно один від одного англійський хімік Генрі Геннел та французький фармацевт Жорж-Симон Серюлла у 1826 році. В 1828 році англійський фізик і хімік Майкл Фарадей отримав етанол шляхом каталітичної гідратації етилену, побічного продукту переробки нафти і газу. Цей спосіб і досі вважається одним з найвдаліших та найвигідніших.

1.5 Способи виробництва етанолу

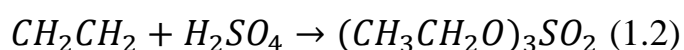
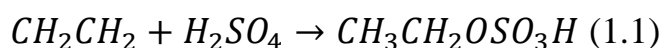
Етиловий спирт має кілька поширених методів виробництва, зокрема ферментація та гідратація етилену.

Метод добування етанолу шляхом ферментації є найстарішим. Для цього використовується будь-який продукт, що містить цукор, або з якого можна його отримати (Наприклад, етанол можна отримати з крохмалю, якщо попередньо піддати його гідролізу та додати фермент діастазу). Зазвичай, як цукровмісні речовини використовується цукор, цукровий буряк або меляса.

Гідратація етилену може відбуватися як з використанням сульфатної кислоти, так і без [3].

Гідратація етилену з використанням сульфатної кислоти (непряма гідратація) відбувається у три етапи.

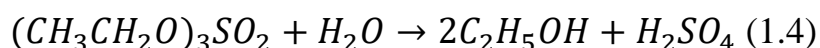
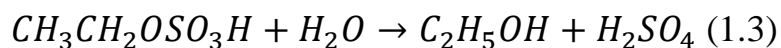
Етилен поглинається концентрованою кислотою, утворюючи етери етилсульфат (1.1) або діетилсульфат (1.2)



Поглинання проводиться 95-98% розчином кислоти за температури 80°C та тиску 1.3-1.5 МПа. Реакція є екзотермічною

Присутність у розчині кислоти етилсульфату дозволяє суттєво збільшити швидкість поглинання, оскільки розчинність етилену в етилсульфаті вища, ніж у чистій кислоті [3].

На другій стадії отримані продукти реакції зазнають гідролізу, та розкладаються з утворенням спирту й кислоти (1.3 та 1.4) [3].



Однак, не виключена взаємодія діетил сульфату та етилового спирту, що може привести до утворення діетилового етеру [3].

Після обробки сульфатної кислоти із абсорбованими етилсульфатом та діетил сульфатом у достатній кількості води, розчин набуває концентрації 50-60%. Продукти гідролізу розділяють у колоні – розведена кислота лишатиметься внизу, а спиртово-естерна суміш буде нагорі. Цільова суміш промивається водою або розведеним розчином гідроксиду натрію та очищується перегонкою [3].

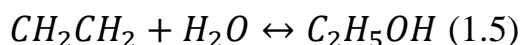
Останнім етапом синтезу є відновлення концентрації розведеної кислоти. За допомогою кислотних випаровувачів концентрацію піднімають до 90%, після чого проводиться змішування з олеумом, та концентрацію піднімають ще до 98% [3].

Основним недоліком непрямого методу гідратації є утворення в кислоті вуглецевих речовин, які впливають на її концентрацію. Також, використання концентрованої кислоти спричиняє корозію на обладнанні.

Метод прямої гідратації проводять із використанням каталізаторів. Процес може мати дві форми взаємодії: газофазний процес та змішанофазний процес.

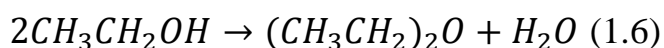
В газофазному процесі із каталізатором контактують газоподібні реагенти, у змішанофазному – як рідкі, так і газоподібні [3].

Переважно етанол синтезується за газофазним процесом. Вихідний етилен та воду пропускають на вугільним каталізатором, що насичений ортофосфатною кислотою (1.5)



За звичайних температур лише незначна кількість етанолу може перебувати у газовій фазі, але збільшення температури призводить до зменшення концентрації. Вирівняти рівновагу можна застосувавши принцип Ле шательє-Брауна, збільшивши тиск у суміші та зменшивши кількість молекул в системі. Оптимальними умовами для проведення взаємодії є температура 250-300°C та тиск 6,1-7,1 МПа

Продукт реакції може зазнавати міжмолекулярної дегідратації, що веде до утворення діетилового етеру (1.6) [3]:



Також етанол може утворюватися при гідролізі галогенозаміщеного етану. Його проводять у воді, або у водному розчині лугів.

Також етанол можуть добувати із синтез-газу, та він є аналогічним до методу отримання метанолу за процесом Фішера-Тропша.

Дана реакція відбувається за температури 125-175°C і за тиску 1.42 МПа, використовуючи в якості каталізатора порошкоподібне залізо.

РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Фізико-хімічні особливості процесу

2.1.1 Фізико-хімічні властивості етилу. Вимоги до сировини

Етилен (етен) – найпростіший та найважливіший представник ряду ненасичених вуглеводнів з одним подвійним зв'язком (рис. 2.1). Безбарвний газ із слабким запахом, трохи легший за повітря. Малорозчинний у воді, але добре розчиняється в спирті та інших органічних сполуках. В таблиці 2.1 наведені фізичні властивості етилену [7].

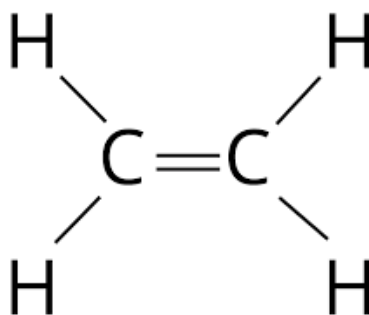


Рисунок 2.1 Молекула етилену

Таблиця 2.1 Фізичні властивості етилену

Властивість	Значення
Молекулярна формула	C ₂ H ₄
Молярна маса, г	28,05
Густина, кг/м ³	1,8
T _{пл} , °C	-169,2
T _{кип} , °C	-103,7
Розчинність у воді, мг/100 мл	3,5

Етилен є досить хімічно активним і бере участь в багатьох реакціях. Для нього характерні реакції приєднання за місцем подвійного зв'язку, реакції

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ткач Я.М	РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.017.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 17/81

полімеризації та реакції окиснення. При цьому один з подвійних зв'язків розривається, і на його місці лишається простий одинарний зв'язок, а за рахунок звільнених валентностей відбувається приєднання інших атомів або атомних груп.

Етилен вступає в реакцію з воднем: якщо суміш нагріти в присутності каталізатору, то вони сполучаться з утворенням метану. Також етилен утворює з повітрям вибухові суміші [7].

В таблиці 2.2 наведено основні вимоги до технічного етилену.

Таблиця 2.2 Вимоги до технічного етилену

Найменування показника	Значення
Об'ємна частка етилену, %, не менше	99,9
Об'ємна частка пропілену, %, не більше	0,005
Об'ємна частка метану та етану, %, не більше	0,1
Об'ємна частка дієнових вуглеводнів, %, не більше	0,001
Об'ємна частка водню, %, не більше	0,0005
Об'ємна частка CO ₂ , %, не більше	0,001
Об'ємна частка CO, %, не більше	0,0005
Об'ємна частка метанолу, %, не більше	0,001
Об'ємна частка кисню, %, не більше	0,002
Масова концентрація сірчаних сполуку перерахунку на сірку, мг/м ³ , не більше	1
Масова частка води, %, не більше	0,001
Об'ємна частка аміаку, %, не більше	0,0001

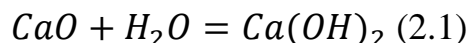
2.1.2 Фізико-хімічні властивості води

Вода – це хімічна речовина у вигляді прозорої безбарвної рідини без запаху та смаку. Основна складові гідросфери Землі та рідин усіх відомих живих організмів. Одна з найпоширеніших речовин у природі. В таблиці 2.4 наведено основні фізичні властивості води [8].

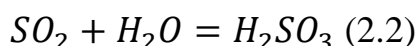
Таблиця 2.3 Фізичні властивості води

Властивість	Значення
Молекулярна формула	H ₂ O
Молярна маса, г	18,01528
Густина, г/см ³	1
T _{пл} , °C	0
T _{кип} , °C	99,98

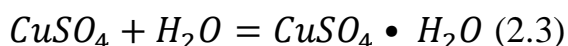
Вода досить активно вступає в хімічні реакції з різними речовинами. З оксидами лужних та лужно-земельних металів вона утворює основи (2.1).



З оксидами неметалів, вона утворює кисневмісні кислоти (2.2).



Із деякими солями вода утворює кристалогідрати (2.3).[10]



2.1.3 Фізико-хімічні властивості етанолу

Етанол (етилловий спирт) (рис. 2.2) – органічна сполука, представник ряду одноатомних спиртів. За звичайних умов – безбарвна легкозаймиста рідина. Є гарним розчинником для багатьох органічних та неорганічних речовин. Фізичні властивості етанолу наведено в таблиці 2.4.

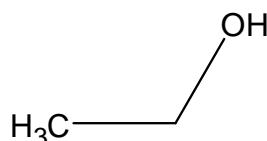


Рисунок 2.2 Графічна структура етанолу

Таблиця 2.4 Фізичні властивості етанолу

Властивість	Значення
Молекулярна формула	C ₂ H ₅ OH
Молярна маса, г	46,068 г
Густина, г/см ³	0,7893
T _{пл} , °C	114,14
T _{кип} , °C	78,29

Етанол є одноатомним первинним спиртом, і його гідроксильна група відповідає за більшість його хімічних властивостей.

Етанол може брати участь у реакціях дегідратації (рис.2.3), як внутрішньої так і міжмолекулярної [11].

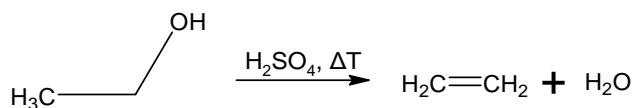


Рисунок 2.3 Реакція внутрішньої дегідратації етанолу

При взаємодії з іншими спиртами етанол утворює суміш трьох етерів (рис. 2.4)

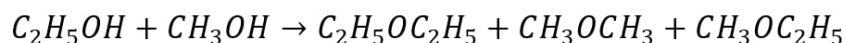


Рис.2.4 Реакція етанолу з метанолом

Етанол проявляє свої кислотні властивості у реакції з лужними металами або лугами, утворюючи етоксиди (рис.2.5)

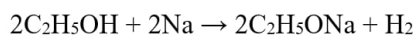


Рисунок 2.5 Реакція етанолу з натрієм

Етанол може окислюватися до етаналю, а згодом і до оцтової кислоти. Результатом повного такого окиснення буде діоксид вуглецю та вода.

Етанол також є сировиною для синтезу бутадієну (рис. 2.6)[3] .

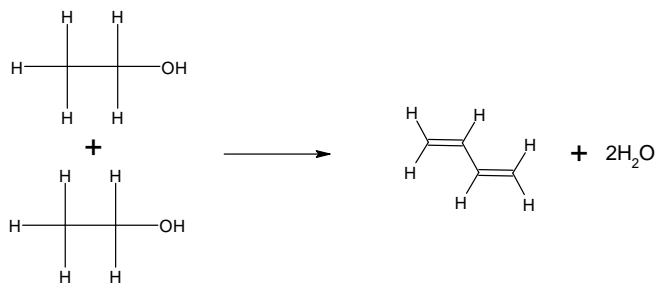


Рисунок 2.6 Синтез бутадієну з етанолу.

В таблиці 2.5 наведено основні показники якості для етанолу.

Таблиця 2.5 Показники якості етанолу

Найменування показника	Значення
Об'ємна частка етилового спирту, за температури 20 оС, %, не менше	96,0
Проба на чистоту з сірчаною кислотою	витримує
Проба на окислюваність за температури 20 оС хв, не менше	15
Масова концентрація альдегідів, у перерахунку на оцтовий альдегід в безводному спирті, мг/дм ³ , не більше	4,0
Масова концентрація сивушного масла пропілового, ізобутилового та ізоамілового спиртів (3:1:1) в безводному спирті, мг/дм ³ , не більше	10,0
Масова концентрація сивушного масла, в перерахунку на суміш ізоамілового та ізобутилового спиртів (1:1) в безводному спирті, мг/дм ³ , не більше	4,0

Масова концентрація естерів, у перерахунку на оцтовоетиловий естер в безводному спирті, мг/дм ³ , не більше	5,0
Об'ємна частка метилового спирту в перерахунку на безводний спирт %, не більше	0,03
Масова концентрація вільних кислот (без CO ₂), у перерахунку на оцтову кислоту в безводному спирті, мг/дм ³ , не більше	15,0
Проба на фурфурол	витримує
Масова концентрація сухого залишку, мг/дм ³ , не більше	10,0

2.1.4 Фізико-хімічні особливості процесу

Синтез етанолу прямою гідратацією етилену проводять у паровій фазі за наявності каталізатора у вигляді 35-40% фосфорної кислоти, якою просочують алюмосилікати або силікагель. Реакція взаємодії етилену з водою є зворотною, і виділяється з виділенням тепла, тому процес проводять за невисоких температур.

Ступінь перетворення етилену в етанол лімітується швидкістю реакції та активністю каталізатора. На рис. 2.7 можна спостерігати вплив температури на ступінь конверсії етилену [13].

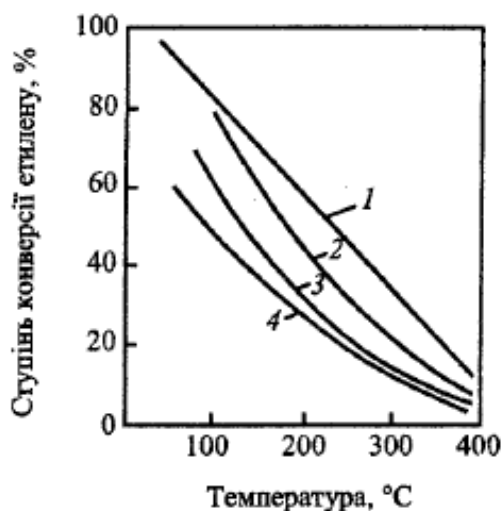


Рисунок 2.7 Залежність ступеня конверсії етилену у спирт від температури та тиску.

1 – 20 МПа, 2 – 50 МПа, 3 – 80 МПа, 4 – 150 МПа

На практиці процес проводять за температури 280-290°C. Підвищення тиску зрушить рівновагу реакції у бік утворення етанолу, тому тиск у системі підтримується близько 7-8 МПа (рис. 2.8) [13].

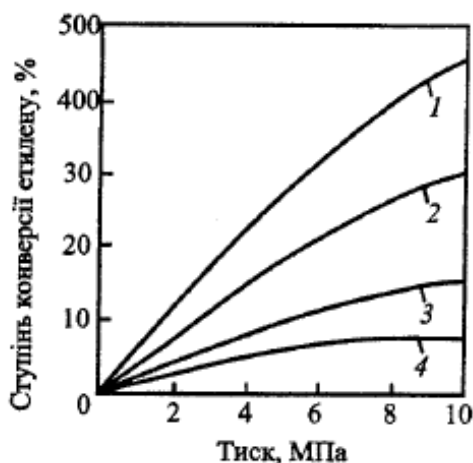


Рисунок 2.8 Залежність ступеня конверсії етилену від тиску і температури за співвідношення $\text{H}_2\text{O}:\text{C}_2\text{H}_4 = 1:1$.

1 – 200°C, 2 - 250°C, 3 - 300°C, 4 - 350°C.

Вихід етанолу залежить також від молярного співвідношення води та етилену (рис. 2.9), часу контакту (рис. 2.10) та об'ємної швидкості (рис. 2.11) [13].

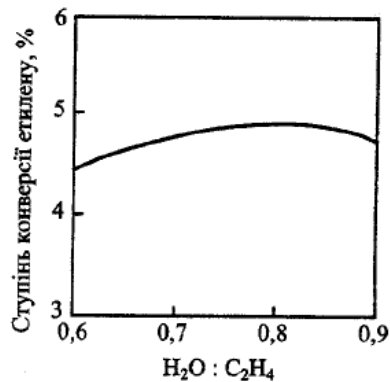


Рисунок 2.9 Вплив молярного співвідношення $H_2O:C_2H_4$ на ступінь конверсії етилену



Рисунок 2.10 Вплив часу контакту на ступінь конверсії етилену

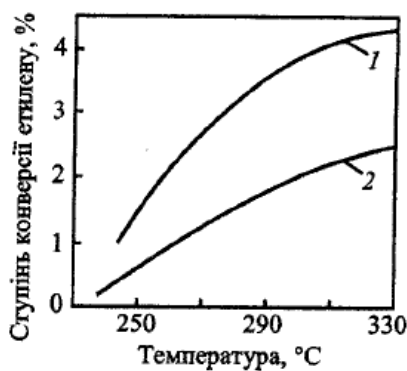


Рисунок 2.11 Вплив температури на ступінь конверсії етилену за різної об'ємної швидкості.

1 – за 2000 год⁻¹, 2 – 5100 год⁻¹

2.1.5 Удосконалення технології виробництва

Варто зазначити, що каталізатор на основі фосфорної кислоти, яка використовується в цьому процесі, схильний до випарювання.

Це призводить до деактивації каталізатора та корозії обладнання, що вимагає додаткового етапу – нейтралізації випарів кислоти.

Шляхом до вирішення даної проблеми може стати твердий кислотний каталізатор.

Було виявлено, що багато твердих кислотних каталізаторів демонструють високу активність та селективність в умовах надлишку водяної пари.

Однією з переваг традиційного каталізатора була висока селективність етилену, тому пошук твердого каталізатора зосередився на пошуку заміни з такою самою селективністю [14].

Фосфати було відкинуто, оскільки за таких температури та тиску уникнути розчинення фосфорного матеріалу було майже неможливо.

Оксиди на основі цирконію та наобію вважалися досить дорогавартісними.

Зрештою, було виявлено що змішаний оксид вольфраму та титану, отриманий золь-гель методом, має високу активність, у порівнянні з традиційним каталізатором.

Також даний каталізатор можна використовувати за нижчої температури, що змістить рівновагу в бік виробництва етанолу, та покращить ефективність процесу [14].

Однак уявна густина була набагато вищою, ніж у традиційного каталізатора. Активність на одиницю ваги була нижчою, тому це виступало явним недоліком.

2.2 Принципова схема виробництва етанолу

На рис. 2.12 зображено принципову технологічну схему виробництва етанолу.

Стиснення

Свіжий етилен подається на стадію 1, де стискається до 7 МПа і змішується разом з непрореагованим етиленом.

Змішування

Стиснений етилен надходить на стадію 2 змішується з водяною парою у співвідношенні 1:0.65.

Нагрівання I

Суміш водяної пари та етилену надходить на стадію 3, де нагрівається за рахунок прореагованих газів до температури 220°C.

Нагрівання II

Попередньо нагріта суміш надходить на стадію 4, де нагрівається за рахунок топкових газів до 290°C.

Гідратація

Суміш надходить на стадію 5, де відбувається процес гідратації. Температура при цьому підвищується до 308°C за рахунок реакційного тепла.

Прореагована суміш спирту, водяної пари та непрореагованого етилену повертається на стадію 3, вже як теплоагент. На цій стадії прореагована суміш охолоджується, і надходить на стадію 7.

Конденсації

На стадії 6 суміш охолоджується до температури 80°C з допомогою холодної води.

Сепарація

Сконденсована суміш надходить на стадію 8. На стадії 8 водно-спиртову суміш відділяють від непрореагованого етилену. Етилен йде на повторне використання, а розчин спирту йде на стадію 9.

Ректифікація

На стадії 9 водно спиртовий розчин укріплюють до 96% розчину. Воду виводять із системи на очищення, а готовий продукт виводять у збірник [12].

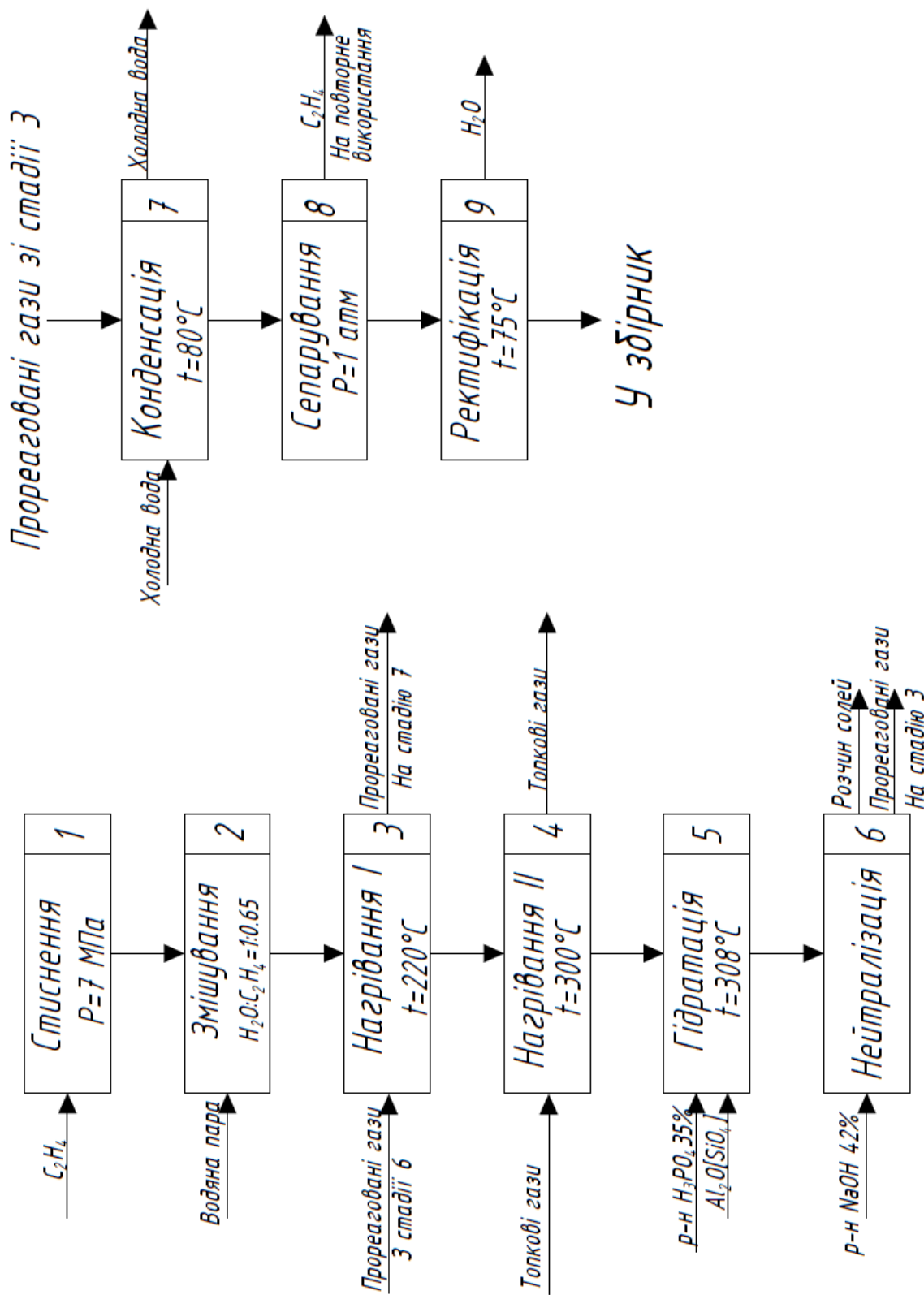


Рисунок 2.12 Принципово-технологічна схема виробництва етанолу

2.3 Матеріальний баланс

2.6 Матеріальний баланс

1.Стиснення

Процес виробництва починається з стиснення етилену. На стиснення подається 687.487 кг етилену, втрати на цьому етапі становлять 1%.

$$m(\text{втрати}) = 694,7 * 0,01 = 6.95$$

$$m(\text{стиснутого етилену}) = 694,7 - 6.95 = 687.75$$

Матеріальний баланс стадії стиснення наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 Матеріальний баланс стадії стиснення

Прихід		Вихід	
Етилен	694,7	Стиснутий етилен	687.75
		Втрати	6.95
Всього	694,7	Всього	694,7

2.Змішування

В реактор змішування подається стиснутий етилен та 420.878 кг водяної пари. Втрати на цьому етапі становлять 1%.

$$m(\text{втрати етилену}) = 687.75 * 0,01 = 6.77$$

$$m(\text{втрати водяної пари}) = 832,48 * 0,01 = 8.32$$

$$m(\text{етилен}) = 687.75 - 6.77 = 681$$

$$m(\text{водяна пара}) = 832.48 - 8.32 = 824.16$$

Матеріальний баланс стадії змішування наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 Матеріальний баланс стадії змішування

Прихід		Вихід	
Етилен	687.75	Етилен	681
Водяна пара	832,48	Водяна пара	824.16
		Втрати	15.07
Всього	1520.23	Всього	1520.23

3. Нагрівання I

В теплообміннику етилен та водяна пара нагріваються. Втрати на цьому етапі становлять 1%.

ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.028.КР.ПЗ

Інд. змін.

Дата видання
01.05.2025

Мова
ua

Аркуш
28/81

$$m(\text{втрати етилену}) = 681 * 0,01 = 6.81$$

$$m(\text{втрати водяної пари}) = 824.16 * 0,01 = 8.24$$

$$m(\text{етилен}) = 681 - 6.81 = 674.19$$

$$m(\text{водяна пара}) = 824.16 - 8.24 = 815.92$$

Матеріальний баланс стадії нагрівання I наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 Матеріальний баланс стадії нагрівання I

Прихід		Вихід	
Етилен	681	Етилен	674.19
Водяна пара	824.16	Водяна пара	815.92
		Втрати	15.05
Всього	1505.16	Всього	1505.16

4. Нагрівання II

Попередньо підігріті в теплообміннику суміш етилену та водяної пари надходять в трубчасту піч. Втрати на цьому етапі становлять 1%.

$$m(\text{втрати етилену}) = 674.19 * 0,01 = 6.74$$

$$m(\text{втрати водяної пари}) = 815.92 * 0,01 = 8.16$$

$$m(\text{етилен}) = 674.19 - 6.74 = 667.45$$

$$m(\text{водяна пара}) = 815.92 - 8.16 = 808$$

Матеріальний баланс стадії нагрівання II наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 Матеріальний баланс стадії нагрівання II

Прихід		Вихід	
Етилен	674.19	Етилен	667.45
Водяна пара	815.92	Водяна пара	808
		Втрати	14.66
Всього	1490.11	Всього	1475.57

5. Гідратація

Втрати в процесі гідратації складають 1%. Маса реагентів яка вступить в хімічну реакцію:

$$m(\text{втрати етилен}) = 661 * 0.01 = 6.6 \text{ кг}$$

$$m(\text{втрати водяна пара}) = 808 * 0.01 = 8 \text{ кг}$$

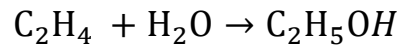
Розрахуємо матеріальний баланс за стехіометричним рівнянням.

Вміст домішок у складі етилену 0,1 % , вміст домішок у складі водяної пари 0.3 %.

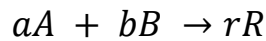
При виробництві необхідно враховувати конверсію реагентів, оскільки вона безпосередньо впливає на кількість компонентів, які вступають в хімічну реакцію та утворюють кінцевий продукт.

Конверсія реагентів становить 96 % для етилену та 100% для водяної пари.

Реакція для розрахунків:



1. Розраховуємо молярні маси учасників реакції



$$aM_A = 1 * 28 \text{ кг/кмоль} = 28 \text{ кг/кмоль}$$

$$bM_B = 1 * 18 \text{ кг/кмоль} = 18 \text{ кг/кмоль}$$

$$rM_R = 1 * 46 \text{ кг/кмоль} = 46 \text{ кг/кмоль}$$

Проводимо перевірку результатів за формулою:

$$28 \text{ кг/кмоль} + 18 \text{ кг/кмоль} = 46 \text{ кг/кмоль} \quad (2.10)$$

$$46 \text{ кг/кмоль} = 46 \text{ кг/кмоль}$$

Для виробництва 1030.1 кг етанолу необхідно затратити 653.793 кг етилену та 404.294 кг водяної пари.

Для виробництва 1031.1 кг етанолу необхідно затратити 661.032 кг етилену та 408.769 кг водяної пари.

2. Знайдемо масу чистого етилену, знаючи масу технічного реагенту

$$m'_{\text{C}_2\text{H}_4} = \frac{m''_{\text{C}_2\text{H}_4}}{100\% - \omega_{\text{дом.}}} = \frac{654.422 * (100 - 0,1)}{100} = 653.767 \text{ кг}$$

3. Визначаємо масу домішок етилену

$$\Delta m''_{C_2H_4} = m''_{C_2H_4} - m'_{C_2H_4}$$
$$\Delta m''_{C_2H_4} = 654.422 - 653.767 = 0.654 \text{ кг}$$

4. Визначаємо стехіометричну кількість реагенту

$$m_{C_2H_4} = \frac{m'_{C_2H_5OH}}{1}$$
$$m_{C_2H_4} = \frac{653.767}{0.96} = 627.617 \text{ кг}$$

5. Розраховуємо масу непрореагованого залишку етилену

$$\Delta m'_{C_2H_5OH} = m'_{C_2H_5OH} - m_{C_2H_5OH}$$
$$\Delta m'_{C_6H_5COOH} = 653.767 - 627.617 = 26.151 \text{ кг}$$

6. Знайдемо масу чистої водяної пари

$$m'_{H_2O} = \frac{m''_{H_2O}}{100\% - \omega_{\text{дом.}}}$$
$$m'_{H_2O} = \frac{404.682 * (100 - 0,3)}{100} = 403.468 \text{ кг}$$

7. Визначаємо масу домішок водяної пари

$$\Delta m''_{H_2O} = m''_{C_2H_5OH} - m'_{C_2H_5OH}$$
$$\Delta m''_{H_2O} = 404.682 - 403.468 = 1.214 \text{ кг}$$

8. Визначаємо стехіометричну кількість реагенту

$$m_{H_2O} = \frac{m'_{H_2O}}{1}$$
$$m_{H_2O} = \frac{403.468}{1} = 403.468 \text{ кг}$$

9. Розраховуємо масу непрореагованого залишку

$$\Delta m'_{H_2O} = m'_{H_2O} - m_{H_2O}$$

$$\Delta m'_{\text{H}_2\text{O}} = 403.081 - 403.081 = 0 \text{ кг}$$

Практичний матеріальний баланс стадії гідратації базується на тому, що ми отримуємо 20% водно-спиртовий розчин. Відповідно, дані практичного балансу наведено в таблиці 2.10

Таблиця 2.10 Матеріальний баланс стадії гідратації

Прихід		Вихід	
Етилен	661	Водно-спиртова суміш	1000
		у тому числі:	
		Вода	
		Етанол	200
Водяна пара	800	Непрореагований C ₂ H ₄	461
		Втрати	14.6
Всього	1466	Всього	1466

7. Конденсація

Суміш води, етанолу та непрореагованого етилену надходить в конденсатор. Втрати на цьому етапі становлять 1%.

$$m(\text{втрати}) = 1446.4 * 0.01 = 14.4$$

Матеріальний баланс стадії конденсації внесено до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 Матеріальний баланс стадії конденсації

Прихід		Вихід	
Водно-спиртова суміш у тому числі:	1000	Водно-спиртова суміш у тому числі:	1000
Вода	800	Вода	800
Етанол	200	Етанол	200
Непрореагований C ₂ H ₄	446.4	Непрореагований C ₂ H ₄	432
		Втрати	14.4
Всього	1446.4	Всього	1446.4

8. Сепарування

Сконденсована суміш води, етанолу та етилену надходить у сепаратор.

Втрати на цьому етапі становлять 1%.

$$m(\text{втрати})=1432*0.01\%=14.3$$

Матеріальний баланс стадії сепарування занесено в таблицю 2.12

Таблиця 2.12 Матеріальний баланс стадії сепарування

Прихід		Вихід	
Водно-спиртова суміш у тому числі:	1000	Водно-спиртова суміш у тому числі:	1000
Вода	800	Вода	800
Етанол	200	Етанол	200
Непрореагований C ₂ H ₄	432	C ₂ H ₄ на рециркуляцію	417.7
		Втрати	14.3
Всього	1432	Всього	1432

9. Ректифікація

Суміш води та етанолу надходить в ректифікаційну колону де розділяється. Втрати на цьому етапі становлять 0.5%

$$m(\text{втрати})=1000*0.005=5$$

Матеріальний баланс стадії ректифікації внесено до таблиці 2.13

Таблиця 2.13 Матеріальний баланс стадії ректифікації

Прихід		Вихід	
Водно-спиртова суміш	1000	Етанол 20%	200
у тому числі:			
Вода	800	Вода на рециркуляцію	795
Етанол	200		
		Втрати	5
Всього	1432	Всього	1432

Отримані дані усіх матеріальних потоків, виходів речовин та втрат внесено в зведену таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 Матеріальний баланс виробництва етанолу


Прихід		Втрати	
C ₂ H ₄	694,7	Етанол 20%	200
Водяна пара	832,48	Непрореагований C ₂ H ₄	417.7
		Вода	795
		Втрати	114.45
Всього	1534.18	Всього	1534.18



Таблиця 2.14 Матеріальний баланс виробництва етанолу

2.4 Підбір основного технологічного обладнання

В таблиці 2.15 наведено основне технологічне обладнання для виробництва етилового спирту методом каталітичної гідратації, а також його технологічні параметри.

Таблиця 2.15 Основне технологічне обладнання

<p>Компресор</p>	<p>Поршневий компресор одноступінчатий з продуктивністю 600 л /хв. Напруга живлення: 220В Максимальний тиск: 9 МПа Об'єм ресивера: 100 л</p>	
<p>Змішувач</p>	<p>Змішувач для газів. Максимальна робоча температура: 150°C</p>	
<p>Теплообмінник кожухотрубний</p>	<p>Кожухотрубний теплообмінник з нержавіючої сталі Об'єм: 316 л Максимальна робоча температура: 600°C</p>	

Реактор	Реактор синтезу з нержавіючої сталі. Висота: 10 м Об'єм: 500 л Максимальна робоча температура: 350°C	
Сепаратор	Сепаратор із нержавіючої сталі для розділу газів та рідини. Максимальна робоча температура: 800°C Максимальний тиск: 2.5 МПа	
Ректифікаційна колона	Ректифікаційна колона з нержавіючої сталі. Продуктивність: 20 00 л/цикл	

Збірник	Сталевий збірник об'ємом 390 л. Максимальна температура: 90 °С.	
Насос	Насос відцентровий з нержавіючої сталі. Потужність: 7.5 кВт Продуктивність: 130 м ³ /год.	

Компресор (рис. 2.13)

Країна: Польща

Виробник: Kowal Polska

Модель: ККТ400

Потужність двигуна: 3.8 кВт

Продуктивність: 600 л/хв

Максимальний тиск: 9 МПа

Об'єм ресивера: 100 л [15].



Рисунок 2.13 Зображення компресору ККТ400

Змішувач газів (рис. 2.14)

Країна: Німеччина

Виробник: WITTGAS

Модель: KM20-100_2ME

Максимальна робоча температура: 150°C [16].



Рисунок 2.14 Змішувач газів KM20-100_2ME

Теплообмінник кожухотрубний (рис. 2.15)

Країна: Китай

Виробник: Changzhou VRcoolertech Refrigeration Co., Ltd

Модель: VRCOOLER

Матеріал: нержавіюча сталь

Вартість: 8000 доларів США.

Об'єм: 316 л

Максимальна робоча температура: 600 °C [17].



Рисунок 2.15 Теплообмінник кожухотрубний

Сепаратор (рис. 2.16)

Країна: Китай

Виробник: WS

Максимальна робоча температура: 800°C

Максимальний тиск: 2.5 МПа

Матеріал: нержавіюча сталь

Точність розділення: 0.1-10 мкм

Вартість: 350 доларів США [18].



Рисунок 2.16 Сепаратор WS

Збірник (рис. 2.17)

Країна: Україна

Виробник: Промвіт

Модель: СМ-450

Об'єм: 390 л

Робочий тиск: 2.5 бар

Максимальна робоча температура: 90°C

Матеріал: сталь AISI 316 L [19].



Рисунок 2.17 Збірник СМ-450

Насос відцентровий(рис. 2.18)

Країна: Італія

Виробник: Lowara

Модель: ESNE 80-160

Матеріал: нержавіюча сталь

Частота обертів двигуна: 2900 об/хв

Вага: 160 кг

Потужність: 7.5 кВт

Продуктивність: 130 м³/год [20].



Рисунок 2.18 Відцентровий насос ESHE 80-160

2.5 Апаратурно-технологічна схема виробництва етанолу

На рис. 2.19 зображено апаратурну схему виробництва етанолу.

Свіжий етилен подається в компресор **1**, де стискається до 7 МПа. Газова суміш етилену надходить у змішувач газів **2**, де змішується з водяною парою.

Суміш етилену та водяної пари за допомогою компресора **3** надходить до теплообмінника **4**, де нагрівається за рахунок прореагованих газів до температури 220°C. Потім суміш направляють в трубчасту піч **5**, де вона нагрівається за рахунок топкових газів до 300°C.

Суміш за допомогою компресора **6** надходить до колони-ректора **7**, в якому знаходиться каталізатор. Температура при цьому підвищується до 308°C за рахунок реакційного тепла.

Після гідратації прореаговані гази із реактора **7** повертаються в теплообмінник **4** за допомогою компресора **8** вже як теплоагент.

Після цього суміш відправляється в конденсатор **9** і охолоджується до температури 80°C. Відцентровим насосом **10** сконденсована суміш направляється у сепаратор **11**, де спиртово-водяна суміш відділяються від непрореагованого етилену. Непрореагований етилен по трубопроводу відправляється на повторне використання.

Спиртово-водний розчин насосом **12** направляють в ректифікаційну колону **13**, де відбувається багатостадійна перегонка за участі дефлегматора **14** і відділяють воду від спирту. Готовий спирт направляють в збірник **15**

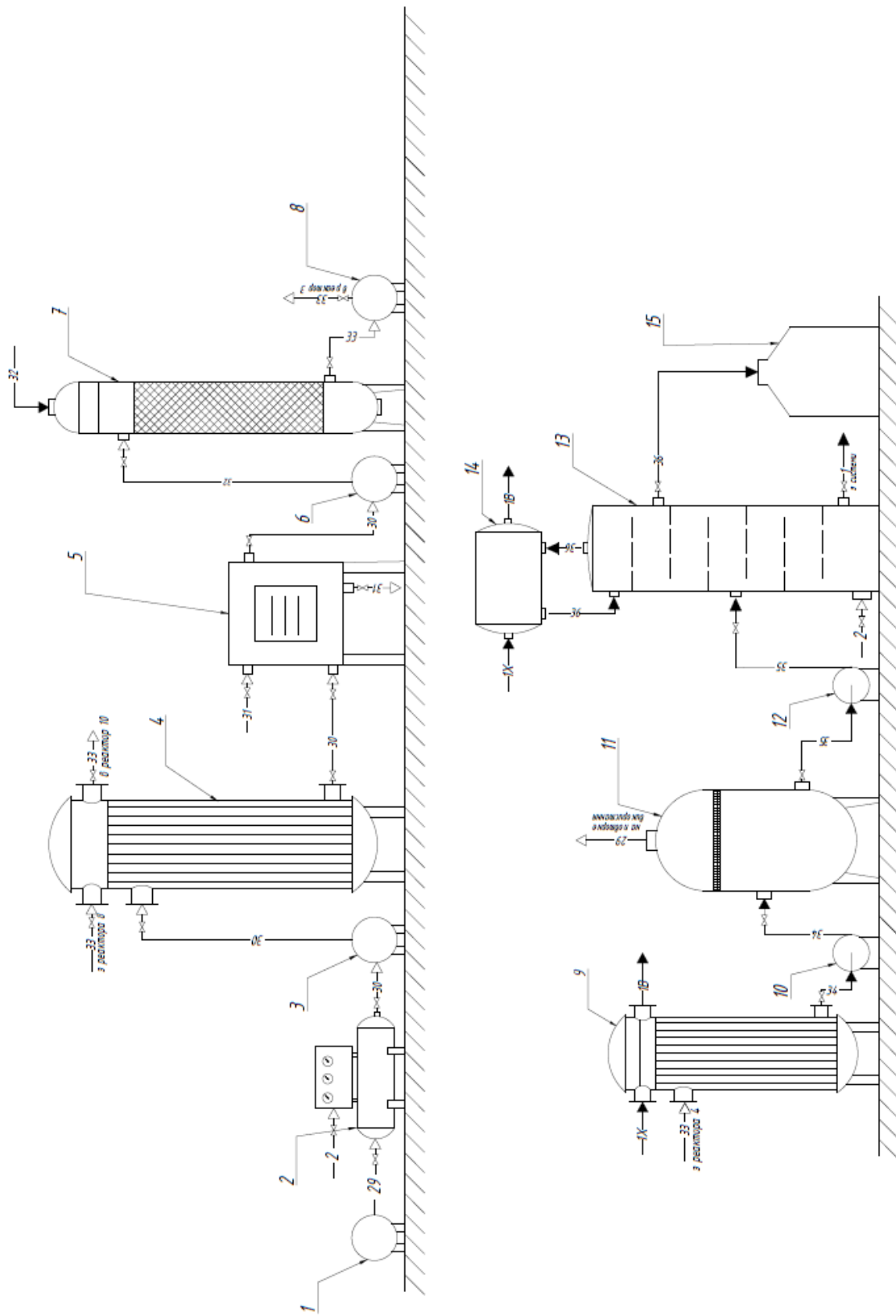


Рисунок 2.19 Апаратурна технологічна схема

2.6 Розрахунок ректифікаційної колони

Ректифікаційна колона – ключовий апарат у хімічній та нафтохімічній промисловості, який призначено для розділення рідких сумішей на складові компоненти із різними температурами кипіння. Ректифікація ґрунтується на багаторазовому випаровуванні та конденсації компонентів суміші.

Принцип роботи колони базується на постійній взаємодії парової та рідкої фаз [21].

В нижній частині колони (кубі) рідина нагрівається, перетворюючись на пару. Ця пара, збагачена більш леткими компонентами, підіймається вгору по колоні.

Розташовані всередині колони контактні пристрої (тарілки або насадки) забезпечують інтенсивний контакт між потоком пари та флегми.

Піднімаючись вгору пара охолоджується, та частково конденсується на поверхні контактної пристрою. Частина флегми повертається назад у колону, підвищуючи ефективність розділення.

Для ректифікації застосовують апарати виключно колонного типу – барботажні та насадкові ректифікаційні колони [22].

У барботажних колонах пара та рідина стикаються на тарілках. Особливістю тарілчастих колон є ступінчатий характер зміни концентрації процесу. Тарілчасті колони є найбільш розповсюдженими, як більш продуктивні, і як такі, що можуть працювати в широкому діапазоні навантажень.

Процеси ректифікації можуть здійснювати під атмосферним тиском, підвищеним тиском, або під вакуумом [22].

Зазвичай, тиск більший за атмосферний використовують для сумішей, які є газоподібними за нормальних температур. Ректифікацію під вакуумом застосовують для суміші висококиплячих рідин [22].

В процесі виробництва етанолу, ректифікаційні колони застосовуються

для звільнення етанолу від вмісту домішок, а також для доведення вмісту етанолу в дистилаті до стандартного значення

У ректифікаційній колоні для розділення суміші етилен-вода процес відбувається за нормального тиску. У якості гріючого агента, який подається у куб-кип'ятильник установки, обирають насичену водяну пару, як доступну та дешевшу за інші види теплоносіїв.

В якості охолоджуючого агента обирається технічна вода. Початкову та кінцеву температуру води буде наведено в розрахунках нижче.

Оскільки компоненти суміші етанол-вода не є агресивними рідинами, в якості матеріалу для оболонки, тарілок, дна, кришки та фланців можна обрати сталь [22].

2.6.2 Матеріальний розрахунок

$$G_F = 1000 \text{ кг/цикл}$$

$$\underline{x}_F = 15 \% - \text{концентрація вихідної суміші}$$

$$\underline{x}_D = 96\% - \text{концентрація дистилату}$$

$$\underline{x}_W = 4\% - \text{концентрація в кубовому залишку}$$

Розрахуємо витрати дистилату та кубового залишку:

$$G_D = G_F \frac{\underline{x}_F - \underline{x}_W}{\underline{x}_D - \underline{x}_W} = 1000 \frac{0.15 - 0.04}{0.96 - 0.04} = 119.5 \text{ кг/опер}$$

$$\text{Або} \quad \frac{119,5}{3600 \cdot 3} = 0,011 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$G_W = G_F - G_D = 1000 - 119.5 = 880.5$$

$$\text{Або} \quad \frac{880,5}{3600 \cdot 3} = 0,081 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Перерахуємо масові концентрації у молярні

$$x_F = \frac{\frac{\underline{x}_F}{M_A}}{\frac{\underline{x}_F}{M_A} + \frac{100 - \underline{x}_f}{M_B}}$$

Де M_A і M_B – молекулярні маси низькокиплячого і висококиплячого

компонентів відповідно, кг/кмоль

За аналогічною формулою перераховуються x_D та x_W .

$$x_F = \frac{\frac{15}{46}}{\frac{15}{46} + \frac{100 - 15}{18}} = 6.4 \text{ моль}$$

$$x_D = \frac{\frac{96}{46}}{\frac{96}{46} + \frac{100 - 96}{18}} = 90.3 \text{ моль}$$

$$x_W = \frac{\frac{4}{46}}{\frac{4}{46} + \frac{100 - 4}{18}} = 1.6 \text{ моль}$$

Визначимо температурний режим роботи колони графічним способом за допомогою ізобарної діаграми.

За заданим складом компонентів знайдемо температуру кипіння вихідної суміші:

$$t_F = 84.9 \text{ при } x_F = 6.4 \%$$

$$t_D = 78 \text{ при } x_D = 90.3 \%$$

$$t_W = 97.6 \text{ при } x_W = 1.6 \%$$

Будуємо діаграму $y-x$, яка зображає графік залежності рівноважних концентрацій. Побудований графік зображено на рисунку 2.20

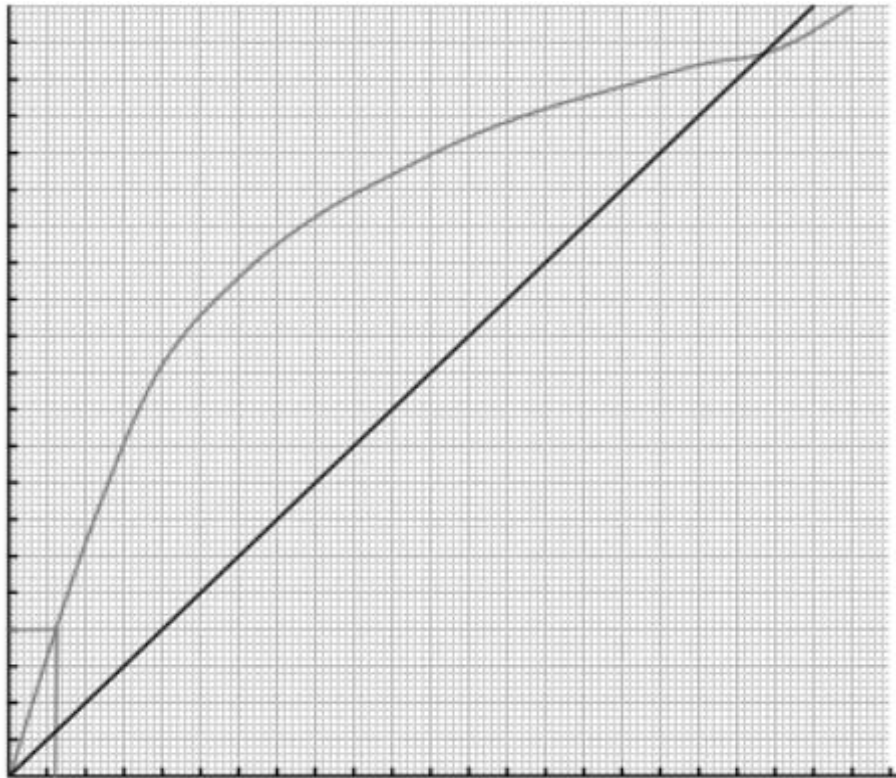


Рисунок 2.20 Графік залежності рівноважних концентрацій системи етанол-вода

Визначаємо величину y_F – склад пари, рівноважної складу вихідної суміші x_F

Мінімальне флегмове число розрахуємо за формулою:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_W}{y_W - x_W}$$

$$R_{\min} = \frac{0,9 - 0,14}{0,14 - 0,04} = 7,6$$

Мінімальне флегмове число для всього процесу визначаємо за формулою:

$$R_{\min} = \frac{x_D \cdot \lg \frac{x_F}{x_W} + a'(1 - x_D) \frac{1 - x_F}{1 - x_W}}{0,435(a' - 1)(x_F - x_W)}$$

Де a' - середня відносна леткість по колоні, яку розраховують за формулою:

$$a' = \frac{\sum \frac{P_{HK}}{P_{BK}}}{n}$$

Де P_{HK} та P_{BK} – це тиск насиченої пари низько- та високо- киплячого компонентів в інтервалі їх температур кипіння, n - кількість значень температур.

Тиск насиченої пари наведено в таблиці 2.16

Таблиця 2.16 Значення насиченої пари робочих речовин

Рідина	Тиск			
	t=70 °C	t=80°C	t=90°C	t=100°C
Етиловий спирт	546	812	1140	1950
Вода	233	355	525	760
$\frac{P_{НК}}{P_{БК}}$	2,34	2,29	2,17	2,56

$$a' = \frac{2,34 + 2,29 + 2,17 + 2,56}{4} = 2,34$$

$$R_{\min} = \frac{0,9 \cdot \lg \frac{0,015}{0,004} + 2,34 \cdot (1-0,9)^{\frac{1-0,015}{1-0,004}}}{0,435(2,34-1)0,015-0,004} = 11,3$$

Середнє розрахункове флегмове число

$$R_{cp} = \beta \cdot R_{\min}$$

$$\beta = 3$$

$$R_{cp} = 3 \cdot 11,3 = 33,9$$

Визначимо середній склад рідини в мольних частках:

$$x_{cp} = 0,5 \left(x_D \frac{x_F + x_W}{2} \right)$$

$$x_{cp} = 0,5 \left(0,9 \frac{0,15 + 0,04}{2} \right) = 0,043$$

Середній склад пари знайдемо з рівняння робочої лінії:

$$y_{cp} = \frac{R_{cp}}{R_{cp} + 1} x_{cp} + \frac{x_D}{R_{cp} + 1}$$

$$y_{cp} = \frac{33,9}{33,9 + 1} 0,043 + \frac{0,9}{33,9 + 1} = 0,067$$

Знайдемо густину пари за формулою:

$$p_n = \frac{M_{cp}}{22,4} \cdot \frac{T_0}{t_{cp}} + \frac{P}{P_0}$$

Де M_{cp} – середня мольна маса пари, t_{cp} – середня температура пари, T_0 – абсолютна температура, К, P_0 – атмосферний тиск, Па, P – тиск в колоні, Па.

t_{cp} знаходимо залежно від u_{cp} . M_{cp} знаходимо за формулою:

$$M_{cp} = M_{cn} * u_{cp} + M_B(1 - u_{cp})$$

$$M_{cp} = 46 * 0,067 + 18(1 - 0,067) = 19,876$$

$$t_{cp}=89,9$$

$$p_n = \frac{19,876}{22,4} * \frac{273}{273 + 89,9} + \frac{1 * 10^5}{1 * 10^5} = 1,67$$

Знайдемо густину суміші з формули:

$$\frac{1}{p_n} = \frac{x_{cp}}{p_c} + \frac{1 - x_{cp}}{p_B}$$

Де p_c та p_B – густина води та етилового спирту за температури 89.9

$$p_B = 962 \text{ кг/м}^3$$

$$p_c = 756 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{1}{p_n} = \frac{0,043}{962} + \frac{1 - 0,043}{756}$$

$$p_n = 763,02 \text{ кг/м}^3$$

Знайдемо витрати пари за формулою:

$$V_n = \frac{G_D(R_{cp} + 1) * t_{cp} * P_0}{p_n * T_0 * 3600 * P}$$

Де τ - тривалість операції, $\tau=3$ години

$$V_n = \frac{119,5 * (33,9 + 1) * (273 + 89,9) * 1 * 10^5}{0,763 * 273 * 3600 * 3 * 1 * 10^5} = 0,67 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Визначимо масову витрату пари за формулою:

$$G_n = \frac{V_n}{p_n} = 0,88 \text{ кг/с}$$

Визначимо витрату рідини, що стікає по колоні:

$$L = \frac{G_D * R_{cp}}{3600 * 3} = \frac{119.5 * 33.9}{3600 * 3} = 0.38 \text{ кг/с}$$

2.6.2 Тепловий розрахунок установки

$$Q_{\text{нагр}} = G_F * C_F(t_F - t_n) + Q_{\text{втр}}$$

Де t_n - початкова температура суміші, $t_n = 80$ C_F – теплоємність вихідної суміші при середній температурі t_{Fcp} .

$$t_{Fcp} = \frac{t_n + t_F}{2} = \frac{80 + 84.9}{2} = 82,45$$

$$C_F = x_F * C_c + (1 - x_F) * C_B$$

Де C_c – теплоємність етилового спирту, $C_c = 2,5$ Дж/моль*К, C_B – теплоємність води, $C_B=4,18$ кДж/кг*К

$$C_F = 0,15 * 2,5 + (1 - 0,15) * 4,18 = 3,928$$

Теплові втрати $Q_{\text{втр}}$ приймемо 3-5% від $Q_{\text{нагр}}$

$$Q_{\text{нагр}} = [1000 * 3,928(84,9 - 80)] = 3,88 * 10^4 = 3,99 * 10^4$$

Визначимо витрати тепла на процес перегонки

$$Q_{\text{пер}} = G_D(R_{cp} + 1) * [r_D + C_{cp}(t_{cp} - t_F)] + Q_{\text{втр}}$$

Де r_D – питома теплота пароутворення дистилляту, C_{cp} - середня теплоємність дистилляту, t_{cp} – середня температура пари, яка піднімається із куба в колону.

Знайдемо питому теплоту пароутворення дистиллят

$$r_D = x_D * r_c + (1 - x_D) * r_B$$

Де r_c – питома теплота пароутворення спирту, r_B – питома теплота пароутворення води при

$$t_D = 78 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$r_B = 2341 \text{ кДж/кг}$$

$$r_c = 850 \text{ кДж/кг}$$

$$r_D = 0,96 * 850 + (1 - 0,96) * 2341 = 909.64 \text{ кДж/кг}$$

Знайдемо середню теплоємність дистилляту

ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.049.КР.ПЗ

Інд. змін.

Дата видання
01.05.2025

Мова
ua

Аркуш
49/81

$$C_{cp} = C_c * x_D + C_b(1 - x_D)$$

$$C_{cp} = 2.5 * 0.96 + 4.18(1 - 0.96) = 2.57$$

Знайдемо середню температуру пари, що піднімається із куба в колону

$$t_{cp} = \frac{t_F + t_W}{2}$$

$$t_{cp} = \frac{84.9 + 97.6}{2} = 91.25^\circ\text{C}$$

$$Q_{пер} = 119.5(33.9 + 1) * [909.64 + 2.57(91.25 - 84.9)] + 0.11 = 3.86 * 10^6$$

Знайдемо витрати гріючої пари на перегонку

$$G_{г.п} = \frac{Q}{I_{г.п}} - I_K$$

де Q - загальна витрата тепла.

$$Q = Q_{нагр} + Q_{пер} = 3.99 * 10^4 + 3.86 * 10^6 = 3.89 * 10^6$$

I_{г.п} та I_к тепловміст гріючої пари та конденсату при

$$t_{г.п} = t_W + (15 \div 200) = 97.5 + 20 = 117.5^\circ\text{C}$$

$$I_{г.п.} = 2700 \text{ кДж/кг}$$

$$I_K = 493.46 \text{ кДж/кг}$$

$$G_{г.п} = 3.89 * 10^6 / 2700 - 493.46 = 1762.94 \text{ кг/опер}$$

Знайдемо Теплове навантаження дефлегматора

$$Q_d = G_D(R + 1) * r_D$$

$$Q_d = 119.5(33.9 + 1) * 909.64 = 3.79 * 10^7$$

Знайдемо теплове навантаження холодильника дистилляту

Визначимо Кількість тепла, що забирає охолоджуюча вода:

$$Q_D = G_D * C_D(t_D + t_{Dк})$$

Де C_D- теплоємність дистилляту при

$$t_{Dcp} = \frac{t_D + t_{Dк}}{2} = \frac{78 + 25}{2} = 51.5^\circ\text{C}$$

$$C_D = \bar{x}_D * C_c + (1 - \bar{x}_D) * C_b$$

$$C_D = 0,96 * 2,5 + (1 - 0,96) * 4,18 = 2,57$$

$$Q_D = 119,5 * 2,57(78 - 25) = 1,63 * 10^4$$

Знайдемо теплове навантаження холодильника кубового залишку

Визначимо кількість тепла, що забирає охолоджуюча вода:

$$Q_W = G_W * C_W(t_W + t_{WK})$$

Де C_D - теплоємність дистилляту при

$$t_{wcp} = \frac{t_W + t_{WK}}{2} = \frac{97.6 + 25}{2} = 61.3$$

$$C_W = \bar{x}_W * C_c + (1 - \bar{x}_D) * C_B$$

$$C_W = 0,04 * 2,5 + (1 - 0.04) * 4,18 = 4.11$$

$$Q_W = 880.5 * 4.11(97.6 - 25) = 2.63 * 10^5$$

Знайдемо витрати охолоджуючої води в дефлегматорі

$$Q_D = Q_B \text{ або}$$

$$Q_D = G_{B1} * C_B(t_{BK} - t_{BП})$$

Звідки знайдемо витрати води:

$$G_{B1} = \frac{Q_D}{C_B(t_{BK} - t_{BП})}$$

t_{BK} та $t_{BП}$ – кінцева та початкова температура води, які приймемо за 45 °С та 20 °С відповідно.

$$G_{B1} = \frac{3.79 * 10^7}{4,18(45 - 20)} = 3,62 * 10^5$$

Знайдемо витрату охолоджуючої води в холодильнику дистилляту.

$$Q_D = G_{B2} * C_B(t_{BK} - t_{BП})$$

Звідки знайдемо витрати води:

$$G_{B2} = \frac{Q_D}{C_B(t_{BK} - t_{BП})}$$

t_{BK} та $t_{BП}$ – кінцева та початкова температура води, які приймемо за 45 °С та 20 °С відповідно.

$$G_{B2} = \frac{1,63 * 10^4}{4,18(45 - 20)} = 1569$$

Знайдемо витрати охолоджуючої води в холодильнику кубового залишку

$$Q_W = G_{B3} * C_B(t_{BK} - t_{BP})$$

Звідки знайдемо витрати води:

$$G_{B3} = \frac{Q_W}{C_B(t_{BK} - t_{BP})}$$

t_{BK} та t_{BP} – кінцева та початкова температура води, які приймемо за 45 °С та 20 °С відповідно.

$$G_{B3} = \frac{2.63 * 10^5}{4,18(45 - 20)} = 2516.75$$

2.6.3 Конструктивний розрахунок апарату

Знайдемо діаметр колони з виразу:

$$D = \sqrt{\frac{4 * V_n}{\pi * \omega}}$$

Де ω – фіктивна швидкість пари, яка розраховується рівнянням:

$$\lg\left(\frac{\omega_3^2 * \sigma * p_n * \mu_D^{0.16}}{g * V_B^3 * p_D}\right) = -0.125 - 1.75\left(\frac{L}{G}\right)^{\frac{1}{4}} * \left(\frac{p_n}{p_D}\right)^{\frac{1}{8}}$$

Де ω_3 – швидкість захлинання насадки, σ – питома поверхня насадки, V_B – вільний об'єм насадки, μ_D – в'язкість рідини.

$$\lg\mu_D = x_{cp} * \lg\mu_{cn} + (1 + x_{cp})\lg\mu_B$$

μ_{cn} – в'язкість спирту при 91.25, $\mu_{cn} = 0,87$ мПа * с, μ_B – в'язкість води при 91.25, $\mu_B = 0,305$ мПа * с

$$\lg\mu_D = 0.043 * \lg 0,87 + (1 + 0.043)\lg 0,305$$

Звідси $\mu_D = 0,285$ мПа * с

L – витрати рідини по колоні, G – витрати пари по колоні

$$\lg\left(\frac{\omega_3^2 * 140 * 1,67 * 0,285^{0,16}}{9,8 * 0,78^3 * 763,02}\right) = -0,125 - 1,75\left(\frac{0,38}{0,88}\right)^{\frac{1}{4}} * \left(\frac{0,285}{763,02}\right)^{\frac{1}{8}}$$

Звідки $\omega_3 = 4,11$

Робочу швидкість знайдемо за формулою

$$\omega = (0,75 \div 0,9) * \omega_3$$

$$\omega = 0,75 * 4,11 = 3,08 \text{ м/с}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,67}{\pi * 3,08}} = 0,53 \text{ м}$$

Знайдемо загальну висоту колони

$$H = H_{\text{нас}} + h_1 + h_2$$

Де $H_{\text{нас}}$ - висота насадкової частини колони.

h_1 – відстань від верхнього шару насадки до кришки, $h_1 \approx D = 0,53 \text{ м}$

h_2 - відстань від нижнього шару насадки до дна. $h_2 = (1,1 \div 1,5) * D = 1,1 * 0,53 = 0,583 \text{ м}$

$$H_{\text{нас}} = h_e * n_m$$

Де h_e – еквівалентна висота насадки, м, n_m – теоретичне число тарілок, визначене графічно.

Знайдемо еквівалентну висоту насадки:

$$\frac{h_e}{d_e} = 5,2 * Re_n^{0,2} \left(\frac{G}{L}\right)^{0,35} \left(\frac{\rho_D}{\rho_n}\right)^{0,2} \frac{\lg \frac{L}{m * G}}{1 - m \frac{G}{L}}$$

Де m - середній тангенс кута нахилу дотичної до рівноважної лінії, $m = 1,07$
 d_e - еквівалентний діаметр насадки, який розраховується за формулою

$$d_e = \frac{4 * V_B}{\sigma}$$

$$d_e = \frac{4 * 0,78}{140} = 0,022 \text{ м}$$

Re_n - критерій Рейнольдса для потоку пари, який знаходиться за формулою:

$$Re_n = \frac{4 * \omega * \rho_n}{\mu_n}$$

μ_n - в'язкість пари, яку знаходимо з виразу:

$$\frac{M_n}{\mu_n} = \frac{y_{cp} * M_{cn}}{\mu_{cn}} + \frac{(1 - y_{cp}) * M_B}{\mu_B}$$

Де M_n – мольна маса пари, $M_n = M_D = 31.27$ кг/моль

μ_{cn}, μ_B – коефіцієнти динамічної в'язкості спирту та води при

$$t_{cp} = 91.25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_{cn} = 0,003 * 10^{-3} \quad \mu_B = 0,013 * 10^{-3}$$

$$\frac{31.27}{\mu_n} = \frac{0,067 * 31.27}{0,003 * 10^{-3}} + \frac{(1 - 0,067) * 18}{0,013 * 10^{-3}}$$

$$\mu_n = 0,016 * 10^{-3}$$

$$Re_n = \frac{4 * 3,08 * 0,763}{140 * 0,016 * 10^{-3}} = 4196,5$$

$$\frac{h_e}{0.022} = 5.2 * 4196,5^{0,2} \left(\frac{0,88}{0,38}\right)^{0,35} \left(\frac{763,02}{0,285}\right)^{0,2} \frac{\lg \frac{0,38}{1,07 * 0,88}}{1 - 1,07 \frac{0,88}{0,38}}$$

$$h_e = 1,05 \text{ м}$$

Знайдемо число теоретичних тарілок

На побудованій кривій рівноваги (рис. 2.21) проведено лінію рівних концентрацій. Будуємо ламану лінію в межах від x_D до x_W . Число теоретичних тарілок $n_m = 5$

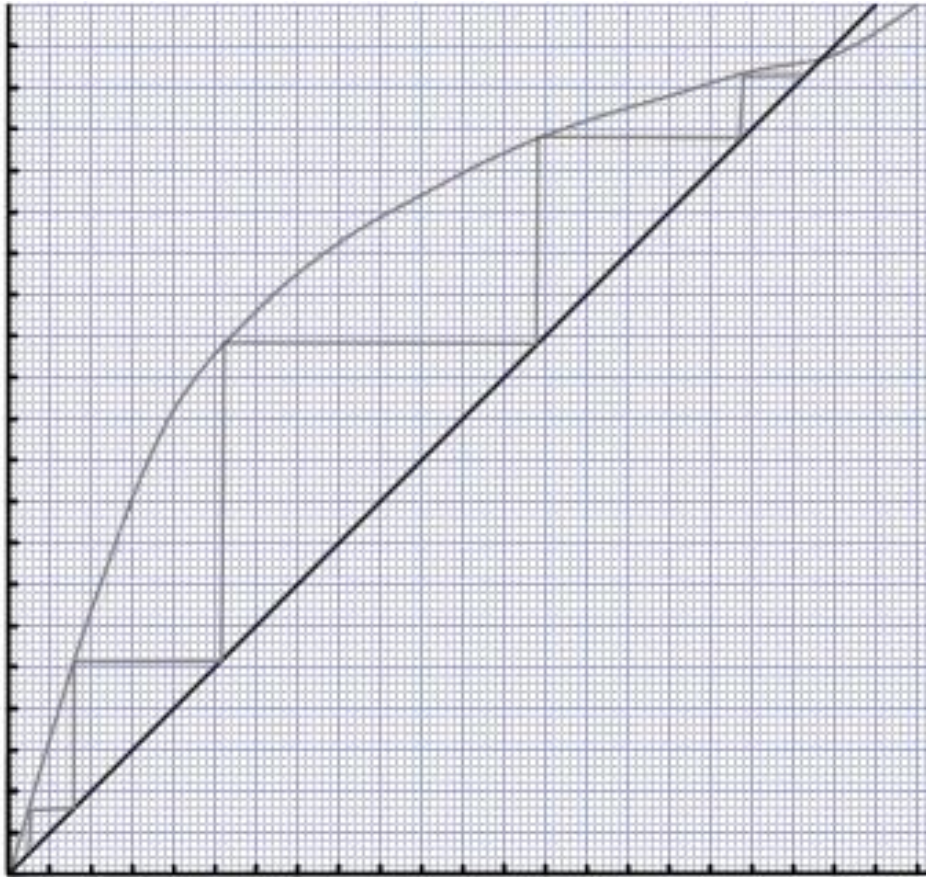


Рисунок. 2.21 Графічне визначення кількості теоретичних тарілок

Визначимо висоту суцільного шару насадки.

$$H_{\text{нас}} = h_e * n_m = 1,05 * 5 = 5,25 \text{ м}$$

Для забезпечення змочуваності насадки, розбиваємо її на шари за співвідношенням:

$$\frac{H_{\text{нас}}}{D} \leq (2 \div 4)$$

Висота одного шару насадки складатиме:

$$h_n = D * 3.5 = 0.53 * 3.5 = 1.855 \text{ м}$$

Визначимо кількість шарів:

$$n_{\text{ш}} = \frac{H_{\text{нас}}}{h_n} = \frac{5,25}{1,855} = 2,83$$

Висота перерозподільної зони між шарами насадки приймається за $h=0.5$

Висота насадкової частини колони:

$$H_{\text{нас}} = n_{\text{ш}} * h_n + 0.5 = 2,83 * 1,855 + 0,5 = 5,75 \text{ м}$$

Визначимо загальну висоту колони з урахуванням висоти насадки, перерозподільної зони і відстані до кришки та дна.

$$H=5,75 +0.53+0.583=6,863 \text{ м}$$

Розрахуємо діаметри патрубків, які використовуються для підводу-виводу матеріальних потоків.

Діаметр патрубка входу пари в колону:

$$d_{\text{вх.п}} = \sqrt{\frac{4 * V_n}{\pi * \omega}}$$

ω для пари - $8 \div 30$ м/с

$$d_{\text{вх.п}} = \sqrt{\frac{4 * 0,67}{\pi * 30}} = 0,17 \text{ м}$$

Патрубок виходу пари із колони приймаємо такого ж діаметру, що і патрубок входу.

Патрубок подачі флегми в колону розрахуємо за формулою

$$d_{\phi} = \sqrt{\frac{4 * L}{\pi * \omega * \rho_{\text{ср}}}}$$

ω флегми приймаємо за 1.5 м/с.

$$\frac{1}{\rho_{\text{ср}}} = \frac{\bar{x}_D}{\rho_{\text{сп}}} + \frac{1 - \bar{x}_D}{\rho_{\text{в}}}$$
$$\frac{1}{\rho_{\text{ср}}} = \frac{0,96}{756} + \frac{1 - 0,96}{962}$$
$$\rho_{\text{ср}} = 762,5 \text{ г/см}^3$$

$$d_{\phi} = \sqrt{\frac{4 * 0,38}{\pi * 1,5 * 762,5}} = 0,020 \text{ м}$$

Розрахуємо патрубок виходу кубового залишку.

$$d_W = \sqrt{\frac{4 * G_W}{\pi * \omega * \rho_{\text{ср}}}}$$

ω кубового залишку приймаємо за 1.5 м/с.

$$\frac{1}{\rho_w} = \frac{\bar{x}_w}{\rho_{cn}} + \frac{1 - \bar{x}_w}{\rho_B}$$
$$\frac{1}{\rho_w} = \frac{0.04}{756} + \frac{1 - 0.04}{962}$$

$$\rho_w = 951.6$$

$$d_w = \sqrt{\frac{4 * 0,081}{\pi * 1,5 * 951.6}} = 0,008 \text{ м}$$

Прийmemo $d_w = 20 \text{ мм}$

На рисунку 2.22 зображено загальний вигляд ректифікаційної колони.

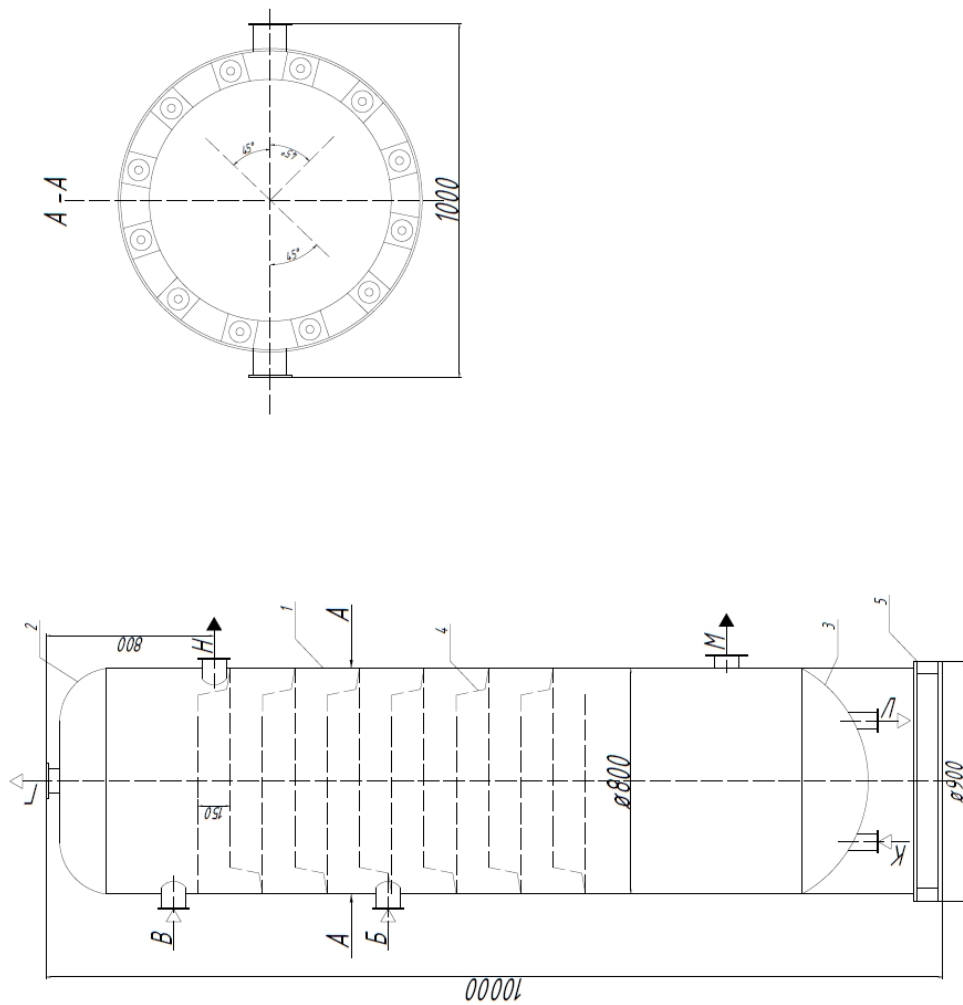


Рис.2.22 Загальний вигляд ректифікаційної колони

2.9.4 Гідрравлічний розрахунок

Для руху пари із куба через колону необхідно забезпечити надлишковий тиск, який повинен перевищувати опір насадки.

Для визначення опору зрошуваної насадки використовуємо рівняння: [22]

$$\Delta P_{зр} = (1 + KU) * \Delta P_c$$

Де ΔP_c – опір сухої насадки, Па

K – дослідний коефіцієнт, для неупорядкованих насадок K=0.06

U – об'ємна густина зрошення, м³/м²*год.

Визначимо опір сухої насадки:

$$\Delta P_c = \lambda \frac{H_{нас}}{d_e} * \frac{\rho_n * \omega^2}{2}$$

Де λ – коефіцієнт опору, який для неупорядкованої насадки при Re>40 визначається за виразом:

$$\lambda = \frac{16}{Re^{0.2}}$$

$$\lambda = \frac{16}{4196,5^{0.2}} = 3.02$$

ω – дійсна швидкість пари через насадку, м/с

$$\omega = \frac{\omega_0}{V_B} =$$

$$\omega = \frac{3.08}{0,78} = 3,95 \text{ м/с}$$

$$\Delta P_c = 3.02 \frac{5,75}{0,022} * \frac{0,763 * 3,95^2}{2} = 4698 \text{ Па}$$

Визначимо об'ємну густина зрошення

$$U = \frac{L}{\rho_n * S}$$

S – площа поперечного перерізу колони.

$$S = 0,785 * D^2$$

$$S = 0,785 * 0,53^2 = 0,22 \text{ м}^2$$

$$U = \frac{0,38 * 3600}{763,02 * 0,22} = 8,15 \text{ м}^3/\text{м}^2 * \text{год}$$

$$\Delta P_{зр} = (1 + 0,06 * 8,15) * 4698 = 6995 \text{ Па}$$

РОЗДІЛ III. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Собівартість продукції – це виражені в грошовій формі сукупні витрати на підготовку та випуск продукції.

У повну собівартість крім виробничих витрат входять також адміністративні витрати, витрати на збут та операційні витрати.

Дохід підприємства – це сумарні надходження, які отримає підприємство в результаті продажу цільового продукту.

Рентабельність – це показник ефективності використання ресурсів підприємства [23].

Розрахунок доходу базується на вартості 1 кг етилового спирту. Вартість технічного етанолу становить в середньому 120 грн/кг. Щоденна кількість виробленого етилену – 1000 кг.

Дохід від такого виробництва буде становити 120 000 грн на добу.

Для виробництва етилового спирту необхідна сировина: етилен, та водяна пара.

В таблиці 4.1 наведено витрати на сировину

Таблиця 4.1 Витрати на сировину

Назва сировини	Кількість сировини, кг	Вартість за кілограм, грн	Загальна вартість, грн
Етилен	661	82	54 202
Водяна пара	800	20	16 000
Всього:			70 202

Витрати на заробітні плати

Всього на виробничій лінії працює 8 працівників, на кожен етап для контролю процесу виробництва: стиснення, змішування, нагрівання, синтезу,

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ткач Я.М	РОЗДІЛ III ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.060.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 60/81

конденсації, сепарації, ректифікації та пакування [23].

Заробітна плата кожного працівника становить 25 000 грн на місяць. Загальна сума заробітних плат працівників становить 200 000 грн на місяць. Якщо врахувати що виробництво працює 20 днів на місяць, витрати заробітної плати на 1 день будуть становити 10 000 грн.

$$V_{\text{заробітня плата}} = \frac{200\,000}{20} = 10\,000 \text{ грн}$$

Витрати на податки

На підприємстві встановлено кілька податків: ЄСВ, єдиний податок та військовий збір.

ЄСВ становить 22% від мінімальної заробітної плати, що в 2024 році складає 1760 грн на одного працівника. Загальна сума ЄСВ для 8 працівників на місяць дорівнює 14 080 грн. Якщо врахувати що виробництво працює 20 днів на місяць, витрати на податки на 1 день будуть становити 792 грн [23].

$$\text{ЄСВ} = \frac{14\,080}{20} = 704 \text{ грн}$$

Єдиний податок становить 5% від доходу. Ця сума складає 6000 грн.

$$\text{Єдиний податок} = 120000 * 5\% = 6000 \text{ грн}$$

Військовий збір становить 1.5% від доходу. Ця сума складає 1800 грн.

$$\text{Військовий збір} = 120000 * 1.5\% = 1800$$

Загальна сума податків, що підлягає сплаті за день дорівнює 8592 грн.

$$V_{\text{податки}} = 6000 + 1800 + 704 = 8504 \text{ грн}$$

Витрати на пакування

Якщо етиловий спирт фасується у харчові каністри об'ємом 10 л, це означає що в одній каністрі буде 8 кг спирту. Всього з 1000 кг готового продукту вийде 125 каністр.

Ціна однієї каністри складає 90 грн.

$$V_{\text{пакування}} = 125 * 90 = 11\,250 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію та комунальні послуги

Витрати на електроенергію та комунальні послуги для виробництва

етанолу будуть становити 3800 грн на день. Ці витрати включають в себе витрати на електроенергію для роботи апаратів, насосів та компресорів, а також, водопостачання та будуть зростати у зимовий період

Загальні витрати

Підсумовуючи витрати на сировину, заробітну плату, податки, комунальні послуги та пакування, загальна сума витрат буде становити 103 756 грн.

$$V_{\text{загальні}} = 70\,202 + 10\,000 + 8\,504 + 11\,250 + 3\,800 = 103\,756 \text{ грн}$$

Прибутковість

Прибуток виробництва етанолу буде становити 16 244 грн за добу

$$\text{Прибуток} = 120\,000 - 103\,756 = 16\,244 \text{ грн}$$

Рентабельність розраховується за формулою:

$$\text{Рентабельність} = \frac{\text{Прибуток}}{\text{Дохід}} * 100 = \frac{16\,244}{120\,000} * 100 = 13.5\%$$

Розрахуємо основні засоби виробництва (табл. 4.2)

Таблиця 4.2 Вартість основного обладнання

Найменування обладнання	Кількість	Ціна за одиницю	Загальна вартість, грн
Компресор	3	17 000 грн	51 000
Змішувач газів	1	\$ 1010	42 000
Теплообмінник кожухотрубний	2	\$ 8000	664 525
Сепаратор	1	\$ 350	14 536
Ректифікаційна колона	1	\$ 30 000	1 245 985
Всього			2 018 046

Термін служби обладнання приймаємо як 10 років.

Метод нараховування амортизації – прямолінійний.

Загальна вартість основного обладнання становить 2 018 046 грн
Ліквідаційну вартість основного обладнання приймемо за 0 грн.
Річна амортизація [23]:

$$A_p = \frac{B_{\text{обладнання}}}{\text{Термін служби}}$$

$$A_p = \frac{2\,018\,046}{10} = 201\,804.6 \text{ грн}$$

РОЗДІЛ IV. ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Готова продукція зберігається в спеціально обладнаних для цього чистих цистернах чи баках. Термінів придатності для етилового спирту не передбачено [24].

Цистерни та баки повинні герметично закриватися кришками, ємності розташовані поза приміщеннями мають бути запломбовані.

Для проведення досліджень у заводській лабораторії з лінії розливу відбирають пляшки загальним об'ємом не менше ніж 2 дм³ від кожної партії.

1 дм³ витрачають на органолептичні та фізико-хімічні дослідження, решту спирту зберігаються в лабораторії не менше двох місяців як контрольний зразок [24].

Контроль органолептичних показників здійснюють згідно таблиці 5.1

Таблиця 5.1 Органолептичні показники етилового спирту

Назва показника	Характеристика
Зовнішній вигляд	Прозора рідина без сторонніх часток та осаду
Колір	Безбарвна рідина
Смак і запах	Характерний для етилового спирту, без присмаку та запаху сторонніх речовин

Чистоту етилового спирту визначають реакцією окислення сторонніх домішок концентрованою сірчаною кислотою [24].

10 см³ спирту поміщають в мірну колбу ємністю 50 см³, і в три заходи при постійному перемішуванні додають 10 см³ сірчаної кислоти. Отриману суміш нагрівають на електроплитці доти, доки не з'являться бульбашки та не утворюється піна. Процес має тривати близько 30-40 секунд.

Вміст колби охолоджують, переливають в пробірку та порівнюють колір суміші з кольором спирту, а потім з кольором сірчаної кислоти [24].

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ткач Я.М.	РОЗДІЛ IV ЯКІСТЬ І БЕЗПЕКА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.064.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 64/81

Результат аналізу вважають позитивним, якщо колір суміші співпадає з кольором аналізованого спирту та сірчаної кислоти [24].

Визначення окислюваності спирту засновано на візуальному порівнянні інтенсивності забарвлення розчину, отриманого після реакції окислення сторонній органічних домішок у спирті розчином марганцевокислого калію.

Для окиснення органічних сумішей використовують робочий розчин марганцевокислого калію концентрацією 0.2 г/100 см³ [24].

Аналіз проводять у двох паралельних пробах. Спирт наливають в циліндр об'ємом 50 см³ до мітки, який до цього промили спиртом. Циліндр зі спиртом занурюють у водяну баню з розрахунком, щоб рівень води перевищував рівень спирта у циліндрі, і витримують протягом 10 хвилин [24].

Потім до спирту додають 1 см³ робочого розчину марганцевокислого калію, закривають циліндр та перемішують вміст. Вмикають секундомір.

Циліндр знову занурюють у водяну баню температурою 20 °С і витримують доти, доки червоно-фіолетова суміш не стане кольору типового розчину. Після цього циліндр виймають і візуально порівнюють вигляд аналізованого спирту з кольором типового розчину [24].

Визначення масової концентрації альдегідів відбувається газохроматографічним методом, або фотоелектроколориметричним методом, який базується на вимірювання інтенсивності забарвлення присутніх у спирті альдегідів з резорцином у сильноокислому середовищі [24].

Визначення масової концентрації естерів можуть проводити газохроматографічним методом або фотоелектроколориметричним методом, заснованим на вимірюванні інтенсивності забарвлення продуктів реакції заліза (III) хлориду з гідроксамовою кислотою.

Визначення об'ємної частки метилового спирту проводять газохроматографічним методом або фотоелектроколориметричним методом, який заснований на окисненні метилового спирту в середовищі ортофосфатної кислоти марганцевокислим калієм до формальдегіду [24].

Визначення масової концентрації вільних кислот базується на визначені масової концентрації вільних кислот за кількістю розчину NaOH, який витратили на титрування.

У таблиці 5.2 наведені значення для проведених аналізів етилового спирту.

Таблиця 5.2 Показники якості етилового спирту

Найменування показника	Значення
Об'ємна частка етилового спирту, за температури 20 °С, %, не менше	96,0
Проба на чистоту з сірчаною кислотою	витримує
Проба на окислюваність за температури 20 °С хв, не менше	15
Масова концентрація альдегідів, у перерахунку на оцтовий альдегід в безводному спирті, мг/дм ³ , не більше	4,0
Масова концентрація естерів, у перерахунку на оцтовоетиловий естер в безводному спирті, мг/дм ³ , не більше	5,0
Об'ємна частка метилового спирту в перерахунку на безводний спирт %, не більше	0,03
Масова концентрація вільних кислот (без CO ₂), у перерахунку на оцтову кислоту в безводному спирті, мг/дм ³ , не більше	15,0
Масова концентрація сухого залишку, мг/дм ³ , не більше	10,0

РОЗДІЛ V. ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Загальні вимоги до охорони праці

Загальні вимоги до охорони праці ід час виробництва етанолу включають:

- Усі будівлі, споруди, транспортні, енергетичні та інші інженерні комунікації, розміщені на території підприємства, згідно із Законом України "Про охорону праці" повинні відповідати затвердженій проектній документації.
- Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів здійснюється відповідно до вимог Порядку прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів.
- На підприємствах розробляють ПЛАС відповідно до Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій.
- Роботодавець повинен одержати дозвіл на початок виконання робіт підвищеної небезпеки та початок експлуатації (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки [25].
- Відповідно до Переліку робіт з підвищеною небезпекою, роботодавцем розробляється і затверджується відповідний перелік робіт з підвищеною небезпекою, для проведення яких працівникам необхідно пройти спеціальне навчання і щорічну перевірку знань з питань охорони праці.
- Небезпечні фактори (речовини, матеріали), що використовуються на підприємстві, повинні бути зареєстрованими відповідно до Положення про гігієнічну регламентацію та державну реєстрацію небезпечних факторів [25]
- Використання у складі виробничого обладнання та/або КВПіА джерел іонізуючого випромінювання має здійснюватись за умови наявності ліцензії на провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання, з дотриманням Вимог та умов безпеки (ліцензійні умови)

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ткач Я.М	РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.067.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 67/81

провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання.

- Усі види виробничого обладнання та/або КВПіА, які містять джерела іонізуючого випромінювання, мають відповідати вимогам постанови головного державного санітарного лікаря України від 01.12.97 N 62 "Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)", Основних санітарних правил забезпечення радіаційної безпеки України [25].

- Навчання і перевірка знань з питань охорони праці здійснюються відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

- Під час залучення до робіт неповнолітніх та жінок необхідно дотримуватися вимог нормативно-правових актів, зокрема Переліку важких робіт і робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх, Переліку важких робіт та робіт із шкідливими і небезпечними умовами праці, вимог Граничних норм підіймання і переміщення важких речей неповнолітніми, Граничних норм підіймання і переміщення важких речей жінками.

- Розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на виробництві повинні здійснюватися згідно з Порядком розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві [25].

- До роботи з виготовлення синтетичного етилового спирту допускаються працівники, які пройшли медичний огляд згідно з Порядком проведення медичних оглядів працівників певних категорій.

- Працівників виробництв з виготовлення синтетичного етилового спирту на роботах зі шкідливими та небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або здійснюваних у несприятливих температурних умовах, треба забезпечувати спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими ЗІЗ згідно з Нормами безплатної видачі спеціального одягу,

спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам хімічних виробництв [25].

- У виробничих приміщеннях або назовні, де можливі загоряння одягу або хімічні опіки під час роботи з кислотами, має бути встановлено аварійні душові й раковини самопомоги або ванни з водою й раковини самопомоги. Аварійні душові, ванни та раковини самопомоги підключають до питного водопроводу й встановлюють у легкодоступних місцях на відстані не більше ніж 25 м від можливих осередків ураження. Душ має автоматично спрацьовувати в разі ступання працівника на площадку під душовим ріжком [25].

5.2 Вимоги під час технологічного процесу виготовлення синтетичного спирту

При проектуванні нових і реконструкції діючих виробництв з виготовлення синтетичного етилового спирту необхідно передбачати створення потокових ліній, автоматизацію і механізацію виробничих процесів та транспортування сировини [25].

Під час виготовлення синтетичного етилового спирту на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що за певних умов можуть викликати професійне захворювання, тимчасове або стійке зниження працездатності, підвищити частоту соматичних та інфекційних захворювань.

Показники мікроклімату в межах робочої зони виробничих приміщень під час виробництва синтетичного етилового спирту повинні відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень [25].

Граничне значення температури гарячих поверхонь, доступних для дотику, технологічного обладнання та машин не повинно перевищувати 43° С згідно з вимогами ДСТУ EN 563-2001 "Безпечність машин. Температура поверхонь, доступних для дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури гарячих поверхонь" та Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж.

Для виробництва синтетичного етилового спирту, яке діє або вперше

вводиться в експлуатацію, повинно бути розроблено та затверджено технологічні регламенти у порядку, передбаченому чинними НД [25] .

Системи контролю технологічних процесів, автоматичного, автоматизованого і дистанційного управління (системи управління), системи ПАЗ, а також зв'язку і оповіщення про аварійні ситуації (системи зв'язку і оповіщення), в тому числі поставлені у комплекті з обладнанням, повинні відповідати вимогам цих Правил, чинних НД, проектам, регламентам та забезпечувати задану точність підтримання технологічних параметрів, надійність і безпечність проведення технологічних процесів [25].

Технологічні процеси із застосуванням горючих продуктів (газоподібних, рідких, твердих), які здатні створювати вибухонебезпечні суміші з повітрям, повинні проводитися в герметичному технологічному обладнанні, яке виключає можливість утворення небезпечних концентрацій цих речовин у навколишньому середовищі в будь-якому режимі роботи. Такі технологічні процеси повинні бути оснащені [25]:

- системами автоматичного або автоматизованого регулювання;
- засобами контролю параметрів, значення яких визначають вибухонебезпечність процесу;
- ефективними швидкодіючими системами приведення технологічних параметрів до регламентованих значень або зупинки технологічного процесу.

Для технологічних процесів із застосуванням вибухопожежонебезпечних продуктів повинні бути передбачені системи аварійного спорожнювання, які комплектуються швидкодіючими запірними пристроями.

Для аварійного спорожнювання технологічного обладнання від продуктів необхідно використовувати обладнання технологічних установок або спеціальні системи аварійного спорожнювання [25].

Спеціальні системи аварійного спорожнювання повинні:

- знаходитися в постійній готовності;
- виключати можливість утворення вибухопожежонебезпечних

сумішей, а також розвитку аварій;

- забезпечувати мінімально можливу тривалість спорожнювання;
- оснащуватися засобами контролю і управління.

Дані системи заборонено використовувати в інших цілях [25].

Місткість цієї системи розраховують відповідно до кількості горючих продуктів, яку визначають умовами безпечної зупинки технологічного процесу.

ГР треба направляти до закритих систем подальшої утилізації або до системи організованого спалення.

Необхідність застосування та тип систем пожежогасіння вибухопожежонебезпечних об'єктів визначає проектна організація згідно з Переліком однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації [25].

Під час експлуатації технологічного устаткування виробництва синтетичного етилового спирту, а також експлуатації, зберігання і транспортування балонів із стисненими газами слід дотримуватися вимог Технічного регламенту з підтвердження відповідності безпеки обладнання, що працює під тиском [25].

Організація виробничих процесів, пов'язаних із застосуванням шкідливих і токсичних речовин, і використовуване при цьому устаткування повинні виключати можливість контактів працівників із цими речовинами в процесі обслуговування устаткування та під час виробничих процесів і операцій.

Виробничі процеси, пов'язані із застосуванням або утворенням шкідливих і токсичних речовин, необхідно проводити в герметично закритій апаратурі або під вакуумом переважно потоковим безперервно замкнутим циклом з автоматизацією окремих операцій. Рідини і суспензії повинні переміщуватися трубопроводом. Окремі процеси (злив продукції, вивантаження і завантаження твердих і пастоподібних речовин), які на цій технологічній операції не можуть бути герметизовані, повинні бути механізовані з повним усуненням ручних операцій [25].

Виробничі приміщення повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією. Місця виділення токсичних речовин у вигляді пари, газу або пилу необхідно обладнувати вкриттям з відсмоктувачами місцевої витяжної вентиляції [25].

Виробничі приміщення, в яких періодично або раптово можуть створюватися небезпечні концентрації шкідливих речовин, повинні розміщуватися в будинках з достатньою кількістю виходів назовні (аварійні спеціальні виходи) і обладнуватися аварійною вентиляцією.

Устаткування, що використовується для виробництва особливо токсичних речовин, необхідно розміщувати в боксах з керуванням процесами з пультів керування, розташованих в окремому приміщенні. У цьому випадку в приміщення, де розміщені пульти і органи керування процесами, треба подавати чисте повітря в обсязі, який забезпечує повітрообмін [25].

5.3 Охорона навколишнього середовища

Автоматизація виробництв має передбачати влаштування аварійної, попереджувальної і технологічної сигналізації та блокування, а також захисні заходи в разі досягнення граничнодопустимих значень технологічних параметрів і аварійного відключення технологічного устаткування [25].

Етилен, який подається на гідратацію, необхідно попередньо очищувати від ацетилену, щоб уникнути утворення ацетиленідів міді.

У системах гідратації необхідно передбачати встановлення запірної арматури з дистанційним керуванням, яка відсікає на трубопроводах:

- подавання пари для підігрівання етилену перед надходженням його до реактора;
- подавання пари високого тиску для змішування її з етиленом (безпосередньо перед трійником);
- аварійне скидання циркуляційного газу через свічу до атмосфери;
- аварійне випускання пари високого тиску до атмосфери.

Шкідливі і токсичні речовини, утворені під час технологічного процесу,

має бути очищено перед викидом їх у атмосферу [25].

Етилен з реакторів і систем трубопроводів при зупиненні цеху на ремонт необхідно направляти до цехів газорозподілення або до компресорної станції для пірогазу. Залишковий газ направляють до факельної системи.

Після ремонту й наступного запускання системи для перевірки азотом щільності агрегатів гідратації треба передбачати азотні компресори.

За наявності резервного компресора запас інертного газу може зберігатися в газгольдерах низького тиску.

Вимоги до чистоти, вологості, вмісту кисню у застосовному інертному газі встановлює організація - розробник технологічного процесу [25].

Запас стисненого інертного газу в ресиверах для передавлювання пожежо- і вибухонебезпечних середовищ, створення інертних подушок, гасіння вакууму, випробовування устаткування повинен визначатися з потреби в інертному газі та забезпечувати не менше ніж одногодинну потребу.

Для аварійного випускання в атмосферу пари високого тиску на трубопроводі необхідно передбачити редукційно-охолоджувальну установку, яка включається автоматично [25].

Апарати, в яких за повного заповнення рідинами не виключено можливість підвищення тиску внаслідок хімічних реакцій, обігріву, сонячної радіації, треба обладнувати запобіжними пристроями.

Скидання горючих і шкідливих газів, пари від робочих запобіжних клапанів повинно здійснюватися в закриту систему або до факельної системи. У виняткових випадках, а також на діючих підприємствах при технічній неможливості виконання цієї вимоги допускається скидання на свічу в атмосферу.

При скиданні горючих і шкідливих газів, пари на факельне спалювання на апаратах і агрегатах треба передбачити встановлення резервного запобіжного клапана [25].

Для ревізії, перевірки або заміни запобіжних клапанів до й після

резервного і робочого клапанів треба встановлювати арматуру відключення із блокувальним пристроєм, що не допускає одночасного закривання запірних арматур на робочому й резервному клапанах [25].

У разі встановлення на апараті декількох робочих запобіжних клапанів перемикальний пристрій з арматурою дозволяється розміщувати між робочою й резервною групами запобіжних клапанів.

Для вловлювання рідини з газів, пари, що скидаються від запобіжних клапанів на факельне спалювання або на свічу в атмосферу, в кожному цеху, на складі, загальному колекторі повинен установлюватися віддільник рідини (сепаратор).

Загальний колектор газів, пари, що відходять від запобіжних клапанів до й після сепаратора, повинен прокладатися з ухилом у бік віддільника рідини (сепаратора) [25].

На початку колектора від запобіжних клапанів на свічу в атмосферу слід передбачати подачу азоту.

При скиданні газів, пари, що відходять від контрольних запобіжних клапанів, необхідно передбачати запірну арматуру для відключення колектора цеху від факельної системи. При цьому її треба встановлювати штурвалом долілиць, пломбувати у відкритому стані з відповідним записом у журналі.

Рідину з сепаратора видаляють насосом. Для її видалення з системи скидання газів і пари від робочих запобіжних клапанів на факельне спалювання або на свічу в атмосферу треба передбачати резервний насос [25].

Для видалення рідини з сепаратора системи скидання газів, пари на факельне спалювання від контрольних запобіжних клапанів передбачають тільки робочий насос.

Установлення запобіжних клапанів на апаратах з горючими й шкідливими газами, парою повинно унеможливити збирання конденсату за запобіжним клапаном. Трубопроводи, які відводять гази від запобіжних клапанів, повинні підключатися до верхньої частини загального колектора [25].

У виняткових випадках, за неможливості встановлення запобіжного клапана вище колектора допускається прокладання відвідного трубопроводу від запобіжного клапана з підйомом до загального колектора й підключенням до верхньої його частини, при цьому в нижній точці відвідного трубопроводу повинен бути передбачений стаціонарний дренаж рідини без запірної арматури.

Площа перерізу колектора, який відводить газу, пару від декількох запобіжних клапанів, повинна прийматися [25]:

- від запобіжних клапанів, встановлених на одному апараті й розрахованих на одночасну паралельну роботу, - не меншою суми площ відвідних трубопроводів кожного запобіжного клапана;

- від запобіжних клапанів, встановлених на різних апаратах і не розрахованих на одночасну паралельну роботу, - відповідно до гідравлічного

- розрахунку такою, щоб при спрацьовуванні запобіжних клапанів в апараті не виник тиск, вищий ніж допускається, але в усіх випадках не меншою, ніж площа перерізу відвідного патрубку найбільшого запобіжного клапана.

Не допускається приєднання дихальних ліній від апаратів, які працюють без тиску, до трубопроводів скидання газів і пари від запобіжних клапанів.

На дихальних лініях від збірників, мірників і резервуарів для сірчаної кислоти, виготовлених із сталі, не допускається встановлення запірної арматури для уникнення можливого накопичення водню [25].

За необхідності встановлення запірної арматури вона після закінчення технологічних операцій повинна бути опломбованою у відкритому стані.

Свічі, призначені для скидання горючих і шкідливих газів від запобіжних клапанів, а також азоту й повітря після продування ємнісної апаратури на складах зріджених вуглеводневих газів і ЛЗР, потрібно розташовувати поза обвалуванням на відстані не менше ніж 5 м від зовнішнього укусу. Відстань від свічі до приміщень із електроустаткуванням, КВПіА й допоміжних будинків повинна бути не менше ніж 40 м; висота свічі - не менше ніж 30 м [25].

Свічі для скидання горючих і шкідливих газів, пари від гідравлічних затворів, запобіжних клапанів, дихальних і продувних ліній апаратів повинні бути віддалені від припливних вентиляційних камер, шахт забирання повітря і приміщень із електроустаткуванням загального призначення без засобів вибухозахисту і від допоміжних будинків на відстань не менше ніж 30 м.

Кислоти й луги допускається зберігати в одному складському приміщенні. Вертикальні циліндричні резервуари для зберігання кислот і лугів повинні встановлюватися на стрічкові фундаменти висотою від 0,8 до 1,0 м. Штуцери, люки, арматури, прилади КВПіА на дахах вертикальних резервуарів з кислотами й лугами повинні розміщуватися по периферії даху й обслуговуватися з площадки, розташованої нижче даху резервуара від 0,7 до 0,9 м. Горизонтальні ємності для зберігання зазначених середовищ треба встановлювати таким чином, щоб були забезпечені умови огляду й ремонту днищ, але на висоту не менше ніж 0,5 м від рівня піддона [25].

Запірна арматура не повинна встановлюватися під резервуарами з кислотами й лугами.

Сальники насосів, а також фланцеві з'єднання трубопроводів для кислот і лугів та їх розчинів повинні бути захищені кожухами від розбризкування.

У резервуарах і ємностях для кислот об'ємом до 50 м³ допускається влаштовувати нижній злив. У ємностях з більшим об'ємом треба влаштовувати верхній злив. Встановлювати штуцери в днищах вертикальних резервуарів не допускається [25].

Застосування азоту або повітря для передавлювання кислот та лугів із залізничних цистерн не допускається.

Пари кислот перед викидом в атмосферу повинні нейтралізуватися. Злив кислот і лугів із залізничних цистерн треба здійснювати тільки насосами або за допомогою сифона. Для заливання сифона повинен застосовуватися насос. Після закінчення зливу сифон необхідно звільнити від рідини. Заливати сифон ручним

способом не допускається [25].

Комунікації складських приміщень повинні забезпечувати перекачування рідини з резервуара в резервуар.

Перед звільненням резервуара або ємності від залишків продукту необхідно попередньо їх нейтралізувати, а потім промити резервуар або ємність великою кількістю води. Зливання в каналізацію кислот і лугів не допускається [25].

ВИСНОВКИ

1. У ході виконання роботи було проведено дослідження етилового спирту – стратегічно важливого продукту для багатьох галузей промисловості.

У рамках кваліфікаційної роботи було проведено всебічне аналітичне дослідження технологій виробництва етанолу, визначено основні способи виробництва. Було зазначено основні фізичні та хімічні властивості цільового продукту та сировини.

2. На основі проведеного аналізу було обрано та обґрунтовано вибір методу каталітичної гідратації етилену, як основного методу виробництва етанолу. Даний метод характеризувався високою ефективністю та можливістю отримання етанолу високої чистоти із меншою витратою ресурсів.

3. Одним із головних етапів роботи стала розробка принципової технологічної схеми, на основі якої будувалися подальші схеми та розрахунки.

Дана схема була подана з удосконаленням – заміною класичного алюмосилікатного каталізатора на WO_3/TiO_2 золь-гелевий каталізатор, який показав достатню ефективність у порівнянні з оригінальним каталізатором, і який спростив процес виробництва.

4. На основі поданої схеми було розраховано матеріальний баланс для технології із продуктивністю 200 кг/цикл. Технологічні втрати становили 7.5%.

5. На основі матеріального балансу було розраховано рентабельність виробництва з урахуванням витрат на сировину, заробітні плати з урахуванням податків, витрати на комунальні послуги та упакування. Рентабельність виробництва становила 13.5% при доході в 120 000 грн на 1 т продукту, та витратах 103 756 грн на 1 т продукції.

6. Було розраховано тарілчасту ректифікаційну колону діаметром 0.8 м та висотою 10 м, яка містить в собі 30 тарілок. Було розроблено креслення реактора.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ткач Я.М	ВИСНОВКИ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.078.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 78/81

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Подобій, О. В. Хімія та технологія харчових добавок [Електронний ресурс] [Текст] : конспект лекцій для здобувачів освіт. ступ. "Бакалавр" спец. 161 "Хімічні технології та інженерія" освіт.-проф. програми "Хімічна технологія", ден. та заоч. форм навч.Київ : НУХТ, 2019. 131 с.
2. Флауменбаум Б. Л., Безусов А. Т., Сторожук В. М., Хомич Г. П. Фізико-хімічні і біологічні основи консервного виробництва. Одеса: Друк, 2006. 400 с.
3. Етанол [Електронний ресурс]: Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Етанол> (дата звернення 03.04.25)
4. Укрспирт [Електронний ресурс]. URL: <https://file.liga.net/ua/companies/ykrspirit> (дата звернення 03.04.25)
5. Історія заводу [Електронний ресурс]. URL: <https://lgz.com.ua/> (дата звернення 03.04.25)
6. Олексій Мустафін. Оковита. Як алхіміки допомогли торговцям винайти міцні напої. *Еспресо*. 2019-04-30. [Електронний ресурс] Архів оригіналу за 6 травня 2020. (дата звернення до архіву 03.04.25)
7. Etylene [Електронний ресурс]. URL: <https://gestis.dguv.de/data?name=012710&lang=en> (дата звернення 03.04.25)
8. Вода [Електронний ресурс]. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1782/voda> (дата звернення 03.04.25)
9. Water [Електронний ресурс]: Вікіпедія: вільна енциклопедія URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Water> (дата звернення 03.04.25)
10. Деркач Ф.А. Хімія. Львів 1967. 311 с.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ткач Я.М	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.079.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 79/81

11. В. М. Іщенко, Х. В. Чебаненко, О. І. Кроніковський, Н. П. Квітковська. Загальна та неорганічна хімія: конспект лекцій для здобувачів освіт. ступ. "Бакалавр" спец. 161 "Хімічні технології та інженерія" освіт.-проф. програми "Хімічна технологія" ден. та заоч. форм навч. Київ : НУХТ, 2023. 219 с.
12. С.В. Іванов, Н.М. Манчук, П.С. Борисук. Загальна хімічна технологія: промислові хіміко-технологічні процеси: навч. Посіб. Київ: НАУ, 2010. 280 с.
13. В.Т. Яворський, Т.В. Перекупко, З.О. Знак, Л.В. Савчук. Загальна Хімічна технологія. Львів: 2005. 552 с.
14. Naonobu Katada та ін. Production of ethanol by vapor phase hydration of ethene over tungsta monolayer catalyst loaded on titania. Японія 2008. 7 с.
15. Масляний компресор Kowal Polska [Електронний ресурс]. URL: <https://alora.com.ua/ua/p2269798529-kompressor-maslyanyj-100l.html?srsId=AfmBOooNXJ6burIbYqxAx16jPXVxqL83zXII3ijZ9F9OgLj9Ye8a5WVo> (Дата звернення: 01.06.2025)
16. Gas Mixer KM20-100_2ME [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wittgas.com/products/gas-mixers/metalworking/gas-mixer-km20-100-2me/> (Дата звернення: 01.06.2025)
17. Steam Shell and Tube Condenser for Heat Recovery [Електронний ресурс]. URL: https://vrcoolertech.en.made-in-china.com/product/gnBRoeSEJikm/China-Steam-Shell-and-Tube-Condenser-for-Heat-Recovery.html?pv_id=1itva11g4126&faw_id=1itva3497924&bv_id=1itva3499ecf&pbv_id=1itva0vjj8431 (Дата звернення: 01.06.2025)
18. Gas Liquid Filter Hydrocyclone Separator [Електронний ресурс]. URL: <https://www.alibaba.com/suppliersubdomainalibabacom/product-detail/gas-liquid-filter-hydrocyclone-separator-price-60527989965.html> (Дата звернення: 01.06.2025)

19. Збірник СМ-450 [Електронний ресурс]. URL: <https://promvit.com.ua/zbirnik-sm-450-dlya-transportuvannya-gotovogo-produktu-reaktora-do-lini%D1%97-fasuvannya-inyekciynix-preparativ/> (Дата звернення: 01.06.2025)
20. Горизонтальний насос [Електронний ресурс]. URL: ESHE 80-160 <https://politex.com.ua/gorizontalnyy-nasos-eshe-80-160-185-p25-vsna> (Дата звернення: 01.06.2025)
21. І.Ф. Малежик. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування. Київ НУХТ 2012. 543 с.
22. Задорожній В.М., Зражевський В.І., Опарін С.О. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «розрахунок ректифікаційної установки періодичної дії. Проектування насадкової колони» з курсу «процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів III–IV курсів Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2010. 38 с
23. Ємцева Г.Ф. Економіка підприємства. Конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня бакалавр спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія” освітньо-професійної програми “Хімічна технологія” денної форми навчання. Київ: НУХТ. 2023. 170 с.
24. ДСТУ 4221:2003 Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови
25. Наказ Про затвердження Правил охорони праці під час виробництва синтетичного етилового спирту від 19 серпня 2010 року.
26. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи [Електронний ресурс]: на здобуття освіт. ступ. "Бакалавр" спец. 161 "Хімічні технології та інженерія" освіт.-проф. програми "Хімічна технологія" ден. та заоч. форм здобуття освіти / уклад.: О. В. Подобій, Т. М. Бойчук ; Нац. ун-т харч. технол. - Київ: НУХТ, 2025. 75 с. каф. технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів.