

**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) (прізвище та ініціали)

«\_\_» червня 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ТЖХТ

\_\_\_\_\_ Тамара НОСЕНКО  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_» червня 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА  
зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»  
освітньо-професійної програми «Хімічна технологія»  
на тему: Удосконалення технології виробництва пропіленгліколю**

Виконала: здобувачка 4 курсу, групи ХТ-4-13

РОСТОВЕЦЬКА Діана Павлівна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник БОЙЧУК Тетяна Михайлівна

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Ольга КОЗАРЕНКО

(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Я як здобувачка Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавала і не одержувала недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувачка \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2024 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут: Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра Технології жирів, хімічних технологій харчових добавок і косметичних засобів

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: 161 «Хімічні технології та інженерія»

Освітньо-професійна програма: «Хімічна технологія»

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУАЧКИ

Діані РОСТОВЕЦЬКІЙ

1. Тема роботи: «Удосконалення технології виробництва пропіленгліюлю»

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 19 червня 2024

3. Вихідні дані: продуктивність виробництва пропіленгліюлю 1000 кг/добу.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):  
Вступ, аналітичний огляд науково-технічної літератури, технологічна частина, охорона праці, охорона навколишнього середовища та екологічні стандарти безпеки, організація виробництва, економіка виробництва, якість та безпека готової продукції, висновки, список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу:

Аркуш 1. Принципово-технологічна схема, формат А1

Аркуш 2. Апаратурно-технологічна схема, формат А1

Аркуш 3. Креслення апарату (загальний вигляд), формат А1

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Технологічна частина	Житнецький І. В., к.т.н., доцент кафедри МАХ та ФВ	13.05.2024	17.06.2024

7. Дата видачі завдання 16 квітня 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ поз.	Назва етапів курсової роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	13.05.2024	
2	Аналітичний огляд науково-технічної літератури	14.05.2024- 16.05.2024	
3	Технологічна частина	17.05.2024- 20.05.2024	
4	Охорона праці	21.05.2024- 22.05.2024	
5	Охорона навколишнього середовища та екологічні стандарти безпеки	23.05.2024- 24.05.2024	
6	Організація виробництва	25.05.2024- 26.05.2024	
7	Економіка виробництва	27.05.2024- 28.05.2024	
8	Якість та безпека готової продукції	29.05.2024- 30.05.2024	
9	Висновки	31.05.2024	
10	Список використаної літератури	13.05.2024- 31.05.2024	
11	Принципово-технологічна схема (А1)	13.05.2024- 17.05.2024	
12	Апаратурно-технологічна схема (А1)	18.04.2024- 24.05.2024	
13	Креслення апарату загальний вигляд (А1)	25.04.2024- 29.05.2024	
14	Передзахист, перевірка на академічний плагіат, рецензування кваліфікаційної роботи	18.05.2024- 19.06.2024	

Здобувач \_\_\_\_\_ Діана РОСТОВЕЦЬКА  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Тетяна БОЙЧУК  
(підпис)

«16» квітня 2024 р.

## РЕФЕРАТ

**Ростовецька Д.** Удосконалення технології виробництва пропіленгліколю.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА: 87 С., 14 РИС., 20 ТАБЛ., 20 ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.

В даному курсовому проекті досліджено технологію виробництва пропіленгліколю. Згідно аналізу наукової літератури обґрунтовано актуальність даної тематики. На підставі фізико-хімічних властивостей пропіленгліколю, закономірностей процесу синтезу та економічних показників прийняті технологічні параметри ведення процесу.

Для обраної технологічної схеми виробництва пропіленгліколю визначено головні матеріальні потоки, описано стадії виробництва і складено принципову технологічну схему. Розраховано матеріальний та тепловий баланси виробництва пропіленгліколю. Було обрано основне технологічне обладнання, на основі якого розроблено апаратурно-технологічну схему.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** *ПРОПІЛЕНГЛІКОЛЬ, ПРОПАНДІОЛ-1,2, ГЛІЦЕРИН, ХІМІЧНИЙ СИНТЕЗ, ТЕХНОЛОГІЯ, КАТАЛІТИЧНА РЕАКЦІЯ.*

## ABSTRACT

**Rostovetska D.** Improvement of propylene glycol production technology.

EXPLANATORY NOTE: 87 p., 14 FIG., 20 TABLES, 20 LITERATURE SOURCES.

In this course project, the production technology of propylene glycol is investigated. According to the analysis of the scientific literature, the relevance of this topic is substantiated. On the basis of the physicochemical properties of propylene glycol, the patterns of the synthesis process and economic indicators, the technological parameters of the process are adopted.

For the selected technological scheme of propylene glycol production, the main material flows are determined, the stages of production are described, and a basic technological scheme is drawn up. The material and heat balances of the production of propylene glycol were calculated. The main technological equipment was selected, on the basis of which the equipment and technological scheme was developed.

**KEYWORDS:** *PROPYLENE GLYCOL, PROPANE-1,2-DIOL, GLYCERIN, CHEMICAL SYNTHESIS, TECHNOLOGY, CATALYTIC REACTION.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1 Загальна характеристика харчових добавок.....	10
1.2 Опис властивостей пропіленгліколю.....	12
1.3 Методи отримання пропіленгліколю.....	16
1.4 Стан сировинної бази.....	18
1.5 Удосконалення технології виробництва.....	21
РОЗДІЛ 2. ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.....	23
2.1 Характеристика вихідної сировини.....	23
2.2 Опис принципово-технологічної схеми .....	29
2.3 Хімізм процесу.....	31
2.4 Розрахунок матеріального балансу.....	32
2.5 Розрахунок теплового балансу.....	39
2.6 Підбір основного обладнання.....	41
2.7 Розрахунок ректифікаційної колони.....	45
2.8 Опис апаратурно-технологічної схеми.....	52
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	54
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЕКОЛОГІЧНІ СТАНДАРТИ БЕЗПЕКИ.....	62
РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА.....	68
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІКА ВИРОБНИЦТВА.....	71
6.1 Розрахунок техніко – економічних показників.....	71

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Бойчук Т. М.	<i>Вид документа</i> Кваліфікаційна робота	<i>Статус документа</i>			
НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ростовецька Д.П.	ЗМІСТ	<i>ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.006.КР.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 16.04.2024	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 6/87

6.2 Розрахунок собівартості, прибутку, рентабельності виробництва.....	74
РОЗДІЛ 7. ЯКІСТЬ ТА БЕЗПЕКА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	76
7.1 Оцінка якості сировини.....	76
7.2 Оцінка якості готової продукції.....	78
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	85

## ВСТУП

Пропан-1,2-діол, широко відомий як пропіленгліколь, є органічною сполукою з формулою  $C_3H_8O_2$ . Пропіленгліколь являє собою безбарвну, майже без запаху, прозору в'язку рідину зі слабким солодким смаком і гігроскопічними властивостями. Пропіленгліколь відомий своїм різноманітним застосуванням у різних галузях промисловості. Завдяки своїм хімічним властивостям він широко використовується як розчинник та проміжний продукт в органічному синтезі.

Одним із помітних застосувань пропіленгліколю є очищення повітря, де аерозолі його водних розчинів демонструють бактерицидні властивості. Крім того, він служить прекурсором для синтезу різних фармацевтичних препаратів, таких як ефіри пропіленгліколю та сульфаметилфенілкарбамінової кислоти, які використовуються в лікарських формах. Складні ефіри пропіленгліколю і саліцилової кислоти або її похідних використовуються за жарознижувальну, протизапальну та знеболювальну дію.

Велике значення має виробництво безпечних для організму хімічних продуктів. Багато сполук при потрапленні в організм, особливо в комбінації з іншими подібними речовинами, можуть виявитись шкідливими; це особливо характерно для речовин, які здатні до акумуляції чи перетворення в організмі з нетоксичної у токсичну форму [4]. У випадку накопичення виникає складна залежність між біологічною активністю речовини, величиною дози, швидкістю виведення з організму та інтервалом потраплення до організму [5]. Тому гостро постало питання безпечності продуктів органічного синтезу, що зумовлює актуальність дослідження технологій їх виготовлення.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Бойчук Т. М.	<i>Вид документа</i> Кваліфікаційна робота	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i>  НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ростовецька Д.П.	<i>Назва, додаткова назва</i>  ВСТУП	<i>ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.008.КР.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 16.04.2024	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 8/87

Враховуючи широкий спектр корисних властивостей і критичних застосувань, розробка технології пропіленгліколю з високим ступенем очищення заслуговує на увагу. Важливе значення має підвищення ефективності промислового виробництва пропіленгліколю без шкоди для якості готової продукції. Поточна робота спрямована на вдосконалення виробничих процесів для задоволення зростаючого попиту, одночасно забезпечуючи високі стандарти чистоти кінцевого продукту.

**Об'єкт дослідження** — технологія виробництва пропіленгліколю.

**Предмет дослідження** — пропіленгліколь як продукт органічного синтезу.

**Завдання.** Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання: описати властивості пропіленгліколю; дослідити методи отримання пропіленгліколю; розглянути стан сировинної бази для виробництва пропіленгліколю; охарактеризувати вихідну сировину; надати характеристику вихідній сировині; зробити опис технології виробництва; розрахувати матеріальний та тепловий баланси; підібрати технологічне обладнання; розробити принципово-технологічну та апаратурні схеми виробництва, визначити заходи із охорони праці та навколишнього середовища, охарактеризувати організацію виробництва та розрахувати його економічну ефективність.

**Методи дослідження.** Для досягнення мети під час дослідження були використані: бібліографічний метод, метод інформаційного пошуку, експериментальне дослідження, метод системного підходу, а також узагальнення та аналізу.

**Практична цінність** результатів полягає в розробці технології виробництва пропіленгліколю, яка може бути використана для промислового виробництва.

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Загальна характеристика харчових добавок

Під харчовими добавками розуміють групу речовин природного або штучного походження, які використовують для вдосконалення технології виготовлення продуктів спеціального призначення з характерними органолептичними показниками, відповідними властивостями.

Згідно із Законом України «Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини» харчовою добавкою є природна чи синтетична речовина, яка спеціально вводиться у харчовий продукт для надання йому бажаних властивостей [6]. До харчових добавок Всесвітня організація охорони здоров'я відносить «...будь-які речовини, які не використовуються як їжа в нормальних умовах і не застосовуються як типові інгредієнти їжі, незалежно від їх харчової цінності, спеціально добавлені для технологічних цілей, у тому числі для поліпшення органолептичних властивостей, під час виробництва, обробки, пакування, транспортування або зберігання харчових продуктів...» [6].

Санітарними правилами і нормами по застосуванню харчових добавок, затвердженими Міністерство охорони здоров'я (МОЗ) України від 23.07.1996 р. № 222, передбачено, що вироблення, застосування та реалізація харчових добавок на території держави повинні здійснюватися з дозволу МОЗ України. Постановою Кабінету міністрів України від 04.01.1999 р. № 12 затверджено перелік харчових добавок, дозволених для використання у харчових продуктах [7].

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т. М.	Вид документа Кваліфікаційна робота	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ростовецька Д. П.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.010.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 10/87

Застосуванням харчових добавок займається спеціалізована міжнародна організація Об'єднаний комітет експертів Food and Agricultural Organization (ФАО)/ВООЗ з харчових добавок і контамінантів (забрудників) – ЖЕСФА. Для виконання Об'єднаної програми ФАО/ВООЗ за харчовими стандартами при комітеті створена спеціальна комісія Codex Alimentarius, що є міжурядовим органом, який включає більше 120 держав-членів [3].

За призначенням і технологічним функціям Комісія Codex Alimentarius виділяє 23 функціональні класи харчових добавок: кислоти; регулятори кислотності; речовини, які перешкоджають злежуванню та грудкуванню; піногасники; антиокисники; наповнювачі; барвники; речовини, які сприяють збереженню забарвлення; емульгатори; ущільнювачі; підсилювачі смаку і запаху; речовини для обробки борошна; піноутворювачі; гелеутворювачі; глазурувачі; вологоутримуючі агенти; консерванти; пропеленти; розпушувачі; стабілізатори; підсолоджувачі; збагачувачі [3].

Усі компоненти, що використовуються як харчові добавки відповідно до Codex Alimentarius, мають в списку INS (International Numeral System – Міжнародна цифрова система) свій номер. Це робить ідентифікацію речовини легкою і точною, захищаючи від помилок під час перекладу, а також дозволяє виділяти їх в продуктах харчування. Система INS-номерів розроблена на основі цифрової системи класифікації харчових добавок, прийнятої в країнах Європи, скорочено її називають системою Е-нумерації [3].

Харчова добавка позначається на етикетці у вигляді індексу «Е» (Europe) з трьох- або чотирьохзначним номером. Це підтверджує, що дана сполука перевірена на безпечність, для неї встановлені критерії чистоти та гігієнічні нормативи в харчових продуктах (максимально допустимі рівні, допустима добова доза, допустиме добове споживання) [5].

Згідно Європейської цифрової кодифікації харчові добавки поділяють:

Е 100...Е 182 – барвники;

Е 200...Е 299 – консерванти;

Е 300...Е 399 – антиокисники (антиоксиданти);  
Е 400...Е 449 – стабілізатори консистенції;  
Е 450...Е 499 – емульгатори;  
Е 500...Е 599 – регулятори кислотності, розпушувачі;  
Е 600...Е 699 – підсилювачі смаку і аромату;  
Е 700...Е 800 – запасні індекси для іншої можливої інформації;  
Е 900 і далі – глазуруючі речовини, добавки, що покращують якість хліба і т. д. [3].

Проблеми застосування харчових добавок тісно пов'язані зі здоров'ям людини. Тому токсикологічна оцінка і проблема гігієнічного нормування є актуальною у всіх країнах. Добавки, які заборонені в Україні, можуть використовуватися в інших країнах, це слід враховувати при надходженні імпортованих товарів. Законодавчими актами забороняються ввезення та реалізація харчових продуктів, які не відповідають санітарним вимогам [9].

## 1.2 Опис властивостей пропіленгліколю

Пропіленгліколь — вологовтримуючий агент харчової продукції; відноситься до зволожувальних, пом'якшувальних та диспергуючих агентів. Пропіленгліколь може бути використаний як носій у комплексних харчових добавках, ароматизаторах та біологічно-активних добавках.

Пропіленгліколь (propylene glycol),  $C_3H_6(OH)_2$ , мол. м. 76,10 — двоатомний спирт аліфатичного ряду. Пропіленгліколь виявляє стабілізуючі та осмотичні властивості; має антиокиснювальну, консервуючу дію, запобігає виникненню плісняви.

Пропіленгліколь — безбарвна густа рідина з солодким смаком (густина — 1,035–1,037 г/см<sup>3</sup>), добре змішується з водою, етиловим, бензиловим спиртами, змішується з більшістю органічних розчинників (ацетоном,

хлороформом та ін.), погано розчиняється в етері (1 : 6), петролейному етері, бензолі, не змішується з жирними оліями. Як представник двоатомних спиртів пропіленгліколь має характерну структурну ізомерію, обумовлену положенням гідроксильних груп [10].

Пропіленгліколь як харчова добавка здійснює стабілізуючий і емульгуючу дію. А також утримує необхідну кількість вологи з метою надання продуктам харчування необхідних споживчих властивостей. Застосовується даний компонент при виготовленні різних м'ясних виробів, кондитерської продукції, використовується при швидкому і глибокому заморожуванні фруктів, овочів [11].

Пропіленгліколь також присутній у багатьох приправах, заморожених овочах, молочних продуктах і хлібі як консервант. Пропіленгліколь не є шкідливим або отруйним для організму при попаданні всередину.

Пропіленгліколь є ефективним співрозчинником при змішуванні з соняшниковою олією для виробництва лінолевої кислоти, яка використовується для збагачення молока.

У фармацевтичній промисловості використання пропіленгліколю обумовлено його бактерицидними, стабілізуючими, консервуючими, стерилізуючими, змащувальними властивостями. Він служить зволожувачем для виробництва ліків для зовнішнього застосування, зокрема, кремів, розчинником мазей, розчинів для ін'єкцій. Пропіленгліколь можна знайти у складі багатьох ветеринарних засобів [12].

Як розчинник, пластифікатор миючих засобів, зволожувач ароматизаторів, пропіленгліколь присутній у продукції побутової хімії. Гігроскопічність і розчинні властивості даної речовини уможливають її застосування в харчовій, алкогольній та тютюновій промисловості.

Косметична індустрія в усьому світі взяла на озброєння зазначений продукт як пом'якшувальний та зволожуючий компонент своїх засобів по догляду за шкірою та волоссям, оскільки завдяки своїй гігроскопічності він

здатний притягувати вологу з повітря. Здатність речовини утримувати вологу застосовується при виробництві широкої номенклатури косметичних засобів лікувально-відновлювального й декоративного призначення. Пропіленгліколь може входити до складу кремів, мазей, бальзамів, помад та іншої косметики. Плюсом пропіленгліколь є те, що він значно дешевше, ніж гліцерин, а також не накопичується в тканинах організму й легко з нього виводиться.

Широке застосування пропіленгліколь знаходить у сфері хімічного виробництва. Його застосовують для виготовленні пластмас, полімерів, поліуретанів. Лакофарбова промисловість та будівельна галузь використовують пропіленгліколь як розчинник, пластифікатор, наповнювач, добавку для підвищення морозостійкості деяких фарб.

Пропіленгліколь як рідина, що незамерзає, дозволяє використовувати її в авіації як засіб, що запобігає утворенню льоду. Термічні характеристики пропіленгліколю дозволяють його використовувати в якості рідкого теплоносія. У чистому вигляді для цих цілей майже не використовується, але застосовують його водні розчини.

При глибокому замерзанні пропіленгліколь і його водні розчини перетворюються в желеподібну субстанцію, яка, крім того, майже не збільшується в об'ємі, такий теплоносій не несе загрози для механічної цілісності конструкцій опалювальної системи. Пропіленгліколь також не утворює накипу на стінках труб і елементів систем опалення.

Новою сферою застосування пропіленгліколю є виробництво електронних сигарет, де він виконує функцію транспортної рідини.

*Споживання* пропіленгліколю у світі має таку структуру: 43% пропіленгліколю використовується у виробництві ненасичених полієфірних смол, 19% припадає на частку харчової, косметичної та фармацевтичної промисловості, 14% витрачається на виробництво антифризів та рідин, що запобігають утворенню льоду, 10% – на рідкі миючі засоби та 14% – на інші сфери. Загалом ємність ринку пропіленгліколю має тенденцію до збільшення на

4-5% на рік, що зумовлено потребами в екологічних антифризах, а також широким розвитком інших сфер, що споживають пропіленгліколь [11].

Пропіленгліколь (клас небезпеки – 3) в чистому вигляді є речовиною протестованою на предмет шкідливого впливу для людського організму. Речовина визнана безпечною і не канцерогенною. Доведена відсутність подразнювальної дії на шкіру.

У науковій літературі не повідомлялося про випадки смерті, пов'язані з надмірним впливом пропіленгліколю. Як харчова добавка, він вважається малотоксичним, про що свідчить його класифікація FDA як «речовини GRAS» (Generally Recognised As Safe - загально визнана безпечна речовина). Це означає, що немає підстав підозрювати небезпеку для населення у разі споживання пропіленгліколю.

Виходячи з принципу обережності, Всесвітня організація охорони здоров'я встановила *рекомендовану максимальну добову дозу споживання* на рівні 25 мг/кг. Для людини вагою 70 кг це становить приблизно 1,7 г пропіленгліколю на добу. Однак дослідження з використанням значно вищих доз не виявили жодних незворотних негативних побічних ефектів.

Тим не менш, багаторазовий щоденний вплив великої кількості пропіленгліколю протягом декількох місяців може призвести до ниркової недостатності або молочнокислого ацидозу. Останній фактично викликається надлишком молочної кислоти (продукту метаболізму) в організмі, що спричиняє порушення кислотно-лужного балансу. Симптоми, пов'язані з молочнокислим ацидозом, не є специфічними. Крім того, деякі пацієнти можуть бути схильні до побічних ефектів. У жодному дослідженні не згадується летальна пероральна доза пропіленгліколю для людини. Надмірне споживання пропіленгліколю може спричинити розлади нервової системи (споживання 228 мг/кг/добу протягом 13 місяців). Аналогічно, надлишок молочної кислоти внаслідок метаболізму надмірно високої повторної дози пропіленгліколю може спричинити молочнокислий ацидоз. Передозування

також може призвести до осмотичної дерегуляції (зневоднення клітин) та індукувати серцеву токсичність.

Слід зазначити, що ці ефекти спостерігаються лише в контексті наукових досліджень, де суб'єкти піддавалися впливу дуже високих концентрацій пропіленгліколю, які, таким чином, значно перевищують рекомендовані дози.

### **1.3 Методи отримання пропіленгліколю**

Для отримання пропіленгліколю, а потім — його водних розчинів, вдаються до некаталітичних високотемпературних і каталітичних низькотемпературних методів синтезу. Основним сировинним джерелом у промисловості, як правило, виступає окис пропілену. Каталізаторами реакції служать луг, сірчана кислота або іонообмінна смола. В цілому ж, існують інші способи отримання речовини [13].

Пропіленгліколь розглядається як один з найбільш перспективних великотоннажних продуктів, який можна отримувати з гліцерину.

В промисловості найчастіше пропіленгліколь синтезують шляхом гідратації пропіленоксиду [14]. На даний момент існує п'ять різних технологій, які використовуються для промислового виробництва пропіленгліколю (рис.

1.1). Вони включають:

- 1) процес отримання мономеру стиролу,
- 2) процес виробництва антрахінону,
- 3) процес трет-бутилового спирту,
- 4) процес гідропероксиду кумолу,
- 5) процес хлоргідрину [13].

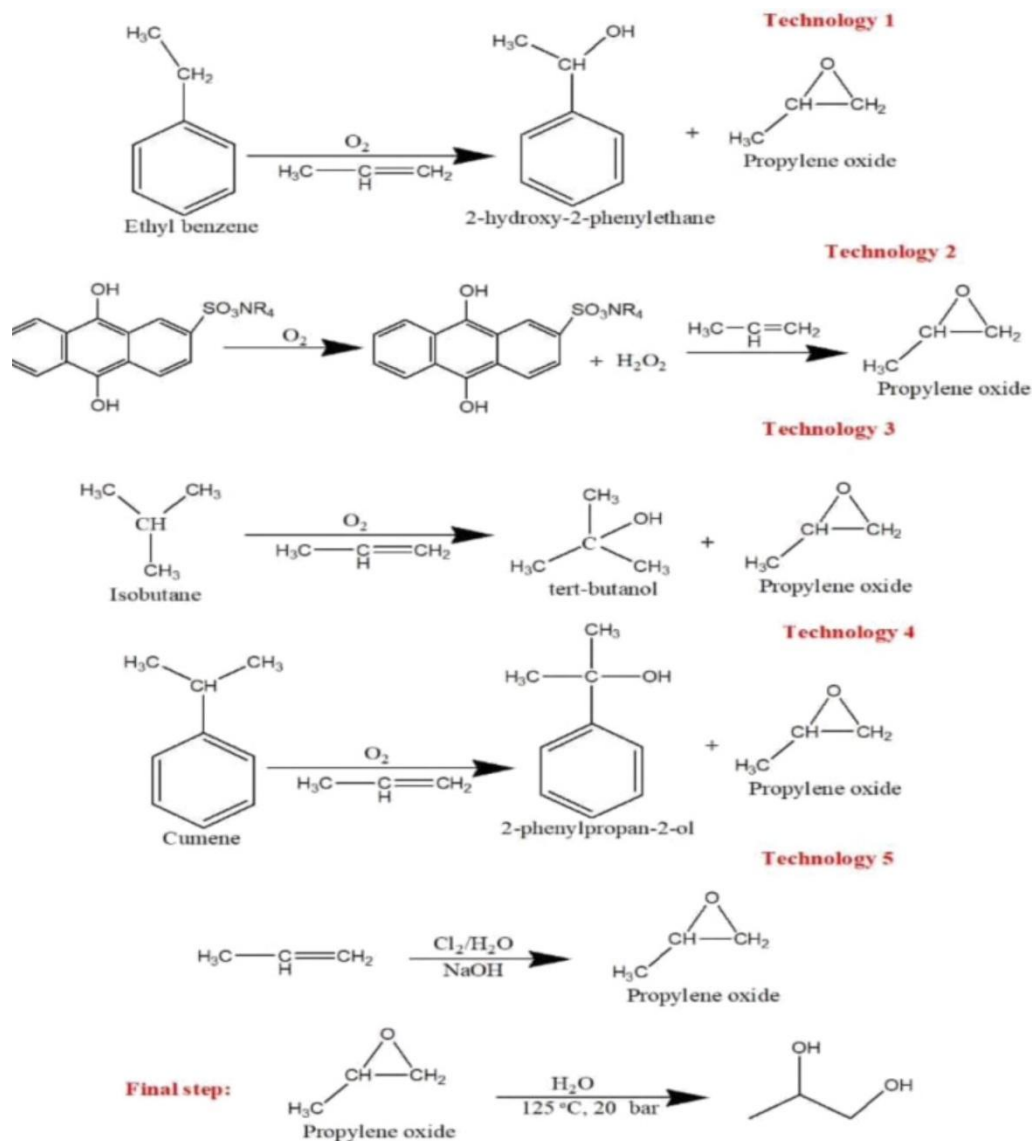


Рис. 1.1 Технології промислового виробництва пропіленгліколю [15]

Інші процеси, такі як каталітичне гідрування молочної кислоти або ферментація гліцерину в присутності мікроорганізмів, також можуть виробляти пропіленгліколь [14].

Термохімічні процеси, що відбуваються за наявності тепла та теплової енергії, також можуть перетворювати вуглеводи, такі як ксиліт і сорбіт, на пропіленгліколь у присутності відновника [16].

Гідрогеноліз вуглеводів до пропіленгліколю включає дві основні стадії. Перший етап відбувається в присутності металевого каталізатора і включає дегідрування поліолів до карбонільних проміжних сполук. Після першого кроку

відбувається розщеплення специфічних зв'язків С–С і С–О в основному середовищі шляхом ретроальдольної конденсації [14, 16].

Виробництво пропіленгліколю з гліцерину відбувається за допомогою реакції, відомої як селективний гідрогеноліз. Процес включає розрив зв'язків С–О, видалення гідроксильних груп з подальшим одночасним додаванням водню в присутності каталізатора (рис.1.2) [17]. Слід підкреслити, що при видаленні однієї бічної гідроксильної групи з гліцерину утворюється пропіленгліколь. Крім того, дисоціація гідроксильних груп, присутніх в середині, генерує 1,3-пропандіол. Багато побічних продуктів, таких як етиленгліколі, метанол, пропанол і метан, також можуть бути отримані в результаті реакції [15].

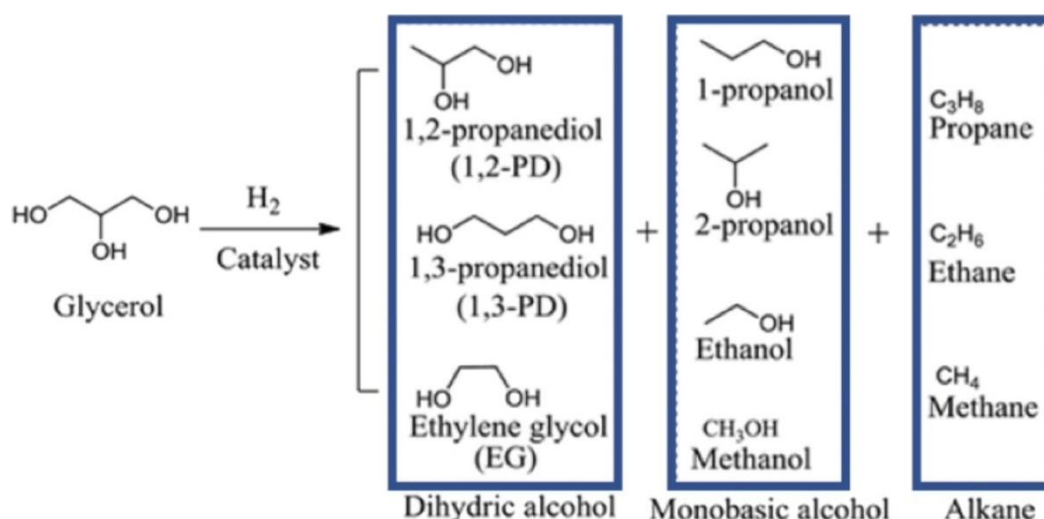


Рис.1.2 Продукти каталітичного гідрогенолізу гліцерину [15]

Гідрогеноліз гліцерину до пропіленгліколю є безпечним для навколишнього середовища та економічно ефективним шляхом у порівнянні зі звичайними методами, описаними на рисунку 1.1. Крім того, звичайні методи використовують нафтохімічну сировину та значну кількість води, таким чином утворюючи побічні продукти, такі як ді- та трипропілен гліколь [14]. Відділення побічних продуктів також підвищує загальну економічність процесу.

#### 1.4 Стан сировинної бази

Низка американських, японських та інших компаній використовує натуральну сировину для виробництва гліцерину, навіть попри те, що її витрата досить висока. Для одержання тонни гліцерину необхідно використати до 12 тонн жиру. Плюсом такого процесу вважається спільне виробництво жирних кислот або їх спиртів. Але оскільки попит на них не настільки великий, як саме на гліцерин, вихід якого порівняно незначний, на перший план виступають способи синтетичного отримання, завдяки яким стало можливим задовольнити зростаючу потребу в гліцерині як сировині [18].

Виробництво сирого гліцерину та способи його подальшої очистки залежить від відповідних фізико-механічних властивостей сировини. Основні фізико-механічні властивості гліцерину наведені в табл. 1.1 [20].

Таблиця 1.1

#### Фізико-механічні властивості гліцерину

Найменування показників	Значення
Молекулярна маса	92,09
Густина, г/см <sup>3</sup> при 20 °С	1,261
Показник заломлення, nD при 20 °С	1,4735
Діелектрична проникність, ε при 25 °С	42,5
Дипольний момент, Дб	2,56
В'язкість, мПз	9450
Температура кипіння, °С	290

В якості сировини використовують дистильований (динамітний Д-98) гліцерин. За фізико-хімічними показниками гліцерин марки Д-98 має відповідати наступним показникам (табл.1.2) [20].

## Фізико-хімічні показники гліцерину різних марок

Найменування показників	Норма для марок:			
	Д-98	ПК-94	Т-94	Т-88
Число кольорності, мг I <sub>2</sub> /100 см <sup>3</sup> (не більше)	5	0	5	10
Відносна густина d при 20 °С по відношенню до води цієї ж температури (не менше)	1,2584	1,2481	1,2481	1,2322
Густина ρ при 20 °С г/см <sup>3</sup> , (не менше)	1,255	1,244	1,244	-
Реакція гліцерину, 0,1 моль / дм <sup>3</sup> розчину НСІ або КОН, см <sup>2</sup> , (не більше)	1,5	1,5	1,5	1,5
Масова доля чистого гліцерину, % (не менше)	98	94	88	88
Масова доля золи, % (не більше)	0,14	0,01	0,02	0,25
Коефіцієнт омилення (складні ефіри), мг КОН на 1 г гліцерину, (не більше)	0,7	0,7	2,0	-
Хлориди	сліди	-	сліди	-
Вуглеводи	-	-	-	-

Для виробництва моногліцеридів, які отримують розділенням суміші продуктів реакції (гліцерину, що не прореагував, дигліцеридів, продуктів побічних реакцій) центрифугуванням і молекулярною дистиляцією на ринку представлена сировина дистильований гліцерин (табл. 1.3) [20].

**Вимоги до показників якості дистильованого гліцерину**

Найменування показників	Значення
Густина, г/см <sup>3</sup> при 20 °С	1,261
Вміст гліцерину, %	98
Вміст золи, % (не більше)	0,01
Вміст нелетючого органічного залишку, % (не більше)	0,02
Число омилення (на 100 г гліцерину), мг КОН (не більше)	0,65
Вміст заліза	відсутнє
Вміст хлоридів	відсутні

Виробництво гліцерину в Україні ведеться з дотриманням інноваційних технологічних рішень, відповідає високим стандартам якості, має всі заявлені фізичні та хімічні властивості [19]. На ринку представлена продукція наступних виробників: «Глікохім» (Україна), «Хімфармінвест» (Україна), «Інтер-Синтез» (Україна), «Біохімінвест» (Україна). Вартість технічного гліцерину близько 35-40 грн/л.

Також на ринку присутній гліцерин німецького виробництва, який має найвищі показники якості. Можна придбати гліцерин польський; турецький; індонезійський; малайзійський; бразильський; аргентинський тощо [18].

**1.5 Удосконалення технології виробництва**

Технічний гліцерин, значні кількості якого отримують як побічний продукт виробництва біодизеля, містить від 1-10% смертельно небезпечної речовини – метанолу. Навіть незначні домішки цієї речовини у кінцевому продукті виробництва – пропіленгліколі, унеможливають його використання у косметичній, фармацевтичній та харчовій промисловості. Метою

удосконалення технології виробництва пропіленгліколю, було повне видалення метилового спирту та підвищення безпеки кінцевого продукту виробництва . Для цього запропоновано три стадії ректифікації і додавання бензолу на стадію першої ректифікації. Бензен, метиловий спирт та вода при кип'ятінні утворюють потрійний азеотроп складу 53,7%; 33,6% ;12,7% з  $T_{\text{вип.}}=67,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Азеотропна суміш — суміш рідин, яка за певного тиску кипить при сталій температурі та не змінює складу при перегонці.

Бензол - органічна хімічна сполука, безбарвна рідина зі специфічним солодкуватим запахом  $T_{\text{кип.}} = 80,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\rho = 876\text{ кг/м}^3$  . Широко застосовується в промисловості, є вихідною сировиною для виробництва ліків, різних пластмас, синтетичної гуми, барвників, синтетичних лікарських та психотропних препаратів. З водою утворює азеотропну суміш із  $T_{\text{кип.}} = 69,25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (91 % бензолу). Розчинність у воді становить 1,79 г/л (25  $^{\circ}\text{C}$ ), тому бензен можна легко регенерувати і використовувати у замкненому циклі.

Домішки бензолу у водно-пропіленгліколевій суміші остаточно можна видалити на стадії другої ректифікації.

## РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика вихідної сировини

Гліцерол є найпростішим зі спиртів і відомий як пропан-1,2,3-тріол за IUPAC. Він також комерційно відомий як гліцерин, 1,2,3-пропанотріол, тригідроксипропан, гліцеринітол або гліцидний спирт. Гліцерол — масляниста рідина; він в'язкий, без запаху, кольору, сиропоподібно-солодкого смаку. Гліцерин - це рідина, що містить три гідрофільні гідроксильні групи, які відповідають за його гігроскопічність і його розчинність у воді. На рис. 2.1 показана молекулярна структура гліцеролу з трьома гідроксильними групами.

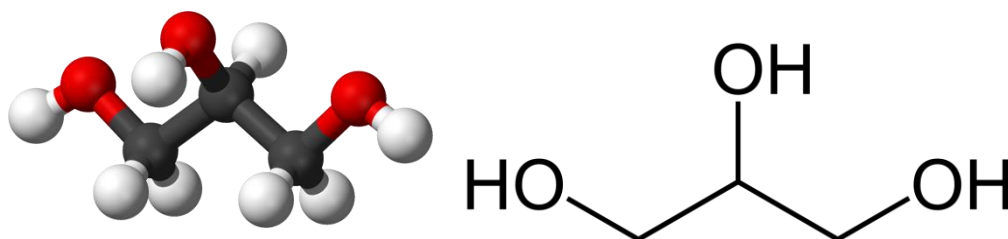


Рис. 2.1 Структурна формула молекули гліцеролу

Гліцерол повністю змішується з багатьма речовинами, серед яких спирти (метиловий, етиловий, ізопропіловий, н-бутиловий, ізобутиловий, вторинний бутил і третинний аміл); етиленгліколь, пропіленгліколь, монометиловий ефір триметиленгліколю та фенол. Розчинність гліцерину в ацетоні становить 5% мас.; в етилацетаті – 9%. Малорозчинний у діоксані та етилі та частково нерозчинний у вищих спиртах, жирних кислотах, а також у хлорованих розчинниках, таких як гексан, бензол та ін хлороформ.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т. М.	Вид документа Кваліфікаційна робота	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ростовецька Д.П.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.023.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 23/87

Гліцерол дуже в'язкий: при звичайних температурах він залишається в'язкою рідиною навіть при 100% концентрації не кристалізується. При низьких температурах концентровані розчини гліцеролу мають тенденцію до супер охолодження, оскільки рідина з високою в'язкістю. Спочатку підвищується в'язкість до тих пір, поки він швидко не стане склоподібним близько  $-891\text{ C}$ . Водний розчини гліцеролу (при різних концентраціях), як правило, має меншу в'язкість.

При низьких температурах гліцерол швидше охолоджується кристалізується. Водні розчини гліцеролу стійкі до замерзання і використовуються як антифриз в системах охолодження. Гліцерол не окислюється в атмосфері в нормальних умовах, але може легко окислюватися іншими окислювачами. Розчини гліцеролу потребують інгібіторів, коли вони є піддавались нагріванню та контактували з чорним металом або міддю, оскільки солі, що містяться в цих матеріалах, можуть каталізувати окислення.

Гліцерол має низьку летючість і низький тиск пари, що пов'язано з його гігроскопічними властивостями. Між  $0^{\circ}\text{C}$  і  $70^{\circ}\text{C}$ , зміни температури мало впливають на тиск пари розчину гліцеролу. Як і інші спирти, гліцерин має менший тиск парів, ніж можна було б очікувати для його молекулярної маси. Низький тиск пари є характеристикою спиртів, води та інших сполук і є результатом молекулярної асоціації. Гліцерол спричиняє менше зниження тиску водяної пари, яке може бути пояснюється молекулярному ефекту, пов'язаному з утворенням гідратів.

Багато дослідників повідомляють про різні значення питомої теплоти згорання гліцеролу у межах від 16,07 до 19,2 МДж/кг. Калорійність гліцеролу залежить від вихідної сировини, що використовується для його виробництва. Це вдвічі більше, ніж викопне паливо, але порівнянно з теплотою згорання більшості видів біомаси, наприклад деревини, соломи, макухи, кори, тирси тощо. У таблиці 2.1 наведено більшість важливі фізико-хімічні властивості гліцеролу.

Термін «гліцерол» застосовний лише до чистої хімічної речовини 1,2,3-пропантріол, тоді як термін «гліцерин» зазвичай застосовується до очищених комерційних продуктів із вмістом вищих більше 95% гліцерину. Вони трохи відрізняються вмістом гліцерину та іншими такими характеристиками, як запах, колір і сліди домішок.

Таблиця 2.1

### Фізико-хімічні властивості гліцеролу

Властивості	Одиниця вимірювання	Значення
Молекулярна формула	—	$C_3H_5(OH)_3$
Молекулярна маса	г/моль	92,09
Густина	кг/м <sup>3</sup>	1260
В'язкість	Па•с	1,41
Температура замерзання	°С	18
Температура кипіння	°С	290
Температура загорання	°С	160
Питома теплоємність	кДж/кг	2345
Теплота пароутворення	кДж/(К•моль)	82,12
Теплопровідність	В/(м•К)	0,28
Теплота утворення	кДж/моль	667,8
Поверхневий натяг	мН/м	63,4
pH	—	7
Вогнестійкість	°С	393

У продажу є багато сортів гліцерину. Їх отримують після видалення солей, метанолу та вільних жирних кислот. У більшості комерційних продуктів якісь гліцерину необхідно покращувати, поки воно не стане прийнятною. Важливий пост-процес виробництва гліцерину включає підкислення/нейтралізацію для регулювання рН і випаровування/дистиляцію, щоб відокремити воду та надлишок метанолу для повторного використання.

Метильований гліцерин містить 50-70% гліцерину, 10-20% метанолу, від 5 до 10% солей, від 3 до 10% води, від 1 до 5% жирних кислот, і 5% негліцеринового органічного матеріалу за масою.

Деметильований гліцерин зазвичай містить від 70 до 88% гліцерину, <1% метанолу, 5-15% солей, < 5-15% води, <1-5% негліцеринового матеріалу за масою.

Гліцерин знаходиться у природних жирах та маслах у вигляді змішаних тригліцеридів карбонових кислот. У промисловості гліцерин одержують шляхом омилення жирів, які розпадаються на гліцерин та жирні кислоти при каталізаторах. Гліцерин також отримують синтетичним (хлоргідринним) шляхом [10].

Часто тригліцериди, що містяться в рослинній олії та або жири зараз використовуються як джерела сирого гліцерину. Цей низькосортний гліцерин також містить воду, сіль та інші органічні матеріали, включаючи залишковий метанол, а також вільні жирні кислоти. Кожен компонент досить сильно відрізняється за вмістом залежно від використовуваної сировини. Використання насіння гірчиці як сировина дозволяє отримати гліцерин 62%, при використанні соєвої олії як сировини одержують 67,8% гліцерину. Вміст метанолу становить від 23,4 до 37,5%, що відображено в його низькій в'язкості.

Гліцерин є цінним продуктом, оскільки він має широкий спектр промислового застосування. В даний час гліцерин має понад дві тисячі різних застосувань, особливо у фармацевтиці, засобах особистої гігієни, продуктах харчування та косметичі. Гліцерин є нетоксичною, їстівною, біорозкладаною сполукою, тому він забезпечить важливі екологічні переваги для нових продуктів.

Широко застосовують у фармації у якості зволожувача та пом'якшувача, для збільшення адгезії, змінення реологічних параметрів в'язких систем та їх здатностей утримувати воду. Сприяє поліпшенню проникності кожних покривів. За високої концентрації має бактеріостатичний ефект. У виробництві

фармацевтичних препаратів гліцерин може використовуватися для розчинення ліків, надання вологості таблеткам і підвищення в'язкості рідких ліків. Зокрема, у фармацевтичній практиці гліцерин використовують для виготовлення широкого спектру лікарських форм, а саме: розчинів, сиропів, еліксирів, мікстур, суспензій, емульсій, мазей, паст, свічок та ін. Його використовують і як лікарський засіб із різноманітною фармакологічною дією. Гліцерин є добрим розчинником йоду, таніну, бромиду, фенолу та хлориду ртуті. Використовуючи гліцерин замість води, можна приготувати висококонцентровані медичні розчини. Також гліцерин має антисептичні якості, через це його застосовують для попередження зараження ран. Антисептичні та консервуючі властивості гліцерину пов'язані з його гігроскопічністю, завдяки якій проходить дегідратація бактерій [20].

Гліцерин використовується в продуктах особистої гігієни, головним чином як засіб для змащування, а також як зволожувач і зволожувач у багатьох продуктах для догляду за шкірою та волоссям, де бажано зволоження. Гліцерин є основним інгредієнтом зубних паст, який запобігає затвердінню та висиханню в тюбику, тому, за оцінками, зубні пасти складають майже одну третину ринку засобів особистої гігієни для гліцерину.

У харчовій промисловості та виробництві напоїв гліцерин діє як розчинник, підсолоджувач і консервант. Немає заперечень проти використання гліцерину в харчовій промисловості та виробництві напоїв, за умови, що він очищений і його вміст не перевищує допустимий для використання в харчових продуктах. Його використовують для приготування екстрактів чаю, кави та інших рослинних речовин. Даний продукт широко застосовують при виробництві безалкогольних напоїв. Великі підприємства використовують більше 450 т гліцерину вищого гатунку на рік для приготування екстракту, який у розбавленому стані надає напоям «м'якості». Гліцерин використовують також у харчовій промисловості для підсолоджування вин та лікерів, для виготовлення гірчиці, желе та оцту. Також його використовують для отримання

поверхнево-активних речовин (ПАР), що використовуються в якості добавок, які сприяють підвищенню якості готової продукції. Перспективним є використання гліцерину в хлібопеченні, він є поширеним вологоутримувачем, має найменшу вартість серед поліатомних спиртів та належить до харчових добавок (E 422), дозволених Міністерством охорони здоров'я до вживання. При використанні ПАР в макаронних виробках зменшується їх клейкість, збільшується міцність, полегшується процес пресування з одночасним підвищенням якості. Завдяки вмісту гліцерину істотно покращується якість таких продуктів, як: шоколад, горілка, хлібопродукти тощо. Додавання ПАР в шоколадну масу запобігає виникненню так званого «цвітіння» шоколаду [20].

Гліцерин можна використовувати для збереження свіжості тютюну та регулювання вмісту вологи в тютюні з метою усунення неприємного дратівливого смаку.

Гліцерин є розчинником харчових барвників та ароматизаторів. Харчовий гліцерин, або добавка E422 без запаху, вводиться до різних груп харчових продуктів для поліпшення їх властивостей.

Використовують гліцерин в органічному синтезі, у виробництві нітрогліцерину, гліфталевих смол, як пом'якшувач для тканин, для обробки шкіри, у виробництві паперу, у виготовленні компонентів емульгаторів, антифризів, мастил, мил, клеїв [10]. Зокрема, у виробництві паперу гліцерин використовується як пластифікатор і мастило. Гліцерин використовується в текстильній промисловості для проклеювання, змащування та пом'якшення пряді та тканин.

Гліцерин використовується для виробництва дизельного палива, яке зазвичай змішують з дизелем на основі нафти, оскільки воно має аналогічний енергетичний вміст. Змішане біодизельне паливо має нижчі викиди вуглецю, ніж чисто нафтове паливо, оскільки воно містить кисень зі спиртів на основі біомаси. Промисловий гліцерин також використовується у фарбах і барвниках, вибухових речовинах, мастильних матеріалах, гумових виробках тощо.

Промислове використання гліцерину дає йому перевагу перед багатьма іншими промисловими сполуками, оскільки він не є дуже шкідливим, коли він контактує з більшістю хімікатів або біологічних матеріалів. Одним із напрямків застосування гліцерину є виробництво на його основі пропіленгліколю.

## **2.2 Опис принципово-технологічної схеми**

Оскільки у процесі виробництва отримуємо готову продукцію, що є харчовою добавкою, то вона має бути високого ступеню очищення, яка досягається поетапною ректифікацією. На рис. 2.2 зображено принципово-технологічну схему виробництва пропіленгліколю.

### *Приготування водно-гліцеринової суміші*

Гліцерин змішують з водою у співвідношенні 1:2 при температурі 20-25°C з метою отримання розчину низької в'язкості для ефективного перемішування на стадії гідрогенлізу. Отриманий розчин подається на стадію гідрогенлізу.

### *Гідрування гліцерину*

Гідрування гліцерину відбувається 10-кратним надлишком водню у водно-гліцериновому розчині, отриманому на стадії 1, в присутності каталізатору Ni/Cu/TiO<sub>2</sub>. Процес триває 12 годин при температурі 230-240 °C і тиску 0,2 МПа. По закінченню процесу суміш направляється на стадію фільтрування

### *Фільтрування реакційної суміші*

Водний розчин продуктів гідрування відокремлюється від відпрацьованого каталізатору при температур 20-25 °C. Відпрацьований каталізатор відправляють на регенерацію, а водний розчин продуктів гідрування направляють на стадію ректифікації (I етап).

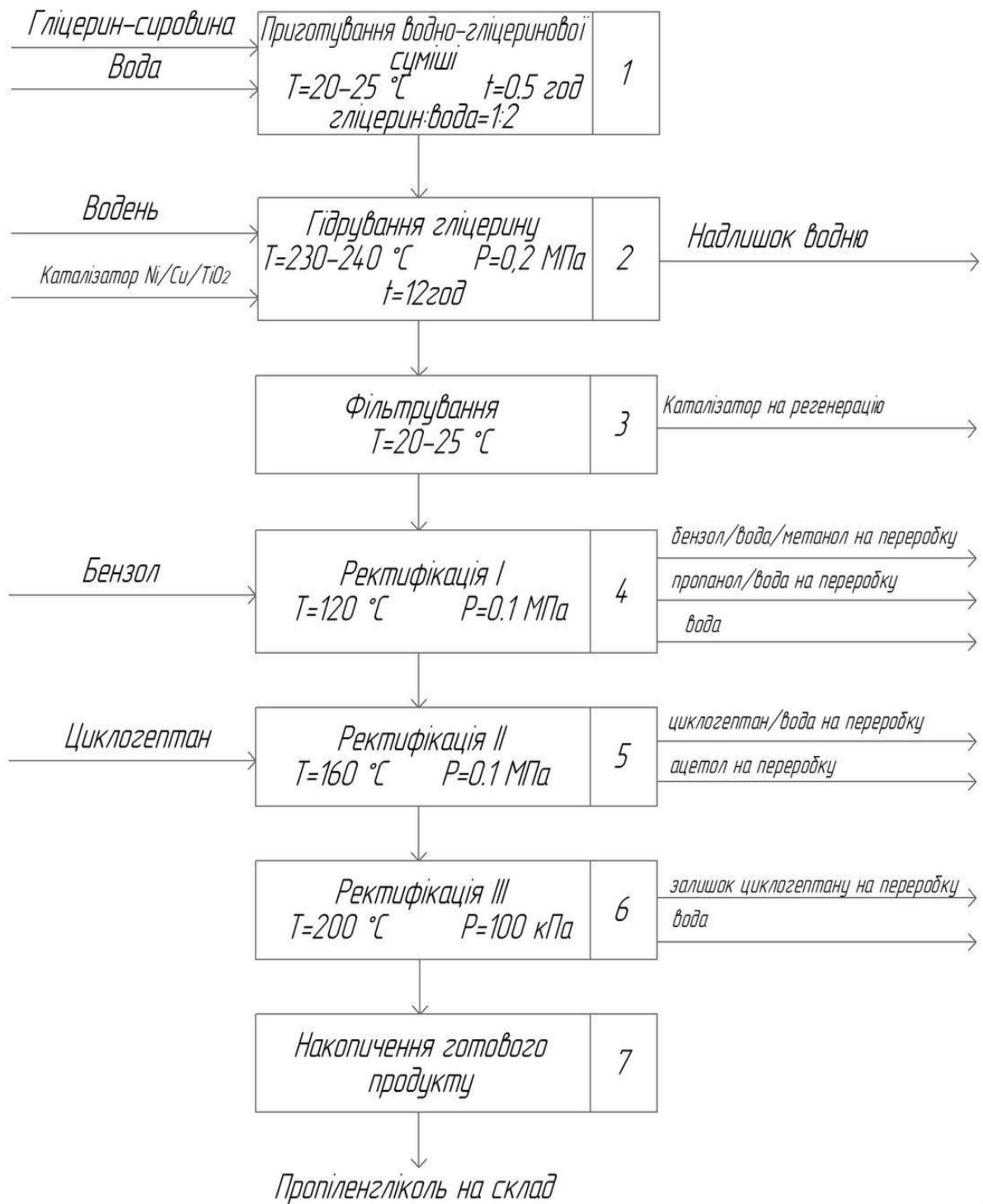


Рис. 2.2 Принципово-технологічна схема виробництва пропіленгліколю

### *Стадія ректифікації (I етап)*

На перший етап ректифікації надходить водний розчин продуктів гідрогенолізу, отриманий на стадії фільтрування, і бензен. Суміш нагрівається до температури 160 °С за тиску 0,1МПа. При цьому відокремлюються потрійний азеотроп бензен/метанол/вода, бензен/вода і пропанол/вода, а пропіленгліколь, залишки води і висококиплячий ацетол (гідроксиацетон) направляються на другий етап ректифікації.

### *Стадія ректифікації (II етап)*

На другий етап ректифікації відбувається висушування пропіленгліколю від залишків води методом азеотропної сушки з циклогептаном і видалення ацетолу. На стадію надходить пропіленгліколь з домішками води та ацетолу, а також подається циклогептан. Відбувається відокремлення азеотропу циклогептан/ вода, а також ацетолу від пропіленгліколю. Осушений пропіленгліколь прямує на третій етап ректифікації.

### *Стадія ректифікації (III етап)*

На третій етап ректифікації надходить попередньо осушений і очищений пропіленгліколь після другого етапу ректифікації. Тут він піддається ректифікаційній перегонці при температурі 200 °С і тиску 100 кПа. На цій стадії відокремлюються залишки води і побічних продуктів. Очищений пропіленгліколь подається у збірник і на склад

## **2.3 Хімізм процесу**

Схема каталітичного перетворення гліцерину в пропіленгліколь має вигляд:



$M(\text{ацетолу})=58 \text{ г/моль}$

$M(\text{води})=18 \text{ г/моль}$

### Розрахунок матеріального балансу стадії приготування водно-гліцеринової суміші

Гліцерин-сировина=1600 кг

Вміст гліцеролу в сировині=  $1600 \cdot 78/100 = 1248 \text{ кг}$

Вміст води у сировині =  $1600 \cdot 14/100 = 224 \text{ кг}$

Маса води =  $(1248 \cdot 2) - 224 = 2272 \text{ кг}$

Втрати на стадії=3,87 кг

Водно-гліцеринова суміш=  $1600 + 2272 - 3,87 = 3868,13 \text{ кг}$

Таблиця 2.2

Прихід		Витрати	
Найменування	т, кг	Найменування	т, кг
Гліцерин-сировина	1600,00	Водно-гліцеринова суміш	3868,13
Вода	2272,00	Втрати	
		Водно-гліцеринова суміш	3,87
Всього	3872,00	Всього	3872,00

### Розрахунок матеріального балансу стадії гідрування гліцерину

За методикою, на стадіях гідрування мольне співвідношення гліцерол : водень = 1 : 10

Маса гліцеролу  $1600 \cdot 78\% / 100\% = 1248 \text{ кг}$

Кількість моль гліцеролу становить:  $1248 / 92 = 13,5652 \text{ кмоль}$

Кількість моль водню  $13,5652 \cdot 10 = 135,652 \text{ кмоль}$

Маса водню  $135,652 \cdot 2 = 271,03 \text{ кг}$

Каталізатор гідрогенлізу розраховують у масовому співвідношенні гліцерол : каталізатор = 156 : 1

Маса каталізатора  $1248 / 156 = 8 \text{ кг}$

Кількість водню, що прореагувала дорівнює приблизно молям гліцерину і становить 13,5652 кмоль, а його маса  $13,5652 \cdot 2 = 27,10$  кг

Маса надлишку водню, що видаляється після завершення гідрогенолізу становить

$$271,03 - 27,10 = 243,93 \text{ кг}$$

$$\text{Маса втрат } (3868,13 + 8 + 27,10) / 100\% \cdot 0,1\% = 3,90 \text{ кг}$$

Маса водно-пропіленгліколевої суспензії

$$3868,13 + 8 + 27,10 - 3,90 = 3899,33 \text{ кг}$$

Вміст суспендованого каталізатора у водно-пропіленгліколевій суспензії з округленням до другого знаку становить  $8 = (8 / 100\% \cdot 0,1\%) = 7,99$  кг

Таблиця 2.3

Прихід		Витрати	
Найменування	т, кг	Найменування	т, кг
Водно-гліцеринава суміш	3868,13	Водно-пропіленгліколева суспензія	3899,33
Водень	271,03	Надлишок водню	243,93
Каталізатор Ni/Cu/TiO <sub>2</sub>	8,00	Втрати	
		Втрати суспензії	3,90
Всього	4147,16	Всього	4147,16

### Розрахунок матеріального балансу фільтрування

Маса водно-пропіленгліколевої суспензії, що надходить на фільтрування – 3899,33 кг.

Каталізатор видаляється у повному обсязі у кількості 7.99 кг

Теоретична маса фільтрату становить  $3899.33 - 7.99 = 3891.34$  кг

Маса втрат  $3891.34 \cdot 0.1\% / 100\% = 3.89$  кг, а практична маса фільтрату  $3891.34 - 3.89 = 3887.45$  кг

Таблиця 2.4

Прихід		Витрати	
Найменування	т, кг	Найменування	т, кг
Водно-пропіленгліколева суспензія	3899,33	Фільтрат	3887,45
		Відпрацьований каталізатор на регенерацію	7,99
		Втрати	
		Фільтрат	3,89
Всього	3899,33	Всього	3899,33

### Розрахунок матеріального балансу стадії першого етапу ректифікації

Маса фільтрату, що надходить на стадію першого етапу ректифікації, становить 3887.45 кг. Масове співвідношення фільтрат : бензол приймаємо 7.19:1.

Маса бензолу становить  $3887.45 / 7.19 = 540.25$  кг

В результаті першого етапу ректифікації повністю видаляються бензол і метанол, пропанол - побічний продукт гідрування) і частково вода

Маса бензолу 540.25 кг у складі фракції бензол / вода / метанол

Маса метанолу 127.62 кг у складі фракції бензол / вода / метанол

Маса води 52,78 кг у складі фракції бензол / вода / метанол

Маса фракції бензол /вода/ метанол становить  $540.25 + 127.62 + 52.78 = 720.65$  кг

Маса пропанолу 15,88 кг у складі фракції вода/пропанол

Маса води 6,17 кг у складі фракції вода/пропанол

Маса фракції вода/пропанол становить  $15.88 + 6.17 = 22.05$  кг

Маса додатково відокремленої води становить 1321,15 кг

Теоретична маса кубового залишку першого етапу ректифікації, що прямує на стадію другого етапу ректифікації становить  $3887,45 + 540,25 - 720,65 - 22,05 - 1321,15 = 2363.85$  кг

Втрати кубового залишку становитимуть  $2363.85 * 0.1\% / 100\% = 2.36$  кг.

Практична маса кубового залишку першого етапу ректифікації, становитиме  $2363.85 - 2.36 = 2361.49$  кг

Таблиця 2.5

Прихід		Витрати	
Найменування	m, кг	Найменування	m, кг
Фільтрат	3887,45	Фракція (бензол, вода, метанол)	720,65
Бензол	540,25	Фракція (вода, пропанол)	22,05
		Вода	1321,15
		Кубовий залишок ректифікації (I)	2361,49
		Втрати	
		Кубовий залишок	2,36
Всього	4427,7	Всього	4427,7

### Розрахунок матеріального балансу стадії другого етапу ректифікації

Маса кубового залишку першого етапу ректифікації, що надходить на стадію другого етапу ректифікації, становить 2361,49 кг. Масове співвідношення кубовий залишок першого етапу ректифікації : циклогептан приймаємо 1,35 : 1

Маса циклогептану становить  $2361,49 / 1,35 = 1749,54$  кг

В результаті ректифікації повністю видаляються циклогептан, ацетол - побічний продукт стадії гідрування , і частково вода.

Маса циклогептану у складі азеотропу 1749,55 кг

Маса води у складі азеотропу 1187.85 кг

Маса азеотропу, що видаляється  $1749.55 + 1187.85 = 2937,40$  кг

Маса ацетолу 14.81 кг

Теоретична маса водно-пропіленгліколевої суміші  $2361,49 + 1749,54 - 2937,40 - 14.81 = 1158.82$  кг

Втрати водно-пропіленгліколевої суміші становитимуть  $1158.82 * 0.1\%/100\% = 1,16$  кг. Практична маса суміші  $1158.82 - 1.16 = 1157.66$  кг

Таблиця 2.6

Прихід		Витрати	
Найменування	т, кг	Найменування	т, кг
Кубовий залишок після ректифікації (I)	2361,49	Азеотроп (циклогептан, вода)	2937,40
Циклогептан	1749,54	Ацетол	14,81
		Водно-пропіленгліколева суміш	1157,66
		Втрати	
		Водно-пропіленгліколева суміш	1,16
Всього	4111,03	Всього	4111,03

### Розрахунок матеріального балансу стадії третього етапу ректифікації

Маса водно-пропіленгліколевої суміші, що надходить на стадію третьої ректифікації, становить 1157,66 кг.

Під час ректифікації видаляється вода масою 131.85 кг

Маса кубового залишку стадії 3-го етапу ректифікації становить 24.62 кг

Теоретична маса пропіленгліколю  $1157.66 - 131.85 - 24.62 = 1001,19$  кг

Маса втрат пропіленгліколю  $1001,19 * 0.1\% / 100\% = 1$  кг

Практична маса пропіленгліколю  $1001,19 - 1 = 1000,19$  кг, що відповідає добовій потужності виробництва.

Таблиця 2.7

Прихід		Витрати	
Найменування	т, кг	Найменування	т, кг
Водно-пропіленгліколева суміш	1157,66	Пропіленгліколь	1000,19
		Вода	131,85
		Кубовий залишок (III)	24,62
		Втрати	
		Пропіленгліколь	1,00
Всього	1157,66	Всього	1157,66

## Розрахунок матеріального балансу стадії накопичення готового продукту

На стадію фасування надходить пропіленгліколь масою 1000,19 кг/доба.

Втрати продукту не передбачені.

Таблиця 2.8

Прихід		Витрати	
Найменування	т, кг	Найменування	т, кг
Пропіленгліколь	1000,19	Пропіленгліколь фасований	1000,19
		Втрати	0
Всього	1000,19	Всього	1000,19

## Зведений матеріальний баланс

Таблиця 2.9

Прихід		Витрати	
Найменування	т, кг	Найменування	т, кг
Гліцерин	1600,00	Надлишок водню	243,93
Вода	2272,00	Відпрацьований каталізатор на регенерацію	7,99
Водень	271,03	Фракція (бензол, вода, метанол)	720,65
Каталізатор Ni/Cu/TiO <sub>2</sub>	8,00	Фракція (вода, пропанол)	22,05
Бензол	540,25	Вода	1321,15
Циклогептан	1749,54	Азеотроп (циклогептан, вода)	2937,40
		Ацетол	14,81
Циклогептан	1749,54	Азеотроп (циклогептан, вода)	2937,40
		Ацетол	14,81
		Пропіленгліколь	1000,19
		Вода	131,85
		Кубовий залишок (III)	24,62
		Втрати	16,18
Всього	6440,82	Всього	6440,82

## 2.5 Розрахунок теплового балансу

Розрахуємо витрати теплоти на нагрівання та випаровування на різних стадіях технологічного процесу. Під час проведення розрахунків врахуємо, що теплоємність є величиною адитивною, тобто теплоємність системи (сумішей гліцерину, води, пропіленгліколю тощо) залежить від вмісту компонентів системи та їх теплоємностей. Тому у ході розрахунків можемо окремо визначати кількості теплоти, що пішли на нагрівання складових сумішей речовин, знаючи їх вміст та питомі теплоємності.

На стадії дистиляції відбувається нагрівання суміші, яка містить гліцерин, воду та домішки метанолу з 20 °С до 110 °С за тиску 0,1 МПа. При цьому випаровування метанолу відбувається вже при 64,7 °С, а води – при температурі 100 °С.

Середня питома теплоємність метанолу на відповідному температурному проміжку:

$$c(\text{метанол}) = (c(\text{метанол})_{20^\circ\text{C}} + c(\text{метанол})_{65^\circ\text{C}}) / 2 = \\ = (2,5 + 2,82) / 2 = 2,66 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$$

Питома теплота пароутворення метанолу за температури 64,7°С складає:

$$r(\text{метанол}) = 1100 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Кількість теплоти, що піде на нагрівання та випаровування 15,96 кг метанолу:

$$Q_1 = (2,66 \cdot (64,7-20) + 1100) \cdot 15,96 = 19453,68 \text{ кДж}.$$

Середня питома теплоємність води

$$c(\text{вода}) = (c(\text{вода})_{20^\circ\text{C}} + c(\text{вода})_{100^\circ\text{C}}) / 2 = (4,183 + 4,220) / 2 = \\ = 4,202 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$$

Питома теплота пароутворення води за температури 100°С складає:

$$r(\text{вода}) = 2258 \text{ кДж}/\text{кг}$$

Кількість теплоти, що піде на нагрівання та випаровування 1017,25 кг води:

$$Q_2 = (4,202 \cdot (100-20) + 2258) \cdot 1017,25 = 2638909,26 \text{ кДж}.$$

Гліцерин нагрівається від температури 20 °С до 110 °С, середня питома теплоємність гліцерину на цьому температурному проміжку:

$$c(\text{гліцерин}) = (c(\text{гліцерин})_{20^{\circ}\text{C}} + c(\text{гліцерин})_{110^{\circ}\text{C}}) / 2 = (2,350 + 2,845) / 2 = 2,598 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

Кількість теплоти, що піде на нагрівання 1276,56 кг гліцерину:

$$Q_3 = 2,598 \cdot (110-20) \cdot 1276,56 = 298485,26 \text{ кДж.}$$

Концентрований гліцерин з ректифікаційної колони подається у мішалку, де до нього додається 315,95 кг води, підігрітої до температури змішування речовин – 98 °С. На цей процес витрачається теплоти:

$$Q_4 = 4,202 \cdot (98-20) \cdot 315,95 = 103553,51 \text{ кДж.}$$

Після змішування водно-гліцеринова суміш підігрівається спочатку до 210°С у теплообміннику, а далі до 230 °С у реакторі. Процес відбувається за тиску у 4 МПа, тому випаровування не відбувається, теплота витрачається тільки на нагрівання.

Розрахунок теплоти на нагрівання 315,95 кг води у теплообміннику від 98°С до 210°С :

$$c(\text{вода}) = (c(\text{вода})_{98^{\circ}\text{C}} + c(\text{вода})_{210^{\circ}\text{C}}) / 2 = (4,207 + 4,542) / 2 = 4,375 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$$Q_5 = 4,375 \cdot (210-98) \cdot 315,95 = 154815,5 \text{ кДж.}$$

Розрахунок теплоти на нагрівання 1263,79 кг гліцерину у теплообміннику від 98°С до 210°С :

$$c(\text{гліцерин}) = (c(\text{гліцерин})_{98^{\circ}\text{C}} + c(\text{гліцерин})_{210^{\circ}\text{C}}) / 2 = (2,790 + 3,4) / 2 = 3,095 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$$Q_6 = 3,095 \cdot (210-98) \cdot 1263,79 = 438080,17 \text{ кДж.}$$

Розрахунок теплоти на нагрівання 315,95 кг води у реакторі від 210°С до 230°С :

$$c(\text{вода}) = (c(\text{вода})_{210^{\circ}\text{C}} + c(\text{вода})_{230^{\circ}\text{C}}) / 2 = (4,542 + 4,682) / 2 = 4,612 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$$Q_7 = 4,612 \cdot (230-210) \cdot 315,95 = 29143,23 \text{ кДж.}$$

Розрахунок теплоти на нагрівання 1263,79 кг гліцерину у реакторі від 210°C до 230°C :

$$c(\text{гліцерин}) = (c(\text{гліцерин})_{210^{\circ}\text{C}} + c(\text{гліцерин})_{230^{\circ}\text{C}}) / 2 = (3,4 + 3,53) / 2 = 3,465 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$$Q_8 = 3,465 \cdot (230-210) \cdot 1263,79 = 87580,65 \text{ кДж.}$$

Після реактору, де відбуваються каталітичні реакції, суміш містить вже пропіленгліколь, воду домішки етиленгліколю, гліцерину, вода та газу. У ході конденсації видаляються газоподібні речовини (водень та вуглекислий газ). Далі за рахунок зниження тиску з 4 МПа до атмосферного відбувається роздільне випаровування компонентів, що дозволяє відокремити пропіленгліколь від інших речовин.

Таким чином сумарні витрати теплоти на всіх стадіях складають:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = 19453,68 + 2638909,26 + 298485,26 + 103553,51 + 154815,5 + 438080,17 + 29143,23 + 87580,65 = 3770021,26 \text{ кДж} = 3770 \text{ МДж.}$$

## 2.6 Підбір основного обладнання

Відповідно до технологічного процесу обираємо основне обладнання.

### Насос-дозатор

Насос-дозатор використовується для перекачування гліцерину у реактор з мішалкою. Для забезпечення перебігу цього процесу обираємо пропорційний насос ВТ VFT, що призначений для дозування рідких хімічних реагентів. Насос працює як у ручному режимі (ввімкнений/вимкнений), так і в пропорційному режимі від імпульсів зовнішнього витратоміра. Продуктивність дозатора регулюється шляхом зміни частоти імпульсів.



Рис. 2.4 Насос-дозатор ВТ VFT

Пропорційний дозуючий насос ВТ VFT здатний працювати від імпульсного витратоміра (від зовнішнього імпульсного сигналу); має аналогове та ручне управління. Режими дозування: Manual (ручний) ON/OFF; пропорційний: множення 1xN, множення з пам'яттю 1xN(M), розподілу 1:N. Насос має індикаторів відображення статусу роботи, механічний термостат імпульсів, механічний селектор вибору робочих режимів, має підтримку датчика рівня.

Таблиця 2.10

#### Технічні характеристика насосу-дозатору РВТ040375Е

Тип	Продуктивність		Тип головки насосу	Артикул	Об'єм імпульса, мл	Мах імп/мін	Стандартна напруга	Підключення
	л/год	бар						
510	5	10	Е (FPM)	РВТ040375Е	0.52	160	230В 1~, 50Гц	4x6

#### Реактор з мішалкою

Для змішування гліцерину-сировини з волюю буде використовуватися реактор-змішувач (з автоматичною мішалкою) об'ємом 3000 л. Такі самі реактори використовуються для збирання пропіленгліколю після конденсації та після очистки.



Рис. 2.5 Реактор змішувач

### **Кожухотрубний теплообмінник**

Кожухотрубні теплообмінники будуть використані для нагрівання та охолодження суміші до відповідних температур у ході технологічного процесу.



Рис. 2.6 Кожухотрубний теплообмінник

### **Ректифікаційна колона**

Для ректифікації використовується колона ємністю із сталі марки SS 304, висотою 12 м.



Рис. 2.7 Ректифікаційна колона

## Реактор

Реактор слугує середовищем для реакції газоподібного водню та рідкого пропіленгліколю у присутності каталізатору Ni/Cu/TiO<sub>2</sub>. Реактор має бути відносно простим та дозволяти проводити реакцію між різними фазами у присутності каталізатора.



Рис. 2.8 Реактор

## Компресор

Для відділення газів від пропіленгліколю використовується поршневий компресор.



Рис. 2.9 Поршневий компресор

Технічні характеристики:

- Тип: Поршневий
- Напруга живлення: 380 В
- Потужність двигуна: 3 кВт
- Продуктивність: 480 л/хв
- Кількість поршнів/ступенів: 2/1
- максимальний тиск: 10 МПа
- Обсяг ресивера: 200 л

- Тип змащення: Оливний
- Розміщення циліндрів:
- Вертикальне гарантія: 12 місяців
- Захист: IP44
- Розміри: 1520x445x1015 мм
- Вага: 125кг

Все обладнання об'єднується в єдину технологічну лінію та забезпечується засобами автоматизації.

## 2.7 Розрахунок ректифікаційної колони

Завдання: визначити потрібну кількість реальних тарілок у ректифікаційній колоні для отримання дистилляту з об'ємною часткою пропіленгліколя  $X = 99,9 \%$ .

Вихідні дані: колона оснащена ситчастими тарілками, які мають вільний переріз  $8 \%$  та висоту переливної перегородки  $h = 40$  мм; на перфоровану частину тарілки припадає  $80 \%$  загальної площі; продуктивність колони  $D = 1000$  кг/добу; флегмове число  $\nu = 4$ ; внутрішній діаметр колони  $d = 1$  м; молярна частка пропіленгліколю у суміші, що надходить на ректифікацію,  $Y_{жив} = 63,5 \%$ . Кількість реальних тарілок визначаємо графічно за допомогою кінетичної кривої.

Таблиця 2.11

Сітчасті тарілки, вільний переріз	8	%
Висота переливної перегородки, h=	40	мм
$\Delta p(\text{пр})$	80	%
Продуктивність колони, $D=$	1000	кг/доба
Флегмове число, $v =$	4	
Внутрішній діаметр колони, $d=$	1	м
Молярна частка води у парі на нижній тарілці концентраційної частини	63,5	%
Температура спиртоводної 50 % пари	180	°С
Загальний тиск	1,03	атм
Густина гліколя	0,998	кг/л
Густина води	0,953	кг/л
Молярна маса вода	18	г/моль
Молярна маса гліколь	76	г/моль
Густина дистилляту $\rho_D$	1	м
Молярна маса дистилляту $M_D$	76	г/моль
Густина пари перізу колони $\rho_G$	1,12	г/л
Молярна маса пари перерізу колони $M_G$	72	г/моль
Молярна маса рідини,що надходить до колони	69	г/моль
Густина рідини,що надходить до колони	1	кг/л
Температура кипіння пропіленгліколя	187	°С
Температура кипіння води	100	°С

Розрахунок. Коефіцієнт дифузії визначаємо за рівнянням Джилліленда, см /с,

$$D = \frac{0,0043T^{3/2}}{p(V_1^{1/3} + V_2^{1/3})^2} \left( \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)^{1/2},$$

де  $T$  - температура пари, К;  $p$  — загальний тиск, ат;  $V_1, V_2$  - мольні об'єми рідких компонентів 1 та 2 за нормальних температур кипіння, см<sup>3</sup>/(г·моль);  $M_1, M_2$  — молярні маси компонентів. Із таблиць визначаємо температуру спиртоводної пари, яка містить молярну частку спирту 63,5 % —  $t = 187$  °С:

$$T = 273 + t = 273 + 187 = 460 \text{ К},$$

$$V_1 (\text{Вода}) = M_1 / \rho_{1\text{кип}} = 18,02 / 0,958 = 18,8 \text{ см}^3 / (\text{г} \cdot \text{моль});$$

$$V_2 (\text{пропіленгліколь}) = M_2 / \rho_{2\text{кип}} = 76 / 0,998 = 79,7 \text{ см}^3 / (\text{г} \cdot \text{моль});$$

$$D = \frac{0,0043 \cdot 460^{3/2}}{1,03(18,8^{1/3} + 79,7^{1/3})^2} \left( \frac{1}{18,06} + \frac{1}{76} \right)^{1/2} = 0,225 \text{ см}^2/\text{с} = 2,25 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Витрата парового потоку, що проходить через вільний переріз колони, становить:

$$G = \frac{D \cdot 0,01 \rho_D (v+1)}{24 \cdot 3600 M_D} = \frac{1000 \cdot 0,01 \cdot 1000 (4+1)}{24 \cdot 3600 \cdot 76} = 7,61 \cdot 10^{-4} \text{ моль/с},$$

де  $\rho_D, M_D$  — відповідно густина і молярна маса дистилляту. Швидкість пари у вільному перерізі колони

$$w = \frac{4GM_G}{\rho_G \pi d^2} = \frac{4 \cdot 7,61 \cdot 10^{-4} \cdot 72}{1,12 \cdot 3,14 \cdot 1^2} = 0,46 \text{ м/с},$$

де  $\rho_G, M_G$  - відповідно густина і молярна маса пари для цього перерізу колони.

Швидкість пари в отворах тарілки (з урахуванням площі, зайнятої під перфоровану частину тарілки та вільного перерізу), м/с,

$$w_{\text{п}} = 0,46 \frac{1}{0,8 \cdot 0,08} = 7,18.$$

Щоб скористатися рівнянням та визначити опір парорідинного шару  $\Delta p_{\text{пр}}$  на тарілці

$$\Delta p_{\text{пр}} = (h + \Delta h) \rho_p g,$$

потрібно попередньо встановити значення  $\Delta h$  - висоту шару рідини над переливною перегородкою:

$$\Delta h = \left( \frac{V_p}{0,92 \Pi} \right)^{2/3},$$

де  $V_p$ , — об'ємна витрата рідини, м<sup>3</sup>/с;  $\Pi$  - довжина зливної перегородки, яку визначаємо з системи рівнянь:

$$\begin{cases} \left(\frac{\Pi}{2}\right)^2 + (R - b)^2 = R^2; \\ 0,1\pi R^2 = \frac{2}{3}\Pi b. \end{cases}$$

У наведеній системі рівнянь  $R$  - радіус тарілки;  $b$  — мінімальна відстань по радіусу між краєм тарілки та зливною перегородкою (при цьому радіус проходить через центр перегородки);  $2/3\Pi b$  - приблизне значення площі сегмента, зайнятого під переливним пристроєм тарілки (для нашого прикладу за розрахунком  $\Pi = 1,44$  м).

Об'ємна витрата рідини :

$$V_p = \frac{GM_p v}{(v+1)\rho_p} = \frac{7,61 \cdot 10^{-4} \cdot 69 \cdot 4}{(4+1)1000} = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для останнього рівняння молярну масу рідини  $M_p = 69$  кг · моль та її густину  $\rho_p = 1000$  кг/м<sup>3</sup> визначено за значенням  $X_i$ ;

$$\Delta h = \left(\frac{4,2 \cdot 10^{-4}}{0,92 \cdot 1,44}\right)^{2/3} = 0,00465 \text{ м};$$

$$\Delta p_{\text{пп}} = (0,04 + 0,00465)1000 \cdot 9,81 = 439 \text{ Па};$$

$$Re_G = \frac{wh\rho_G}{\mu_G} = \frac{0,46 \cdot 0,04 \cdot 1,12}{11,5 \cdot 10^{-6}} = 1,79 \cdot 10^3;$$

$$Pr = \frac{\mu_G}{D\rho_G} = \frac{11,5 \cdot 10^{-6}}{2,25 \cdot 10^{-5} \cdot 1,12} = 0,456;$$

$$K_\tau = \frac{\Delta p_{\text{пп}}}{\rho_G w^2} = \frac{439}{1,12 \cdot 0,46^2} = 2310;$$

$$Nu = 0,0603 Re_G^{1,1} (Pr)^{0,5} K_\tau^{0,3} = 0,0603 \cdot 1790^{1,1} \cdot 0,456^{0,5} \cdot 2310^{0,3} = 1710.$$

Коефіцієнт масопередачі

$$K_y = \frac{Nu \cdot D}{h} = \frac{1710 \cdot 2,25 \cdot 10^{-5}}{0,04} = 0,959;$$

$$m_y = \frac{K_y F}{G} = \frac{K_y (\pi d^2 / 4) 0,8}{0,055 M_G / \rho_G} = \frac{0,959 \cdot 3,14 \cdot 1^2 \cdot 0,8 \cdot 1,12}{4 \cdot 7,61 \cdot 10^{-4} \cdot 72} = 1,23.$$

Будуємо кінетичну криву і робочі лінії на діаграмі , щоб визначити кількість теоретичних тарілок . Для цього розраховуємо координати точок L , D , W , M .

Маса водяної пари	131,85 кг
Маса пропіленгліколя	1001,19 кг
Маса куба (W)	24,62

Кількість пари, що піднімається по колоні

$$G = (1157,66 \cdot 0,2 + 131,85 - 24,62) / 10 = 33,876 \text{ кг/год}$$

Парове число:

$$S = G/W = 33,876 / 24,62 = 1,376$$

Координати точки L :  $x = 0$ ,  $y = \frac{1}{(1+4)} = 0,2$  (де 4 - флегмове число)

Координати точки D:  $x = 1$ ,  $y = 1$

Координати точки W:  $x = 0$ ,  $y = 0$

Координати точки M:  $x = \frac{(0+S)}{(1+S)} = 0,58$ ,  $y = 1$  (приймаємо що вміст леткого

компоненту в кубовому залишку наближається до нуля )

За діаграмою кількість теоретичних тарілок  $N_{\text{теор.}} = 10$  . Для реальних тарілок ККД  $\eta = 0,72$ .

Тоді загальна кількість реальних тарілок

$$N = N_{\text{теор.}} / \eta = 10 / 0,72 = 13,89 \text{ тобто } 14 \text{ тарілок.}$$

Для колони з внутрішнім діаметром 1м відстань між тарілками приймаємо 500 мм.

Відстань від рівня рідини до нижньої тарелки приймаємо рівним 1 м, тоді як висота нижньої частини колонної рівної  $= 1,48 + 1 = 2,48$  м.

Відстань від верхньої тарілки до верху колони приймаємо утричі більше, ніж відстань між тарілками.

Висоту евапораційного простору приймаємо  $h = 1$  м

Висота тарілчастої частини

$$h = (14-1) \cdot 0,5 + 14 \cdot 0,04 = 7,06$$

Загальна висота колони

$$h = 2,48 + 1 + 7,06 = 10,54.$$

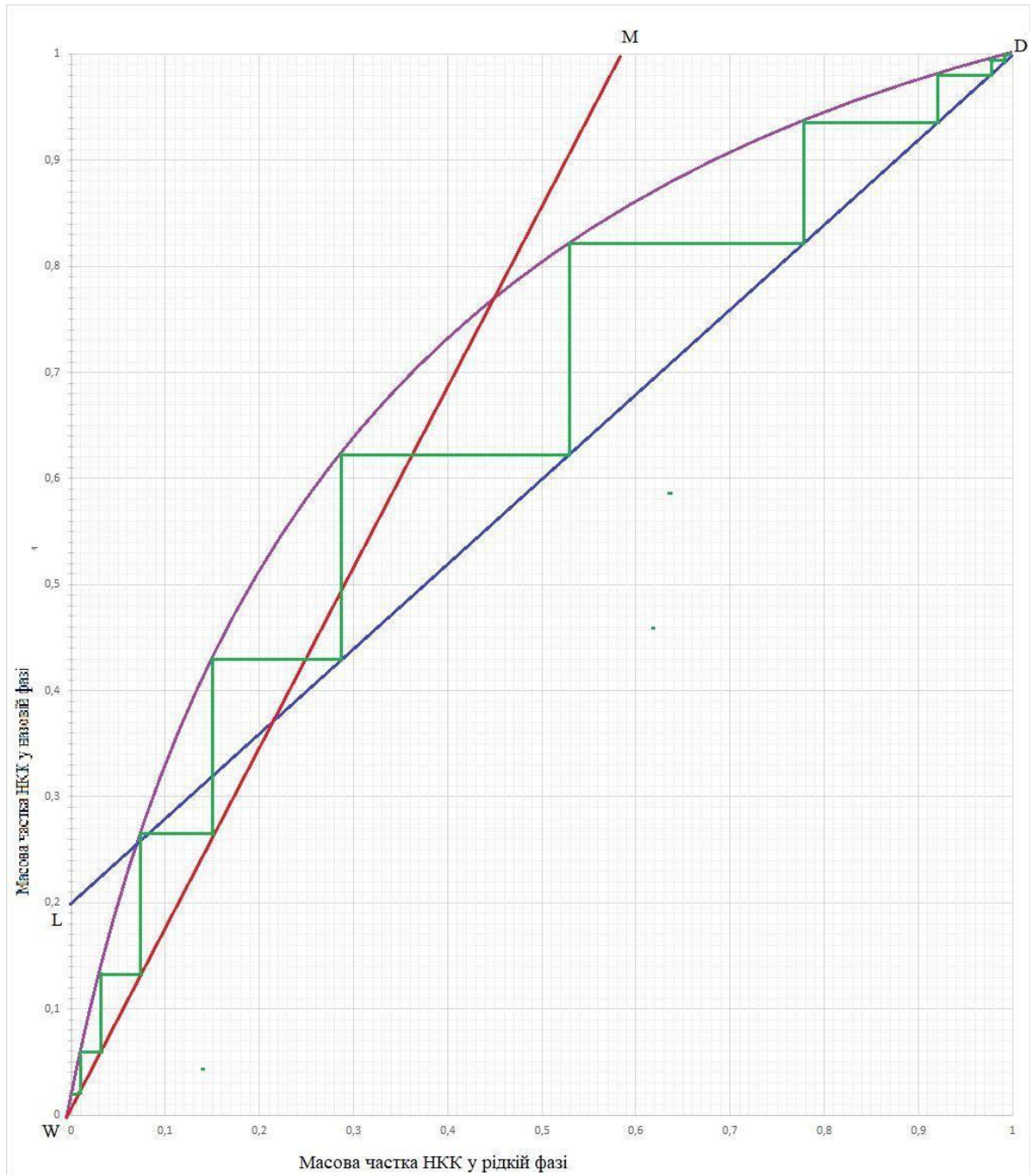


Рис. 2.10. Розрахунок колони

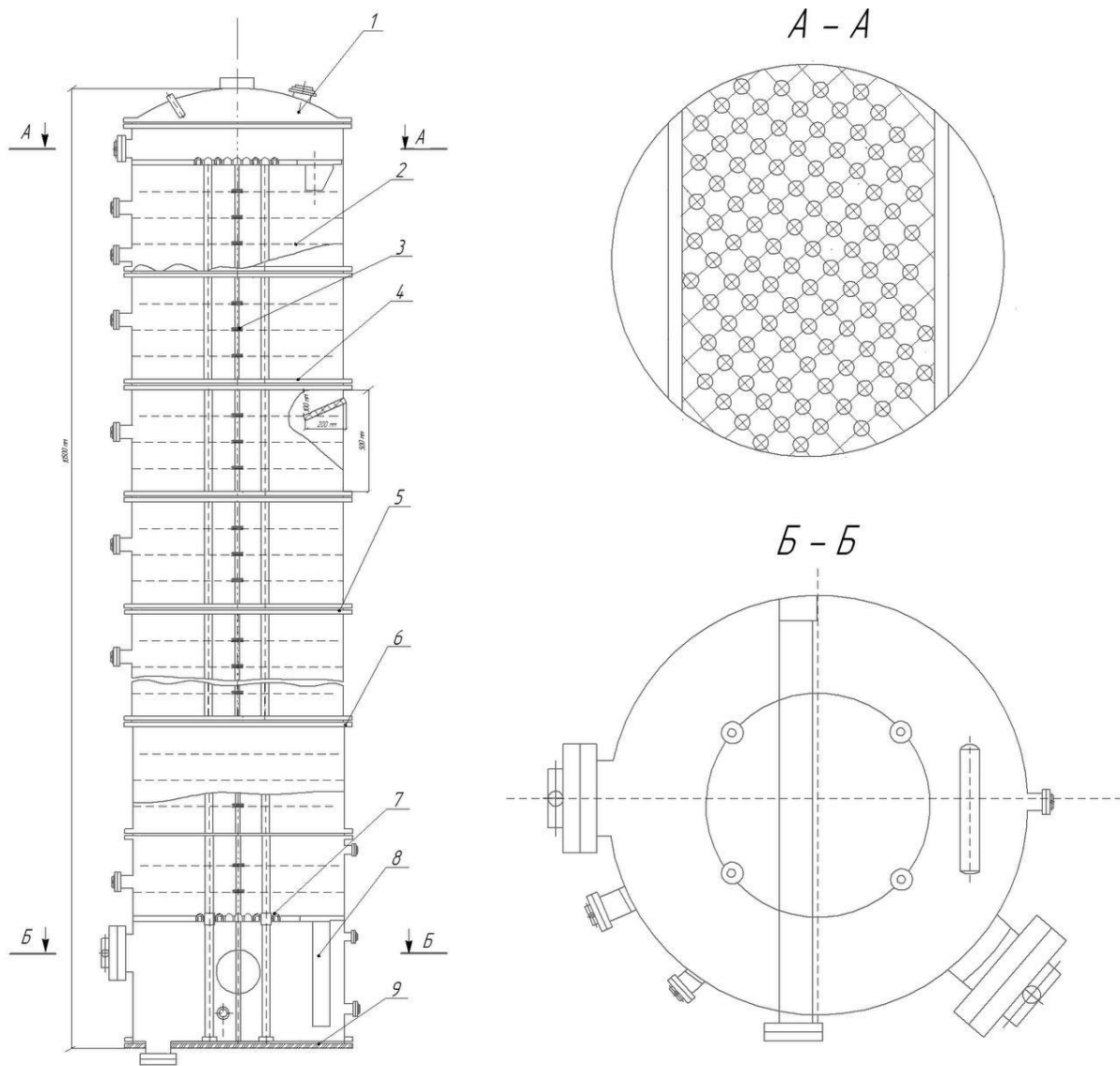


Рис. 2.11. Основний апарат (ректифікаційна колона)

## 2.8 Опис апаратурно-технологічної схеми

Гліцерин-сировина насосом-дозатором **1** подають в змішувач з мішалкою **2**, де він змішується з технічною водою до концентрації гліцерину 50 %. Отримана водно-гліцеринова суміш подається відцентровим насосом **3** в кожухотрубний теплообмінник **4**, в якому суміш нагрівають до температури 210°C. З кожухотрубного теплообмінника водно-гліцеринова суміш подається за допомогою насосу **5** в реактор з мішалкою **6** (230-240°C, 4 МПа). У даному каталітичному реакторі **6** гліцерин взаємодіє з воднем у присутності води та каталізатора Ni/Cu/TiO<sub>2</sub>, утворюючи суміш пропіленгліколю, етиленгліколю, води, залишкового водню, гліцерину та вуглекислого газу. Отримана суміш подається компресором **7** в теплообмінник **8**, де пропіленгліколь і домішки конденсуються. Суміш насосом **9** подається в збірник **10**, де відокремлюють водень. Який в подальшому направляється в каталітичний реактор **6**. У наступних стадіях відбувається поетапне очищення пропіленгліколя. Спочатку неочищений пропіленгліколь перекачується насосом **11** в нутч-фільтр **12**, в якому каталізатор відділяється та подається на регенерацію. З фільтра пропіленгліколь перекачується насосом **13** в збірник **14**, а далі — насосом **15** в першу ректифікаційну колону **16**, в яку подається азеотропний агент (бензол). На даному етапі пропіленгліколь очищається від метанолу, разом з тим видаляється частина води. Далі пропіленгліколь подається насосом **17** в збірник **18**, а звідти — насосом **19** в другу ректифікаційну колону **20**, в яку також надходить циклогептан. Таким чином пропіленгліколь очищується і від домішок ацетолу і частини води. Далі пропіленгліколь подається насосом **21** в збірник **22**, а звідти — насосом **23** в третю ректифікаційну колону **24**, в якій видаляється решта води. Останнім етапом є охолодження чистого пропіленгліколя, надходить в кожухотрубний теплообмінник **25** (25°C), де охолоджується і перекачується насосом **26** в збірник **27**. Очищений пропіленгліколь (містить 99,8 % пропіленгліколю та 0,2 % води) як готова продукція передається на склад.

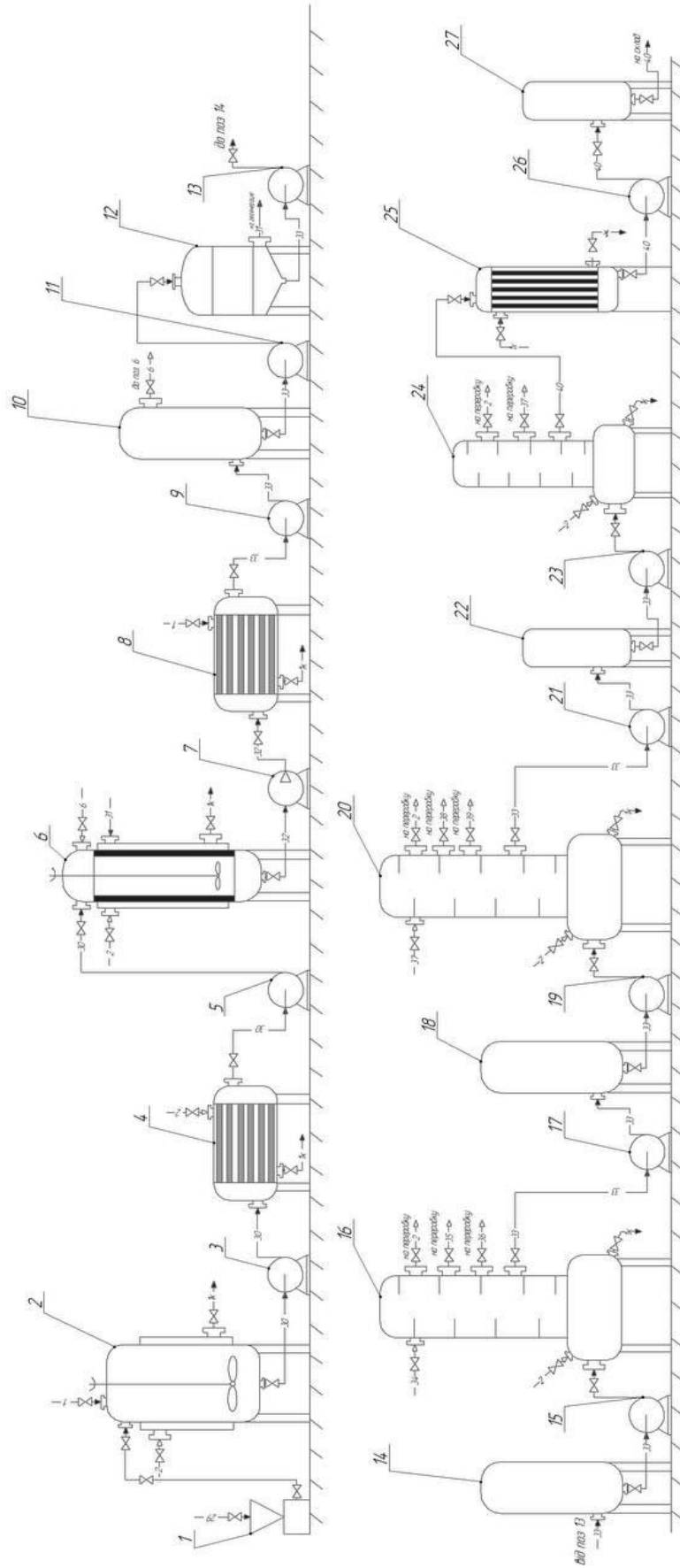


Рис. 2.12 Апаратурно-технологічна схема виробництва пропіленгліколю

## РОЗДІЛ III ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

На підприємствах основної хімічної промисловості, які діють або вперше вводяться в експлуатацію, повинні бути розроблені та затверджені технологічні регламенти у порядку, передбаченому чинними НД.

Обслуговування та ремонт технологічного обладнання підприємств основної хімічної промисловості повинні проводити кваліфіковані працівники, які мають досвід роботи, навички, вміння та знання для виконання цих робіт.

Організація виробничих процесів, пов'язаних із застосуванням шкідливих і токсичних речовин, і використовуване при цьому устаткування мають унеможливити контакту 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 (якщо це допускається технологією) переважно поточковим безперервно замкнутим циклом з автоматизацією окремих операцій. Рідини і суспензії мають переміщуватися трубопроводом. Окремі процеси (зливання продукції, вивантаження і завантаження твердих і пастоподібних речовин), які на цій технологічній операції не можуть бути герметизовані, має бути механізовано з повним усуненням ручних операцій.

До роботи на підприємстві допускаються особи не молодші 18 років, які не мають медичних протипоказань, що пройшли:

- професійну підготовку та мають відповідне кваліфікаційне посвідчення;
- попереднє медичне обстеження;
- вступний інструктаж з охорони праці;
- інструктаж з пожежної безпеки;

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Кваліфікаційна робота	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Ростовецька Д.П.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ III ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.054.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 54/87

– первинний інструктаж з охорони праці на робочому місці та інструктаж з надання першої допомоги;

– інструктаж з електробезпеки для неелектротехнічного персоналу та перевірку засвоєння його змісту, з присвоєнням І групи електробезпеки;

– навчання та перевірку знань вимог охорони праці.

Працівник підприємства має проходити:

– повторний інструктаж з охорони праці на робочому місці не рідше одного разу на шість місяців;

– позаплановий інструктаж: при зміні правил з охорони праці, заміні або модернізації лабораторного обладнання, пристроїв, зміні умов та організації праці, при порушеннях інструкцій з охорони праці, перервах у роботі більш ніж на 60 календарних днів;

– цільовий інструктаж: при виконанні разових робіт (крім посадових обов'язків);

– перевірку знань вимог охорони праці у встановлений термін.

Працівник повинен:

– дотримуватися встановленого режиму праці та відпочинку, положень Правил внутрішнього трудового розпорядку;

– дотримуватись вимог до експлуатації лабораторного обладнання;

– використовувати за призначенням та дбайливо ставитися до виданих засобів індивідуального захисту;

– вміти надавати першу допомогу потерпілому при нещасному випадку;

– знати місцезнаходження засобів надання першої допомоги, первинних засобів пожежогасіння, головних та запасних виходів, шляхів евакуації у разі аварії та пожежі;

– виконувати тільки доручену йому роботу;

– не допускати на робоче місце осіб, які не мають відношення до роботи (сторонніх);

– утримувати робоче місце у чистоті та порядку, дотримуватись вимог гігієни (не приймати їжу на робочому місці, не працювати у стані алкогольного чи іншого сп'яніння; курити у спеціально відведених для цього місцях).

Працівник має бути забезпечений засобами індивідуального захисту відповідно до норм видачі засобів індивідуального захисту.

При роботі в умовах підвищеної загазованості повітря робочої зони необхідно використовувати засоби захисту органів дихання з відповідними елементами, що фільтрують.

При проведенні хімічного аналізу необхідно одягати захисні окуляри та хімічно стійкі гумові рукавички.

При роботі на підприємстві можливий вплив переліку наступних небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- хімічні речовини, які можуть спричинити отруєння та опіки.
- підвищена загазованість повітря робочої зони;
- підвищена напруженість магнітного поля;
- підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини;
- недостатня освітленість робочої зони;
- гарячі поверхні трубопроводів та обладнання.

При роботі працівником на підприємстві можливе виникнення таких професійних ризиків:

- ризик опіку від впливу на незахищені ділянки тіла матеріалів, рідин або газів, що мають високу температуру;
- ризик отруєння при контакті з отруйними речовинами (в т.ч. при вдиханні, контакті шкірою, слизовими);
- ризик утворення токсичних парів при нагріванні.

До роботи з обладнанням, що працює під тиском, допускаються працівники, які пройшли спеціальне навчання та перевірили знання з видачею відповідного посвідчення. При роботі з обладнанням під тиском необхідно

дотримуватись вимог інструкції з охорони праці при транспортуванні та обслуговуванні балонів зі стислими та зрідженими газами.

Працівникам забороняється залишати без нагляду пальники та інші нагрівальні прилади.

При нещасному випадку необхідно надати постраждалому першу допомогу і негайно повідомити про те, що трапилося, безпосередньому або вищому керівнику.

Перед початком роботи необхідно:

- упорядкувати спецодяг. Волосся прибрати під головний убір, що щільно облягає. За відсутності чи несправності спецодягу та засобів захисту роботу не розпочинати, повідомити керівника;

- перевірити та переконатися у справності припливно-витяжної вентиляції;

- перевірити справність обладнання на робочому місці;

- перевірити освітлення робочого місця.

У приміщенні, де виконуються роботи зі шкідливими, токсичними та пожежонебезпечними речовинами, необхідно за 15-20 хвилин до початку роботи включити припливно-витяжну вентиляцію та вимкнути її через 20-30 хвилин після закінчення роботи з ними.

Всі роботи з легкозаймистими рідинами (ЛЗР), горючими рідинами (ГР) та речовинами, здатними виділяти пожежонебезпечні пари та газу, необхідно проводити тільки при працюючій витяжній вентиляції.

Перед роботою з електроприладами та електроустаткуванням необхідно перевірити:

- цілісність ізолюючих рукояток інструментів;

- наявність та цілісність заземлення (занулення) електрообладнання;

- наявність огорож струмоведучих частин електроустановки.

Про всі несправності та помічені недоліки повідомити керівництво.

Працівник має виконувати лише ту роботу, якою пройшов навчання, інструктаж з охорони праці та до якої допущений працівником, відповідальним за безпечне виконання робіт.

Заборонено доручати свою роботу ненавченим та стороннім особам.

Дотримуватись правил переміщення у приміщенні та на території підприємства, користуватися лише встановленими проходами.

Працівник під час роботи повинен:

- використовувати обладнання тільки за призначенням;
- знати хімічні та фізичні властивості сировини, продуктів реакції, хімічних реактивів, що використовуються на виробництві, особливо їх токсичність, вогнебезпечність та вибухонебезпечність;
- знати показники пожежної небезпеки використовуваних хімічних речовин і матеріалів та дотримуватись заходів безпеки при роботі з ними;
- вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння;
- стежити за справністю та цілісністю заземлення (занулення) корпусів електроприладів, електричних машин та обладнання;
- не приступати до роботи з невідомими речовинами (на всіх ємностях з хімічними реактивами та хімічними розчинами мають бути етикетки з чіткими написами).

Усі роботи, пов'язані із застосуванням, виділенням або утворенням їдких, отруйних, вогне- або вибухонебезпечних речовин, повинні проводитися у витяжній шафі при включеній місцевій витяжній вентиляції. Застосування природної вентиляції та рециркуляції повітря не допускається.

Напруга живлення електроустаткування має бути в межах встановлених норм. При перерві в роботі або перерві подачі напруги електроустаткування має бути вимкнено.

Під час роботи з електрообладнанням працівникам підприємства забороняється:

- торкатися відкритих струмовідних частин та корпусів електрообладнання, кабелів, дротів;
- класти на електричні щитки, пульти керування, електричні машини та пускачі будь-які предмети;
- розкривати захисні кожухи пускової апаратури та проникати за огороження розподільчих пристроїв.

При виявленні пошкодження електроприладів, електропроводки, розподільчих пристроїв необхідно негайно припинити роботу, відключити напругу і доповісти про керівника робіт або завідувача лабораторії.

При займанні проводів та електроприладів проводити їх гасіння слід лише після зняття з них напруги.

Під час роботи можуть виникнути такі аварійні ситуації:

- Виникнення пожежі, вибуху;
- ураження електричним струмом;
- Попадання кислоти або лугу на шкіру або в очі;
- Виділення або утворення їдких, отруйних, вогне- або вибухонебезпечних речовин.

При виникненні аварійної ситуації працівник підприємства зобов'язаний припинити роботу, відключити електричні прилади, електрообладнання (апаратуру, стенди), якщо необхідно, здійснити огороження небезпечного місця і негайно повідомити безпосереднього керівника.

Працівники підприємства, що знаходяться поблизу, за сигналом тривоги зобов'язані негайно з'явитися до місця події та взяти участь у наданні першої допомоги потерпілому або усунення аварійної ситуації.

При виникненні пожежі, займанні горючих речовин працівники підприємства повинні негайно повідомити про безпосередній керівник або його заступника, вказавши точне місце виникнення пожежі, займання горючих речовин, вимкнути вентиляцію, відключити електроживлення в даному приміщенні, викликати пожежну охорону, перекрити загальний газовий кран та

приступити до гасіння вогню первинними засобами пожежогасіння, якщо це не загрожує життю та здоров'ю працівника.

При користуванні вогнегасниками струмінь (порошку, вуглекислоти) не спрямовувати на людей. Привести в дію вогнегасник слід відповідно до інструкції, розміщеної на лицьовій частині вогнегасника.

У приміщеннях з внутрішніми пожежними кранами для гасіння пожежі необхідно залучати двох працівників: один розкочує рукав від крана до місця пожежі, другий, за командою розкочує рукав, відкриває кран.

При гасінні вогнища займання кошмою, полум'я слід накривати так, щоб вогонь з-під кошми не потрапляв на людину, яка гасить пожежу.

При гасінні полум'я піском совок, лопату не слід піднімати на рівень очей, щоб уникнути попадання в них піску.

При загорянні на працівнику лабораторії одягу необхідно якнайшвидше погасити вогонь, але при цьому не можна збивати полум'я незахищеними руками. Займистий одяг необхідно швидко скинути, зірвати, або погасити, заливаючи водою. На працівника в одязі, що горить, можна накинути щільну тканину, ковдру, брезент, який після ліквідації полум'я необхідно прибрати.

З появою шкідливих газів працівник лабораторії повинен припинити роботу та надіти необхідні засоби захисту органів дихання.

У разі нещасних випадків на виробництві з іншими працівниками надати потерпілому першу допомогу, допомогти доставити його до найближчого медичного закладу, за необхідності викликати медичних працівників на місце події.

У разі виявлення у службових приміщеннях порушень вимог безпеки праці, які не можуть бути усунені власними силами, а також у разі виникнення загрози життю чи здоров'ю самого працівника чи інших працівників повідомити про це свого безпосереднього керівника, призупинити роботу та залишити небезпечну зону.

Після закінчення роботи необхідно вимкнути газові пальники, електричні та інші прилади, обладнання та водопровідні крани, а також видалити з приміщення відходи горючих та вогнебезпечних речовин, відпрацьовані рідини (зливи), сміття, забруднену ганчір'я, перекрити загальний газовий та водопровідний крани, відключити електроживлення. Зняти спецодяг, упорядкувати його і прибрати в шафу. Ретельно вимити обличчя та руки з милом.

Важливо зазначити, що речовини, які утворюються під час синтезу пропіленгліколю є шкідливими для здоров'я людини, особливо при довготривалому інтенсивному контакті або великих концентраціях (метанол - навіть у найменших концентраціях). З метою забезпечення безпеки працівників, які працюють з пропіленгліколем під час процесу ретифікації, необхідно вживати різноманітні заходи безпеки. Ці заходи можуть включати встановлення ефективної системи вентиляції, яка забезпечує ефективне видалення шкідливих парів та газів з робочої зони. Також необхідне забезпечення працівників необхідним захисним спорядженням, таким як захисні костюми, рукавиці, окуляри та респіратори.

## РОЗДІЛ ІV ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЕКОЛОГІЧНІ СТАНДАРТИ БЕЗПЕКИ

Екологічна стандартизація і сертифікація належить до загальних функцій державної системи екологічного управління.

Стандарт (від англ. standart – норма) — нормативно-технічний документ, що встановлює комплекс норм, правил, вимог, обов'язкових для виконання.

Під екологічною стандартизацією слід розуміти встановлення єдиного і обов'язкового для всіх об'єктів даного рівня системи управління екологічних норм і вимог.

Об'єкти стандартизації:

- терміни, визначення і системи класифікації;
- показники якості природних середовищ;
- параметри викидів і скидів забруднюючих речовин;
- методи визначення параметрів стану природних об'єктів та інтенсивності антропогенного впливу;
- вимоги до способів та засобів контролю і вимірювання, а також до пристроїв, апаратів і споруджень з охорони природного середовища.

Законодавчою базою екологічної стандартизації в Україні є Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 р. (Розділ VII, ст. 31 - 33).

Екологічна стандартизація і нормування проводяться з метою встановлення комплексу обов'язкових норм, правил, вимог щодо охорони навколишнього природного середовища, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Кваліфікаційна робота	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Ростовецька Д.П.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ ІV ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ЕКОЛОГІЧНІ СТАНДАРТИ БЕЗПЕКИ	ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.062.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 62/87

Державні стандарти в галузі охорони природного середовища є обов'язковими для виконання і визначають поняття і терміни, режим використання й охорони природних ресурсів, методи контролю за станом навколишнього природного середовища, вимоги щодо запобігання негативного впливу забруднень на здоров'я людей, інші питання, пов'язані з охороною навколишнього природного середовища та використанням природних ресурсів.

Система екологічних нормативів включає:

а) нормативи екологічної безпеки (гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі, гранично допустимі рівні акустичного, електромагнітного, радіаційного та іншого шкідливого фізичного впливу на навколишнє природне середовище, гранично допустимий вміст шкідливих речовин у продуктах харчування);

б) гранично допустимі викиди і скиди забруднюючих речовин у навколишнє природне середовище забруднюючих хімічних речовин, рівні шкідливого впливу фізичних і біологічних факторів. Законодавством України можуть установлюватися нормативи використання природних ресурсів та інші екологічні нормативи.

Екологічні нормативи мають відповідати вимогам охорони навколишнього природного середовища і здоров'я людей від негативного впливу забруднюючих речовин. Загальні положення екологічного законодавства конкретизуються в державних стандартах (ДСТУ), які відносяться до підзаконних правових актів. Екологічні стандарти розробляються згідно з вимогами ДСТУ 1.0-93 «Основні положення», ДСТУ 1.2-93 «Порядок розробки державних стандартів», ДСТУ 1.5-93 «Загальні вимоги до побудови, викладу та змісту стандартів» і вводяться в дію в порядку, що встановлюється законодавством України.

Екологічні стандарти поділяють на міжнародні, міждержавні, державні, галузеві й локальні. Державні стандарти, санітарні норми та правила, які були розроблені в СРСР, стали регіональними міжнародними стандартами.

Відповідно до досягнутої угоди між колишніми республіками СРСР, подальше удосконалення державних стандартів з урахуванням вимог міжнародних стандартів проводиться спеціалістами Технічних комітетів у рамках Міждержавної ради із стандартизації, метрології і сертифікації (МГС). Міжнародні стандарти затверджуються й впроваджуються Міжнародною організацією із стандартизації (ISO), державні – спеціальними постановами Державного комітету України з питань технічного регулювання й споживчої політики (Держспоживстандарт України), галузеві – наказом відповідного міністерства або відомства, локальні – постановою територіального природоохоронного органа в рамках його компетенції. Велике значення в розвитку стандартів управління навколишнім середовищем зіграла постанова Європейського Союзу № 1836/93 «Про екологічний аудит». Вона визначила умови для добровільної участі компаній промислового сектору в системі співтовариств з управління і перевірки екологічної якості своєї продукції.

Вимоги у сфері охорони природного середовища визначені серією міжнародних стандартів ISO 14000. Моделлю для цих стандартів є британські стандарти BS 7750, у реалізації яких зараз добровільно беруть участь близько 500 компаній. Система стандартів ISO 14000 також використовувала модель міжнародних стандартів з систем управління якістю продукції (ISO 9000), відповідно до яких на даний момент сертифіковано більше 70000 підприємств і компаній по усьому світу. Перші стандарти із серії ISO 14000 офіційно прийняті та опубліковані наприкінці 1996 року. Передбачається, що система стандартів буде забезпечувати зменшення негативних впливів на природне середовище на трьох рівнях:

1. Організаційний – через поліпшення екологічного «поводження» корпорацій.
2. Національний – через створення вагомого доповнення до національної нормативної бази й компонента державної екологічної політики.

3. Міжнародний – через поліпшення умов міжнародної торгівлі. Документи, що входять до системи стандартів ISO 14000, можна умовно розділити на три основні групи:

- принципи використання систем екологічного менеджменту (EMS);
- інструменти екологічного контролю та оцінки;
- стандарти, орієнтовані на продукцію.

У трьох названих областях розроблені й розробляються наступні документи. Принципи екологічного менеджменту:

- ISO 14001 Системи екологічного менеджменту (EMS) – специфікації й посібник з використання;
- ISO 14004 EMS Загальний посібник із принципів, систем і методів;
- ISO 14014 Посібник з визначення «початкового рівня» екологічної ефективності підприємства (повинен використовуватися перед створенням системи екологічного менеджменту).

Інструменти екологічного контролю й оцінки:

- ISO 14010 Посібник з екологічного аудиту – Загальні принципи екологічного аудиту;
- ISO 14011/1 Посібник з екологічного аудиту – Процедури аудиту - Аудит систем екологічного менеджменту;
- ISO 14012 Посібник з екологічного аудиту – Критерії кваліфікації екологічних аудиторів;
- ISO 14031 Посібник з оцінки екологічних показників діяльності організації. Стандарти, орієнтовані на продукцію:
- ISO 14020 (Серія документів) Принципи екологічного маркування продукції;
- ISO 14040 (Серія документів) Методологія «оцінювання життєвого циклу» – оцінювання екологічного впливу, пов'язаного із продукцією, на всіх стадіях її життєвого циклу;
- ISO 14050 Глосарій;

- ISO 14060 Посібник з обліку екологічних аспектів у стандартах на продукцію Системи екологічного менеджменту – Environmental Management Systems (EMS).

Ключовим поняттям серії ISO 14000 є поняття системи екологічного менеджменту в організації (підприємстві або компанії). Тому центральним документом стандарту вважаються ISO 14001 – «Специфікації і посібник з використання систем екологічного менеджменту». На відміну від інших документів, всі його вимоги підлягають аудиту – передбачається, що відповідність або невідповідність їм конкретної організації може бути встановлена з високим ступенем визначеності. Всі інші документи розглядаються як допоміжні; наприклад, ISO 14004 містить більш розгорнутий посібник зі створення системи екологічного менеджменту, серія документів 14010 визначає принципи аудиту EMS. Серія 14040 визначає методологію «оцінювання життєвого циклу», який може використовуватися при оцінюванні екологічних впливів, пов'язаних із продукцією організації.

Однією з особливостей хімічного виробництва є необхідність захисту навколишнього середовища від впливу шкідливих факторів виробництва.

Забезпечення виробництва високоякісної продукції вимагає одночасно екологічної обґрунтованості і зведення до мінімуму негативного впливу різного роду забруднень.

Основними джерелами забруднення атмосфери при виробництві є вентиляційні установки, що видаляють забруднене повітря від технологічного устаткування основного і допоміжного виробництв, і загально-обмінні вентиляційні установки.

Допоміжне виробництво хімічних підприємств містить у собі різні ділянки, які забезпечують роботу основного технологічного устаткування, його ремонт, матеріально-технічне постачання, і являє собою технологічні процеси обробки металу, деревини, зварювання та проведення типографських робіт.

Організованими викидами шкідливих речовин вважаються такі, які відводяться від місць їхнього виділення системою газовідводів, що дозволяє застосовувати для їхнього уловлювання відповідні установки.

Неорганізовані викиди виникають за рахунок негерметичності технологічного устаткування та газовідвідних пристроїв.

Таким чином, основним висновком, який може бути зроблений після етапу збору і попереднього аналізу інформації, є те, що забруднення навколишнього середовища відбувається, у першу чергу, через використання застарілого технологічного обладнання. Обсяги викидів, що надходять в атмосферу від хімічних підприємств, могли б бути зменшені в основному зарахунок зниження забруднень, які надходять від неорганізованих джерел.

## РОЗДІЛ V ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

Виробничі процеси підприємства бувають основними, допоміжними, підсобними та бічними (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

### Перелік виробничих процесів

Основні виробничі процеси	Подача води та гліцерину Дистиляція гліцерину Каталітичне перетворення гліцерину в пропіленгліколь Конденсація Очищення гліцерину Відбір цільового продукту та подача його на склад
Допоміжні виробничі процеси	Обслуговування обладнанням та трубопроводів.
Підсобні виробничі процеси	Підготовка сировини
Бічні виробничі процеси	Прибирання цеху

Предмет праці – сировина або матеріали, які підлягають обробці. Предмети праці входять до складу оборотних засобів. Порядок проходження предметів праці через всі стадії виробничого процесу – називають видом руху предметів праці. Вид руху предметів праці по стадіям виробництва в значній мірі впливає на діяльність виробничого циклу. Розрізняють такі види руху предметів праці: послідовний; паралельний; змішаний; синхронізований.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Кваліфікаційна робота	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Ростовецька Д.П.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ V ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА	ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.068.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 68/87

## Операції отримання продукції

№	Операція	Час, хв.
1	Вхідний контроль якості сировини	20
2	Підготовка сировини	30
3	Змішування з водою	20
4	Каталітичне перетворення гліцерину в пропіленгліколь	600
5	Конденсація	60
6	Очищення пропіленгліколю	120
78	Подача готової продукції на склад	30
	Вихідний контроль сировини	20

Тривалість технологічного циклу:

$$T = (20 + 30 + 20 + 600 + 60 + 120 + 30 + 20) = 900 \text{ хв} = 15 \text{ год}$$

За умови, що підприємство працює 6 днів на тиждень, загальний фонд робочого часу становить

$$\Phi = 15 \cdot 6 = 90 \text{ год.}$$

Для працівників, зайнятих на роботах із шкідливими умовами праці, встановлено скорочену тривалість робочого часу – 36 годин на тиждень. Таким чином, кількість працівників та обслуговуючого персоналу має становити:

$$П = 90 : 36 = 2,5 \text{ особи на посаду}$$

Організаційна структура повинна повністю забезпечити потреби виробництва в обслуговуванні. Таким чином на підприємстві повинно працювати 58 осіб (табл. 5.3).

Для забезпечення роботи підприємства необхідно приміщення загальною площею 2000 м<sup>2</sup>, в якому розташовані кабінети керівництва, виробничий цех оснащений відповідним обладнанням, лабораторія контролю якості та складське приміщення, де буде знаходитись товар під замовлення.

Таблиця 5.3

## Кількість персоналу

Відділ	Посада	Кількість на зміну	Загальна кількість
Керівництво	Директор	1	1
	Комерційний директор	1	1
	Бухгалтер	2	2
	Інженер	2	2
	Технолог	2	2
Працівники	Начальник виробництва	1	1
	Замісник начальника виробництва	1	1
	Начальник лабораторії	1	1
	Замісник начальника лабораторії	1	1
	Лаборант	2	5
	Начальник складу	1	1
	Секретар	1	1
	Апаратник	10	25
Обслуговуючий персонал	Водій	1	1
	Вантажник	2	5
	Прибиральниця	2	5
	Охоронець	3	3

## РОЗДІЛ VI ЕКОНОМІКА ВИРОБНИЦТВА

### 6.1 Розрахунок техніко – економічних показників

#### 1) Витрати на електроенергію

Потужність обладнання  $N = 0,2$  МВт · год. Оскільки потужність більше за 30 кВт/год, тому маємо перший клас напруги.

Визначимо тарифи:

Прогнозована ціна закупівлі електричної енергії - 3 100 грн/МВт · год (без урахування податку на додану вартість)

Тариф на послуги з передачі електричної енергії - 528,57 грн/МВт · год (без урахування податку на додану вартість)

Тариф на послуги з розподілу (ПРАТ «ДТЕК Київські регіональні електромережі») 1 клас напруги — 402,65 грн/МВт·год (без урахування податку на додану вартість).

Тариф на послуги постачальника універсальних послуг (ТОВ «Київська обласна енергопостачальна компанія): 80,33 грн/МВт · год (без урахування податку на додану вартість)

Підприємство працює 16 годин на добу, 300 днів на рік.

$$\begin{aligned} \text{Ел.енергія} &= 0,2 \cdot 16 \cdot 300 \cdot (3100+528,57+ 402,65+ 80,33) \cdot 1,2 = \\ &= 4736505,6 \text{ грн/рік} \end{aligned}$$

Витрати на опалення цеху. Загальна площа становить 2000 м<sup>2</sup> на опалення: 31,55 грн/м<sup>2</sup>. Сезон опалення: 6 місяців.

$$\text{Зопап.} = 2000 \cdot 31,55 \cdot 6 = 378600 \text{ грн/рік}$$

$$\text{Сумарні затрати на енергію: } 4736505,6 + 378600 = 5115105,6 \text{ грн/рік.}$$

#### 2) Витрати на заробітну плату розраховані в табл. 6.1.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Кваліфікаційна робота	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Ростовецька Д.П.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ VI ЕКОНОМІКА ВИРОБНИЦТВА	ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.071.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 71/87

## Фонд заробітної плати

Посада	Загальна кількість	Посадовий оклад	Сумарно
Директор	1	50000	50000
Комерційний директор	1	30000	30000
Бухгалтер	2	18000	36000
Інженер	2	22000	44000
Технолог	2	22000	44000
Начальник виробництва	1	20000	20000
Замісник начальника виробництва	1	18000	18000
Начальник лабораторії	1	17000	17000
Замісник начальника лабораторії	1	16000	16000
Лаборант	5	12000	60000
Начальник складу	1	17000	17000
Секретар	1	10000	10000
Апаратник	25	12000	300000
Водій	1	10000	10000
Вантажник	5	12000	60000
Прибиральниця	5	9000	45000
Охоронець	3	11000	33000
Всього	58		810000

Заробітна плата за рік:  $810000 \cdot 12 = 9720000$  грн/рік.

Фонд оплати праці з нарахуваннями:  $9720000 \cdot 1,22 = 11858400$  грн/рік.

3) Вартість основних фондів:

- Вартість споруд і будівель - 1 200 000грн
- Вартість обладнання та монтажу (табл. 6.2).

## Вартість обладнання та монтажу

Найменування	Кількість	Вартість, грн.		Вартість монтажу, грн.	
		Одиниці	Загальна	Одиниці	Загальна
Збірник	5	30000	150000	1000	5000
Компресор	1	40000	40000	1000	1000
Реактор	1	588000	588000	20000	20000
Кожухотрубний теплообмінник	3	50000	150000	5000	15000
Відцентровий насос	11	30000	330000	3000	330000
Ректифікаційна колона	3	250000	750000	30000	90000
Збірник з мішалкою	1	50000	50000	1000	1000
Нутч-фільтр	1	35000	35000	3000	3000
Всього			2093000		465000

Сумарно вартість обладнання та монтажу:

$2093000 + 465000 = 2558000$  грн.

- Нематеріальні активи (ліцензії на п/з на 10 років) - 25 000 грн

Сумарна вартість основних фондів: 3783000 грн.

Амортизація:

ОФ = 3783000 грн.

Час експлуатації ОФ – 10 років.

Норма амортизації:

$N_A = 1 / 10 \cdot 100\% = 10\%$  .

$A = 3783000 / 10 = 378300$  грн

4) Витрати на сировину:

Вартість гліцерину технічного - 50 грн / кг

Витрата гліцерину - 1611,81 кг/добу

Річні витрати:  $50 \cdot 1611,81 \cdot 300 = 24177150$  грн.

Калькуляція – це документ, який розраховує і затверджує собівартість одиниці продукції.

Таблиця 6.3

### Калькуляція на вид продукції

№	Елемент	Вартість, грн
1	Сировина та матеріали	24 177 150
2	Витрати на енергію	5 115 105,6
3	Запасні частини	500 000
4	Фонд оплати праці	11 858 400
5	Амортизація	378 300
<b>Разом:</b>		42 028 955,6

## 6.2 Розрахунок собівартості, прибутку, рентабельності виробництва

1. Розрахунок собівартості:

Випуск продукції за рік:

$$N = n \cdot Д = 1000 \cdot 300 = 300\,000 \text{ кг/рік.}$$

Собівартість одиниці продукції:

$$42\,028\,955,6 / 300\,000 = 140 \text{ грн/кг}$$

2. Розрахунок прибутку

Запланована ринкова ціна - 200 грн/кг добавки. За добу підприємство виготовляє 1000 кг.

Ціна продукту за рік:

$$Ц = 150 \cdot 1000 \cdot 300 = 60\,000\,000 \text{ грн/рік}$$

Визначимо річний прибуток підприємства:

$$П = Ц - С = 60\,000\,000 - 42\,028\,955,6 = 17\,971\,044,4 \text{ /рік}$$

3. Рентабельність:

$$Р = П / С \cdot 100\% = 17\,971\,044,4 / 42\,028\,955,6 \cdot 100\% = 42,76\%$$

4. Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = \Pi / K = 17\,971\,044,4 / 45\,811\,955,6 = 0,39$$

$$K = \text{ОФ} + \text{ОБЗ}$$

$$K = 3\,783\,000 + 42\,028\,955,6 = 45\,811\,955,6 \text{ грн}$$

5. Період повернення капіталовкладень:

$$T_{\text{пов}} = 1 / E = 1 / 0,39 = 2,56 \text{ роки.}$$

6. Фондовіддача основних засобів виробництва:

$$\Phi B = \Pi / \text{ОФ} = 60\,000\,000 / 3\,783\,000 = 15,86.$$

7. Фондоємність:

$$\Phi C = 1 / \Phi B = 1 / 15,86 = 0,063.$$

## РОЗДІЛ VII ЯКІСТЬ ТА БЕЗПЕКА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

### 7.1 Оцінка якості сировини

Визначення якості гліцерину як сировини здійснюють згідно ГОСТ 7482-96.

*Визначення прозорості.* У чисту суху пробірку наливають гліцерин висотою стовпа 50 мм і розглядають його в світлі, що проходить. Гліцерин вважають прозорим, якщо в ньому немає зважених частинок або каламуті.

*Визначення густини гліцерину.* Пробу гліцерину поміщають у чистий сухий циліндр так, щоб рівень рідини не доходив до верхнього краю на 3-4 см і витримують 20 хв у термостаті при температурі  $(20 \pm 1)$  °С. Далі вимірюють температуру гліцерину, обережно перемішуючи його термометром. При досягненні температури гліцерину  $(20 \pm 1)$  °С циліндр обережно опускають чистий сухий ареометр. Відстань від нижнього кінця ареометра, зануреного в пробу, до дна циліндра має бути не менше 3 см. Ареометр не випускають з рук до тих пір, поки він не плаватиме, не торкаючись стінок і дна циліндра.

Відлік ведуть через 3-4 хв після занурення по розподілу на шкалі ареометра, що відповідає нижньому краю меніска рідини.

При відліку очей має бути на рівні нижнього краю меніска.

Після відліку знову вимірюють температуру гліцерину, що має бути  $(20 \pm 1)$  °С. Якщо різниця температур, виміряних до і після зняття показання, більша за 0,3 °С, необхідно повторювати вимір до тих пір, поки температура зразка не встановиться.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Кваліфікаційна робота	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Ростовецька Д.П.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ VII ЯКІСТЬ ТА БЕЗПЕКА ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ	ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.076.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 76/87

Визначення слід проводити з наступними обережностями: гліцерин наливають в циліндр обережно по стінці, щоб уникнути утворення бульбашок повітря. Залитий в циліндр гліцерин не слід залишати на тривалий час до проведення вимірювання. Самі вимірювання необхідно проводити по можливості в короткий термін (через велику гігроскопічність гліцерину). Повторно використовувати ту ж саму пробу не допускається.

За результат вимірювання приймають середнє арифметичне двох паралельних вимірювань, допустиме абсолютне розходження між якими не повинно перевищувати  $0,005 \text{ г/см}^3$  при довірчій ймовірності  $P = 0,95$ .

*Визначення масової частки гліцерину у сировині.* Для приготування йодної кислоти  $5,3 \text{ г}$  йоднокислого калію або  $7 \text{ г}$  йоднокислого натрію розчиняють попередньо в  $140 \text{ см}^3$  10%-ного розчину сірчаної кислоти в колбі місткістю  $1000 \text{ см}^3$ .

Після повного розчинення йоднокислого калію (або натрію) об'єм доводять дистильованою водою до  $1000 \text{ см}^3$ . Розчин зберігають у склянці із темного скла.

Маса проби сирого гліцерину для вимірювання має становити  $0,5 \text{ г}$ .

Пробу гліцерину поміщають у мірну колбу місткістю  $500 \text{ см}^3$  і розбавляють дистильованою водою до мітки.

З отриманого розчину піпеткою відбирають  $25 \text{ см}^3$  розчину і переносять у конічну колоу з шліфованою пробкою. До відібраної проби додають піпеткою  $25 \text{ см}^3$  розчину йодної кислоти і після змішування відстоюють протягом  $10 \text{ хв}$  у темному місці. Після цього до окисленого розчину доливають  $20 \text{ см}^3$  розчину йодистого калію,  $20 \text{ см}^3$  розчину сірчаної кислоти і  $100 \text{ см}^3$  дистильованої води, ретельно змиваючи стінки колби. Йод, що виділився, відразу ж відтитрують розчином тіосульфату натрію в присутності крохмалю.

Одночасно у тих самих умовах проводять контрольний досвід, додаючи замість проби гліцерину  $25 \text{ см}^3$  дистильованої води.

Масову частку чистого гліцерину у сировині розраховують за формулою:

ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.077.КР.ПЗ	Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 77/87
---------------------------------	------------	----------------------------	------------	----------------

$$X = \frac{(V - V_1) \times 0,0023024 \times 100 \times 20}{m} = \frac{(V - V_1) \times 4,6048}{m}$$

де  $V$  - об'єм розчину тіосульфату натрію, витрачений на титрування в контрольному досвіді, см;

$V_1$  - об'єм розчину тіосульфату натрію, витрачений на титрування в основному досліді, см<sup>3</sup>;

$m$  - маса проби гліцерину, г;

0,0023024 - кількість гліцерину, що відповідає 1 см<sup>3</sup> розчину тіосульфату натрію номінальної концентрації 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

За результат вимірювання приймають середнє арифметичне значення результатів двох паралельних вимірювань, абсолютна розбіжність між якими не повинна перевищувати 0,4% при довірчій ймовірності  $P = 0,95$ .

Обчислення виконують з точністю до першого десяткового знака з наступним заокругленням до цілого числа.

Межа можливих значень абсолютної похибки вимірювань 0,16 % при довірчій ймовірності  $P = 0,95$ .

## 7.2 Оцінка якості готової продукції

*Визначення густини пропіленгліколю.* Густину пропіленгліколю визначають аерометром або пікнометром за ДСТУ 7261:2012. При відмінностях в оцінці густину аналіз проводять пікнометром.

*Визначення масової частки органічних домішок та масову частку чистого пропіленгліколю.* Масову частку домішок та пропіленгліколю проводять методом газорідинної хроматографії з використанням «внутрішнього еталону».

Полісорб-1 відсіюють, відбирають фракцію 0,25-0,50 мм, переносять її на воронку типу ВФ або ВФО, промивають ацетоном, спиртом, взятими в 3-5-кратному надлишку по відношенню до об'єму полісорбу, для видалення залишків ацетону, спирту, воронку приєднують до водоструминного насоса.

Потім насипаний тонким шаром на фільтрувальний папір полісорб-1 сушать (при кімнатній температурі) у витяжній шафі.

Насадку готують так: поліетиленгліколь 20000, взятий у кількості 5% від маси полісорбу-1 (насадка I) або 5 % від маси хроматону N-AW (або інертону AW, або інертону «Супер») (насадка II), і полісорб (хроматон або інертон) зважують. Результати зважування записують у грамах до другого десяткового знака. Поліетиленгліколь розчиняють у хлороформі. Приготовлений розчин при безперервному перемішуванні в ванні приливають до полісорбу (хроматону або інертону), поміщеному у випарювальну чашку. Об'єм розчину повинен бути таким, щоб полісорб (хроматон або інерто) був повністю змочений розчином. Випарювальну чашку поміщають на водяну баню, нагріту до  $(50 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , і, безперервно перемішуючи її вміст, випарюють хлороформ.

Хроматографічну колонку послідовно промивають водою, ацетоном і сушать в струмі повітря при кімнатній температурі. Потім в колонку невеликими порціями вносять насадку, ущільнюючи її постукуванням або за допомогою вібратора із застосуванням вакуумування (під'єднавши протилежний від введення насадки кінець колонки до водоструминного або вакуумного насоса). Кінці заповненої колонки закривають склотканиною або скловатою.

Заповнену колонку встановлюють термостат хроматографа, не приєднуючи до детектора, продувають гелієм (азотом) протягом 8-10 год, поступово піднімаючи температуру від кімнатної до  $200 ^\circ\text{C}$ , і витримують протягом 18-20 год при  $200 ^\circ\text{C}$ .

Монтаж, налагодження та виведення хроматографа на робочий режим проводять відповідно до інструкції, що додається до приладу.

Залежно від моделі хроматографа і партії полісорбу, що застосовується, в умови режиму роботи хроматографа можуть бути внесені деякі зміни з метою досягнення повного поділу домішок і контролю вмісту домішок з похибкою, зазначеної в цьому стандарті.

Масову частку органічних домішок і поліієнглїколю визначають методом «внутрішнього еталона» з урахуванням градуовальних коефіцієнтів. Як «внутрішній зразок» використовують дециловий спирт при застосуванні насадки I і бензиловий спирт при застосуванні насадки II.

Градування хроматографа здійснюють за штучними сумішами.

Штучні суміші готують наступним чином: у стаканчик для зважування поміщають аналізовану домішка, «внутрішній еталон», пропієнглїколь. Масова частка домішки, що аналізується, і «внутрішнього еталона» у співвідношенні 1:1 повинна становити 0,1—1,0 % від маси пропієнглїколю. Результати всіх зважувань записують у грамах до четвертого десяткового знака.

Для кожної концентрації аналізованої домішки готують суміш з похибкою не більше 10% від заданого значення при довірчїй ймовірності  $P=0,95$ . Приготовлену суміш перемішують, мікрошприцем відбирають необхідний об'єм продукту, що аналізується, і вводять у випарник хроматографа. Після хроматографування штучної суміші у випарник хроматографа вводять пробу того ж об'єму пропієнглїколю, використуваного при приготуванні штучної суміші. Середній градуовальний коефіцієнт для кожного компонента визначають за результатами 4-5 паралельних визначень за трьома сумішами.

Площа піку обчислюють як добуток висоти піку з його ширину, виміряну середині висоти з урахуванням масштабу запису.

Градуовальний коефіцієнт (K) розраховують за формулою:

$$K = \frac{m_i \times S_{et}}{m_{et} \times S_i}$$

де  $m_i$  - маса наважки аналізованої домішки, г;

$m_{et}$  - маса навішування «внутрішнього еталону», г;

$S_{et}$  - площа піку «внутрішнього еталона», мм<sup>2</sup>;

$S_i$  - площа піку аналізованої проби, що визначається як різниця площ сигналу аналізованої домішки в штучній суміші і у вихідному пропіленгліколі, мм<sup>2</sup>;

За градувальний коефіцієнт для кожної домішки приймають середнє арифметичне результатів всіх визначень, обрахованих із точністю до другого десяткового знака.

Градування хроматографа проводять після 400 визначень, а також за зміни умов хроматографічного визначення.

Градувальний коефіцієнт для неідентифікованої домішки в діетиленгліколі приймають рівним градувального коефіцієнта етиленгліколю.

4-5 г пропіленгліколю зважують у склянці для зважування і додають 0,1-1,0% «внутрішнього еталона» від маси аналізованого продукту. Результати зважування записують у грамах до четвертого десяткового знака. Суміш ретельно перемішують, мікрошприцом відбирають необхідну кількість аналізованого продукту і вводять у випарник хроматографа.

Масову частку домішки ( $X_i$ ) у відсотках обчислюють за формою:

$$X_i = \frac{K_i \times m_{et} \times S_i \times 100}{m_i \times S_{et}}$$

Масову частку органічних домішок обчислюють, підсумовуючи виміряні масові частки кожної домішки.

За результат аналізу надають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, що допустима розбіжність між якими не перевищує абсолютне значення, рівне для етиленгліколю 0,025%, для органічних домішок 0,07% при довірчій ймовірності  $P - 0,95$ .

Допустима абсолютна сумарна похибка результату аналізу (насадка І) для етиленгліколю  $\pm 0,025$  %, для органічних домішок  $\pm 0,13$  % (марка А) і для етиленгліколю  $\pm 0,12$ , для органічних домішок  $\pm 0,60$  % (марка Б) при довірчій ймовірності  $\pm 0,95$ .

Масову частку діетиленгліколю (X) у відсотках обчислюють за формулою:

$$X = 100 - \sum X_i - X_{H_2O}$$

*Визначення масової частки води.* Масову частку води визначають за ДСТУ 7525:2014 реактивом Фішера візуальним або електрометричним титруванням.

При титруванні використовують бюретки виконання 7 місткістю 3 або 10 см<sup>3</sup>.

За результат аналізу приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, абсолютне розходження між якими не перевищує допускається розбіжність, що дорівнює 0,005%.

Абсолютна сумарна похибка результату аналізу  $\pm 0,005$  % при довірчій ймовірності  $P=0,95$ . При виникненні розбіжностей щодо оцінки якості продукту, масову частку води визначають електрометричним методом.

*Визначення числа омилення.* 99,5-100,5 г аналізованого продукту зважують, записуючи результати зважування в грамах до другого десяткового знака. Наважку поміщають у конічну колбу і додають 25 см<sup>3</sup> розчину гідроксиду калію. Колбу з вмістом приєднують до холодильника: з трубкою з натронним вапном, і нагрівають на киплячій водяній бані протягом 1 год. Потім колбу з вмістом охолоджують до кімнатної температури, змивають холодильник через верх 10-20 см<sup>3</sup> листильованої води, від'єднують в колбу додають 3-5 крапель розчину фенолфталеїну і титрують розчином сірчаної кислоти до знебарвлення.

У тих же умовах проводять контрольний досвід з 50 см<sup>3</sup> дистильованої води.

Число омилення (X) в мг гідроксиду калію на 1 г пропіленгліколю обчислюють за формулою:

$$X = \frac{(V - V_1) \times 5,6}{m}$$

де  $V$  - об'єм розчину сірчаної кислоти концентрації  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , витрачений на контрольне титрування,  $\text{см}^3$ ;

$V_1$  - об'єм розчину сірчаної кислоти концентрації  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ , витрачений на титрування аналізованого розчину,  $\text{см}^3$ ;

5,6 - маса гідроксиду калію, що відповідає  $1 \text{ см}^3$  спиртового розчину гідроксиду калію, концентрації точно  $0,1 \text{ моль/дм}^3$ ,  $\text{мг/см}^3$ ;

$m$  - маса наважки пропіленгліколю, г.

За результат аналізу приймають середнє арифметичне двох паралельних визначень, що розбіжності між якими не перевищують  $0,01 \text{ мг}$  гідроксиду калію на  $1 \text{ г}$  діетилен-гліколю при довірчій ймовірності  $P = 0,95$ .

Абсолютна сумарна похибка результатів аналізу, що допускається становить  $0,01 \text{ мг}$  гідроксиду калію на  $1 \text{ г}$  пропіленгліколю.

## ВИСНОВКИ

1. Досліджено технологію виробництва пропіленгліколю визначено головні матеріальні потоки, хімічні перетворення, які відбуваються, побічні продукти синтезу, описано стадії виробництва і складено принципову технологічну схему.

2. Здійснено вдосконалення технології виробництва пропіленгліколю за рахунок проведення очищення ректифікацією у три стадії, що забезпечує високий рівень чистоти готової продукції.

3. Розраховано матеріальний та тепловий баланси виробництва пропіленгліколю. Для обраної технології із 1600 кг гліцерину-сировини можливо досягнути потужності виробництва 1000 кг пропіленгліколю наступного складу: 99,8 % пропіленгліколь та 0,2 % вода. Було обрано основне технологічне обладнання, на основі чого розроблено апаратурно-технологічні схему.

5. Розраховано ректифікаційну колону. Загальна висота колони - 10,54 м, внутрішній діаметр – 1 м, кількість тарілок – 14.

4. Розглянуто заходи, які забезпечують здорові й безпечні умови праці на виробництві. Вказано комплекс заходів, спрямованих на мінімізацію впливу виробництва на довкілля.

5. Оцінено економічні показники виробництва пропіленгліколю. Визначено рентабельність, яка складає 42,76 %.

6. Проаналізована якість та безпека готової продукції, надана оцінка якості сировини, оцінка якості готової продукції, наведені відповідні розрахунки.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М.	Вид документа Кваліфікаційна робота	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Ростовецька Д.П.	Назва, додаткова назва  ВИСНОВКИ	ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.084.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 84/87

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Макаренко Г., Подобій О.В., Бойчук Т. М. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньо-професійної програми «Хімічна технологія» денної та заочної форми навчання. Київ: НУХТ, 2020. 66 с.
2. Подобій О.В. Хімія та технологія харчових добавок: конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічна технологія», денної та заочної форм навчання. Київ: НУХТ, 2019. 131с.
3. Санталова Г. О. Актуальні питання застосування харчових добавок: метод. вказ. Краматорськ : ДДМА, 2019. 79 с.
4. Смоляр В. І. Сучасні проблеми використання харчових добавок. *Проблеми харчування*. 2019. № 1-2. С. 5 – 10.
5. Малєєв В. О., Безпальченко В. М., Семенченко О. О. Харчові добавки: визначення, ризику, аналіз споживання. *Вчені записки ТНУ ім. В. І. Вернадського*. 2020. Т. 31 (70). Ч. 2. № 3. С. 7 – 13.
6. Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини: Закон України № 771/97. *Відомості Верховної Ради України*. 1998. № 19, ст. 98.
7. Малєєв В. О. Безпальченко В. М., Семенченко О. О. Визначення барвників синтетичного походження у продуктах харчування фотоколориметричним методом. *Вісник ХНТУ*. 2015. № 2(53). С. 43–47.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т. М.	Вид документа Кваліфікаційна робота	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Ростовецька Д.П.	Назва, додаткова назва СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-4-13.024.161.085.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 16.04.2024	Мова ua	Аркуш 85/87

8. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку харчових добавок, дозволених для використання у харчових продуктах» від 4 січня 1999 р. № 12. URL : [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/KP99001](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KP99001) (дата звернення: 03.04.2024).
9. Касянчук В. В., Курганська В. О., Олешко О. М. Рациональне і безпечне харчування як основа громадського здоров'я: навчал. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2017. 355 с.
10. Допоміжні речовини в технології ліків: вплив на технологічні, споживчі, економічні характеристики і терапевтичну ефективність: навчал. посіб. / за ред. І. М. Перцева. Харків: Золоті сторінки, 2010. 600 с.
11. Пропіленгліколь: застосування, властивості, характеристики. *ХімЕлемент*. 2024. URL: <https://him-element.com.ua/uk/news/55> (дата звернення: 03.04.2024).
12. Перцев І. М. Пропіленгліколь. *Фармацевтична енциклопедія*. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/980/propilenglikol> (дата звернення: 03.04.2024).
13. Пропіленгліколь: фізико-хімічні властивості. *Propyleneglikol*. URL: <https://www.propylenglikol.com.ua/fizichni-vlastivosti-ta-khimichniy-sklad> (дата звернення: 03.04.2024).
14. Nanda M.R., Yuan Z., Qin W., Xu C.C. Recent advancements in catalytic conversion of glycerol into propylene glycol: a review. *Catal. Rev.* 2016. № 58. P. 309–336.
15. Jude A. Okolie. Insights on production mechanism and industrial applications of renewable propylene glycol. *IScience*. 2022. № 25. Doi: 10.1016/j.isci.2022.104903.
16. Sun J., Liu H. Selective hydrogenolysis of biomass-derived xylitol to ethylene glycol and propylene glycol on supported Ru catalysts. *Green Chem.* 2011. № 13. P. 135–142.

17. Sharma R.V., Kumar P., Dalai A.K. Selective hydrogenolysis of glycerol to propylene glycol by using Cu:Zn:Cr:Zr mixed metal oxides catalyst. *Appl. Catal. A Gen.* 2014. № 477. P. 147–156.
18. Гліцерин — виробництво та виробники. *Glycerin*. URL: <https://www.glycerin.com.ua/vyrobnytstvo/> (дата звернення: 03.04.2024).
19. Півоваров О. А., Ковальова О. С., Кошулько В. С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.
20. Полевода Ю. А. Дослідження гліцериномістких поверхнево-активних речовин в харчових і переробних виробництвах. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. № 1 (96). С. 141 – 148