

**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 ЕК»

Директор інституту (декан факультету)

\_\_\_\_\_ Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО

(підпис)

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ТЖХТ

\_\_\_\_\_ Тамара НОСЕНКО

(підпис)

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_\_» червня 2023 р.

«\_\_\_» червня 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 161 Хімічні технології та інженерія \_\_\_\_\_  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_ Хімічна технологія \_\_\_\_\_  
на тему: \_\_\_\_\_ Удосконалення технології  $\alpha$ -токоферол ацетату \_\_\_\_\_

Виконав: студент 4 курсу, групи ХТ-4-13

\_\_\_\_\_ БОРИСЕНКО Марія Сергіївна

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)



(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ САБАДАШ Наталія Іванівна

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_ Ігор ЖИТНЕЦЬКИЙ

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

\_\_\_\_\_ (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

\_\_\_\_\_ (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ Світлана КОВАЛЬОВА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

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

Здобувач (ка) \_\_\_\_\_

(підпис)



# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічна технологія

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

“ ” 2023 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Борисенко Марія Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології  $\alpha$ -токоферол ацетату

керівник роботи Сабадаш Наталія Іванівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “28” 03 2023 року № 196 -КС

2. Строк подання здобувачем роботи 05.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи продуктивність 100 кг/доб

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналітичний огляд науково-технічної літератури. Технологічна частина. Техніко-економічне обґрунтування. Організація контролю якості продукції. Екологічна частина та охорона праці. Висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

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

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Житнецький І.В. к.т.н., доцент кафедри МАХтаФВ	15.05.2023	12.06.2023

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 15 травня 2023 р. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	15.05.2023	
2	РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	15.05.2023-19.05.2023	
3	РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	18.05.2023-23.05.2022	
4	РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	24.05.2023-28.05.2023	
5	РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	29.05.2023-30.05.2023	
6	РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	31.05.2023-01.06.2023	
7	РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	02.06.2023-04.06.2023	
8	ВИСНОВКИ	04.06.2023-05.06.2023	
9	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	15.05.2023-05.06.2023	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	15.05.2023-30.05.2023	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	18.05.2023-31.05.2023	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	05.06.2023-16.06.2023	

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Марія БОРИСЕНКО \_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Наталія САБАДАШ \_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Борисенко М.С.** Удосконалення технології  $\alpha$ -токоферол ацетату.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА: 86 С., 20 РИС., 43 ТАБЛ., 37 ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.**

**ГРАФІЧНА ЧАСТИНА: 3 С.**

Дана кваліфікаційна робота на тему «Удосконалення технології  $\alpha$ -токоферол ацетату» складається з вступу, п'яти розділів і висновку.

Перший розділ включає в себе огляд літератури за допомогою висвітлення таких аспектів, як характеристика продукту, аналіз існуючих технологій виробництва обраної харчової добавки і стан сировинної бази. У другому розділі описуються такі аспекти, як характеристика сировини, опис принципової технологічної схеми, розрахунок матеріального балансу даного виробництва, підбір і розрахунок основного обладнання, опис апаратурно-технологічної схеми. Третій розділ включає розрахунок економічної ефективності і рентабельності виробництва. Четвертий розділ описує методи якісного аналізу продукту та документи, які регламентують його норми якості. П'ятий розділ описує вплив виробництва на екологію та принципи охорони праці на даному виробництві.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ВІТАМІН Е,  $\alpha$  – ТОКОФЕРОЛ АЦЕТАТ, АНТИОКСИДАНТ, ТРИМЕТИЛГІДРОХІНОН, ФІТИЛХЛОРИД.

## **ABSTRACT**

**Borisenko M.S.** Improving the technology of  $\alpha$ -tocopherol acetate.

**EXPLANATORY NOTE: 86 P., 20 FIGURES, 43 TABLES, 37 REFERENCES.**

**GRAPHIC PART: 3 P.**

This qualification work on the topic " Improving the technology of  $\alpha$ -tocopherol acetate " consists of an introduction, five chapters and a conclusion.

The first section includes a literature review by covering such aspects as product characteristics, analysis of existing production technologies for the selected food additive and the state of the raw material base. The second section describes such aspects as raw material characterization, description of the basic technological scheme, calculation of the material balance of this production, selection and calculation of the main equipment, description of the equipment and technological scheme. The third section includes the calculation of economic efficiency and profitability of production. The fourth section describes the methods of qualitative analysis of the product and the documents that regulate its quality standards. The fifth section describes the environmental impact of the production and the principles of labor protection at this production facility.

**KEYWORDS: VITAMIN E,  $\alpha$  - TOCOPHEROL ACETATE, ANTIOXIDANT, TRIMETHYLHYDROQUINONE, PHYTYLCHLORIDE.**



## ВСТУП

Нині з розвитком технологій з'являється все більше нових можливостей покращити якість продуктів харчування та різних косметичних засобів. Одним із таких методів покращення є використання харчових добавок, які тепер є невід'ємною частиною більшості споживчих продуктів.

Харчові добавки – це натуральні, ідентичні натуральним або синтетичні речовини, які вводяться в продукт в малих кількостях з метою надання йому бажаних властивостей. Вони поділяються на певні групи відносно функцій, які вони виконують в продукті, наприклад, антиоксиданти, стабілізатори, емульгатори, барвники, ароматизатори, підсолоджувачі, консерванти та ін. Головною вимогою використання харчових добавок є їх безпека. Окрім цього вони будуть більш цінними в використанні, якщо будуть мати позитивний вплив на здоров'я людини [1].

Однією із таких харчових добавок є вітамін Е, який має код E307 в Державному реєстрі харчових добавок, визначеним Європейським союзом. Даний вітамін володіє рядом корисних властивостей, які не тільки покращують якість продукту, але й разом з цим виявляють корисну дію на шкіру людини та інші складові людського організму.

Технології виробництва даної добавки, яка є важливою для хімічної і харчової промисловості, володіють рядом недоліків. Ці недоліки пов'язані в більшості з продуктивністю виробництва та їх екологічною і економічною доцільністю. Зокрема недостатньому вивчені шляхи утилізації токсичних відходів. Тому удосконалення технології альфа-токоферол ацетату з триметилгідроксипропану та фітилхлориду є **актуальним**.

**Об'єктом дослідження** виступає технологія  $\alpha$ -токоферол ацетату (вітаміну Е).

**Предмет дослідження** –  $\alpha$ -токоферол ацетат.

					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.007.КР.ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Борисенко М.С.			<b>ВСТУП</b>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Перевір.		Сабадаш Н.І.					7	
Н. Контр.		Подобій О.В.				<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
Затверд.		Носенко Т.Т.						

**Метою** даної кваліфікаційної роботи є удосконалити технологію  $\alpha$ -токоферол ацетату.

**Завдання** кваліфікаційної роботи:

1. Вивчити сировину, яка необхідна для виробництва альфа-токоферол ацетату.
2. Вивчити властивості вітаміну Е.
3. Вивчити і проаналізувати існуючі технології виробництва даного інгредієнту.
4. Розробити принципову технологічну схему.
5. Розрахувати матеріальний баланс виробництва.
6. Підібрати основне технологічне обладнання.
7. Розрахувати основний апарат.
8. Розробити апаратурно-технологічну схему.
9. Розрахувати економічну ефективність виробництва.
10. Визначити методи контролю якості продукції.
11. Вивчити вплив виробництва на екологію.
12. Вивчити охорону праці для даного виробництва.

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Основні відомості про вітамін Е (токоферол)

Всі харчові добавки поділяються на чотири основні групи:

- речовини, які поліпшують зовнішній вигляд продукту (барвники, відбілювачі, стабілізатори забарвлення);
- речовини – регулятори смаку продукту (підсолоджувачі, смакові добавки);
- речовини – регулятори консистенції, відповідають за формування необхідної текстури (гелеутворювачі, желюючі агенти, загущувачі, стабілізатори, емульгатори, тощо);
- речовини, які подовжують термін використання продукту (антиоксиданти, консерванти) [1].

Антиоксиданти – клас ХД, до яких відносяться речовини, здатні подовжувати термін придатності продукту за допомогою захисту його складових від окислення (наприклад, здатності захищати жири від прогіркання). Відповідно СанПіН, антиоксиданти дозволяється вводити лише в жири, які містяться в продуктах, що призначені для тривалого зберігання (більше 3-х місяців) [1,2].

Вітамін Е, або його також називають  $\alpha$ -токоферол (ізомер, який займає 90% від усього складу вітаміну), виступає безпосередньо антиоксидантом в харчових і косметичних продуктах [3].

Вітамін Е представляє собою суміш речовин, до складу якої входять вісім сполук, чотири з яких відносяться до токоферолів, а інші чотири – до токотрієнолів [4]. В основі молекул токоферолів лежить безпосередньо токол, а в основі молекул токотрієнолів – токол з частково насиченим боковим ізопреновим ланцюгом (основні формули зображені на рис. 1.1) [5, 6]. За

					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.009.КР.ПЗ</b>		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
Розроб.		Борисенко М.С.			Літ.	Арк.	Аркушіє
Перевір.		Сабадаш Н.І.				9	
Н. Контр.		Подобій О.В.			НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

хімічною будовою даний вітамін – це 6-ацетокси-2-метил-2-(4, 8, 12-триметилтридецил)-хроман [4]. Основна біологічна роль вітаміну Е все ж таки належить токоферолам, а найбільше –  $\alpha$ -токоферолу, так як він є найактивнішим з ізомерів [4, 5, 6]. На рисунку 1.1 зображено структурні формули головних представників токоферолів та токотрієнолів.

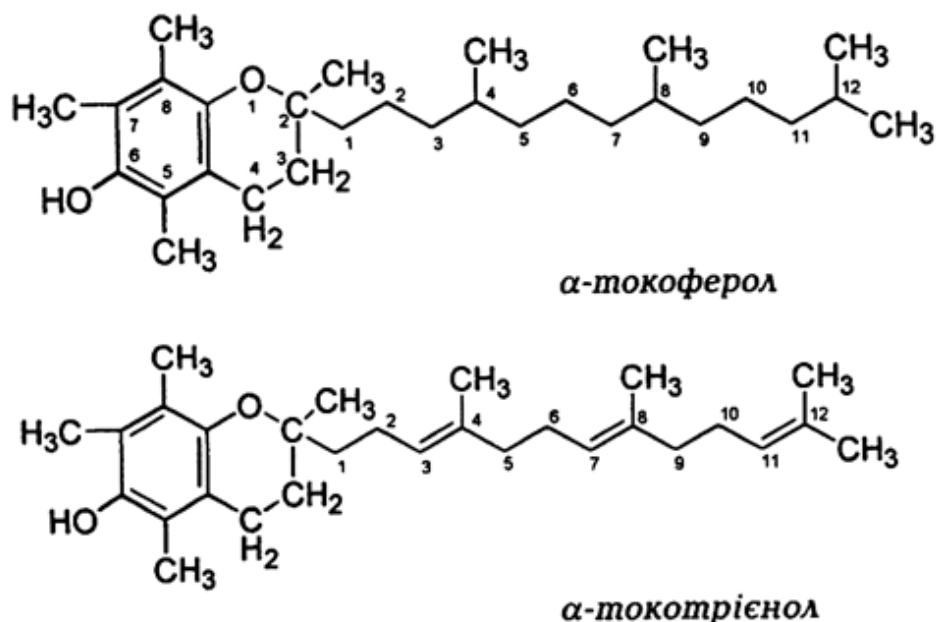


Рисунок 1.1. Хімічні формули  $\alpha$ -токоферолу і  $\alpha$ -токотрієнолу

Токофероли, назва яких походить від латинських слів *tocos* – нащадок і *ferro* – приносити, являють собою високомолекулярні циклічні спирти. Вони представлені ізомерами, які за міжнародною номенклатурою мають назви у вигляді позначень  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  і  $\delta$  [5, 7]. Ізомери відрізняються розміщенням метильної групи ( $-\text{CH}_3$ ) в бензольному кільці хроманового ядра [4, 7].

Наявність спиртової групи  $-\text{OH}$  біля  $\text{C}_6$  обумовлює саме антиоксидантні властивості токоферолів [4]. Також на біологічну властивість токоферолів вагомо впливає хімічна структура бічного ланцюга. Скорочення бічного ланцюга на одну ізопреноїдну ланку знижує біологічну активність на 10%, видалення двох або більшої кількості ланок призводить до повної або майже повної втрати біологічної активності [8].

Токофероли за кімнатної температури представляють собою світло-жовті, прозорі, в'язкі маслянисті рідини. Вони нерозчинні в воді, але розчиняються в органічних розчинниках і жирах, мають гарну розчинність в

						Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

петролейному ефірі, гексані, хлороформі і трішки гірше розчинні в спирті та ацетоні [5, 7, 3 9].

Окрім цього токоферолі мають високу стійкість до дії високих температур, вони термостабільні і можуть зберігати свою біологічну активність при нагріванні на відкритому повітрі до температури 170°C, а в вакуумі до температури 220-250°C. При нагрівання вітаміну Е до 440-450°C відбувається його повне руйнування [7, 10, 11].

Вітамін Е погано взаємодіє з їдкими лугами і входить до фракції жирів, що не омилюються. Ця їх властивість використовується при їх виділенні з рослинних олій [7, 12]. Також токоферол є дуже стійким до дії кислот і досить чутливим до впливу ультрафіолету. Він повільно окислюється на повітрі [7, 13].

Хімічні властивості токоферолів визначаються безпосередньо їх будовою. В ароматичному кільці хроманового ядра даних сполук присутня вільна фенольна група, яка дає змогу токоферолам легко окислюватися, в результаті чого утворюються хінони. Таким чином токоферолі легко реагують з різними кислотами з утворенням складних ефіри. Складні ефіри в свою чергу добре кристалізуються, що дає змогу ідентифікувати вітамін Е [7, 14].

Також токоферолі володіють високою антиоксидантною дією, що є їх однією з найважливіших особливостей. Вони вступають в реакцію з вільними радикалами в організмі, які є результатом перекисного окислення клітинних мембран, тим самим пригнічуючи процеси їх утворення [3, 7, 15]. Токоферолі проявляють свою антиоксидантну дію по відношенню до таких сполук, як каротини та вітаміни групи А, захищають від деструкції багаті на ліпіди клітинні мембрани [8].

Вітамін Е приймає участь і є складовою багатьох процесів організму. Він підвищує стійкість еритроцитів до гемолізу, стимулює роботу м'язів (сприяє накопиченню в них глікогену), є учасником в процесах клітинного дихання і метаболізму білків, жирів і вуглеводів [3]. Також він володіє гарною загоювальною властивістю, що широко застосовується в косметичі [16].

						Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки своїй антиоксидантній дії застосовується у виробництві молочних продуктів, різних видів олій і масла та косметичних масок і кремів, а його загоювальна властивість особливо цінна в кремах профілактичного призначення [16].

Гарними джерелами токоферолів є насіння злакових і отримані з них олії, обліпихова олія, кукурудзяна олія, соняшникова олія, бобові культури, горіхи, гречана крупа, а також листки салату і капусти [4, 17]. До рослинних джерел з меншим вмістом вітаміну Е можна віднести банани, вишню, апельсини, смородину, цибулю, моркву та петрушку [16]. Також токоферолі містяться в продуктах тваринного походження, таких як масло, яловичина, свиняче сало, печінка, риба, морепродукти, молоко та молочні продукти, яєчний жовток [4].

## 1.2 Стан сировинної бази

Показники виробництва рослинних олій, які в свою чергу виступають сировиною для отримання природного токоферолу, на світовому рівні з кожним роком стають все більшими. На першому місці по виробництву в структурі світового ринку розташовується пальмова олія, яка займає найбільшу частку – 35%. Друге місце посідає соєва, з часткою 29%. Далі йде ріпакова олія, частка якої досягає 15%. І на четвертому місці розташовується соняшникова олія, частка якої складає всього лише 9%. Окрім зазначених олій щорічно в світі переробляється ще 10 млн. тон іншої олієвмісної сировини [18, 19].

Для виробництва синтетичного токоферолу використовують такі речовини, як ТМГХ та фітольні похідні. Вони в свою чергу є продуктами переробки різного виду сировини. М-крезол є сировиною для виробництва ТМГХ і він також є продуктом перегонки кам'яного вугілля, однак процес його отримання багатостадійне і вибухонебезпечне, тому цю сировину використовують не часто. Діетилкетону і кротоновий альдегід або метилвінілкетон також є сировиною для отримання ТМГХ, але вони є дефіцитними речовинами на вітчизняному просторі, тому в Україні вони не широко використовуються в якості сировини [20].

						Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Хімізм технології отримання $\alpha$ -токоферол ацетату з ТМГХ та фітилхлориду

Метод одержання вітаміну Е з ТМГХ та фітилхлориду полягає в конденсації даних речовин в присутності каталізатору з подальшим ацилюванням  $\alpha$ -токоферолу. Технологія, що базується на цьому методі також включає синтез вихідних напівпродуктів.

Отже, за обраною технологією ТМГХ отримують з нітрomezителену, за хімічною схемою, яка зображена на рисунку 1.2.

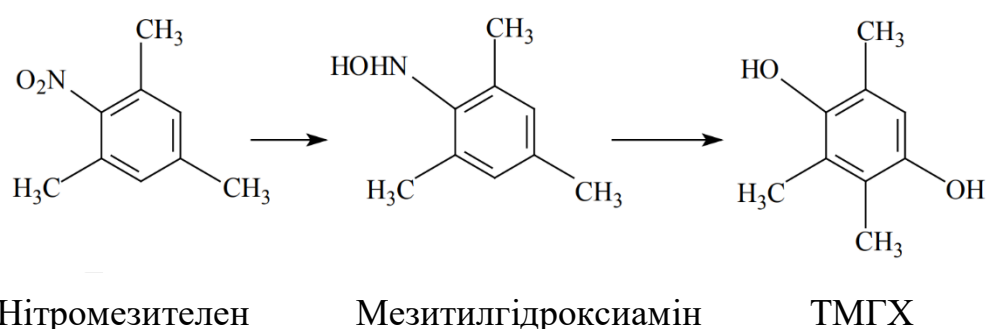
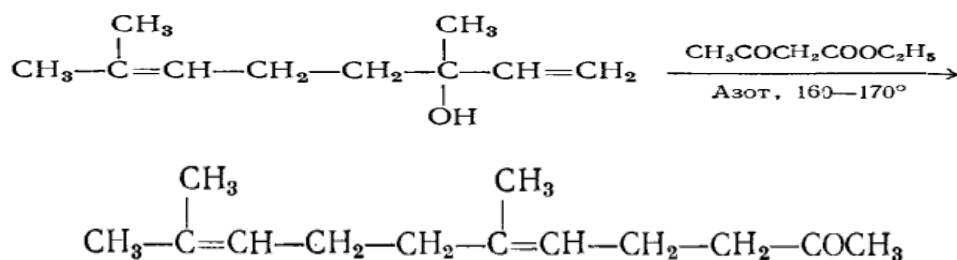


Рисунок 1.2. Отримання ТМГХ з нітрomezителену

Даний синтез здійснюється шляхом виборчого відновлення нітроomezителену в мезитилгідроксиамін з подальшим відновленням останнього до триметилгідрохінона за реакцією перегрупування Бамбергера – перегрупування хінолів у відповідні гідрохінони [20,21].

Другий компонент для виробництва  $\alpha$ -токоферолацетату, а саме фітилхлорид, одержують з ізофітолу, вихідною сировиною для якого є ліналоол [21].

Першим проміжним продуктом при синтезі ізофітолу є геранілацетон, який отримують з ліналоолу та ацетоцтового ефіру (схема реакції зображена на рисунку 1.3) [21].



					Арк.
					13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Далі геранілацетон взаємодіє з ацетиленом і металічним натрієм з утворенням дегідронеролідолу (рисунок 1.4) [21].

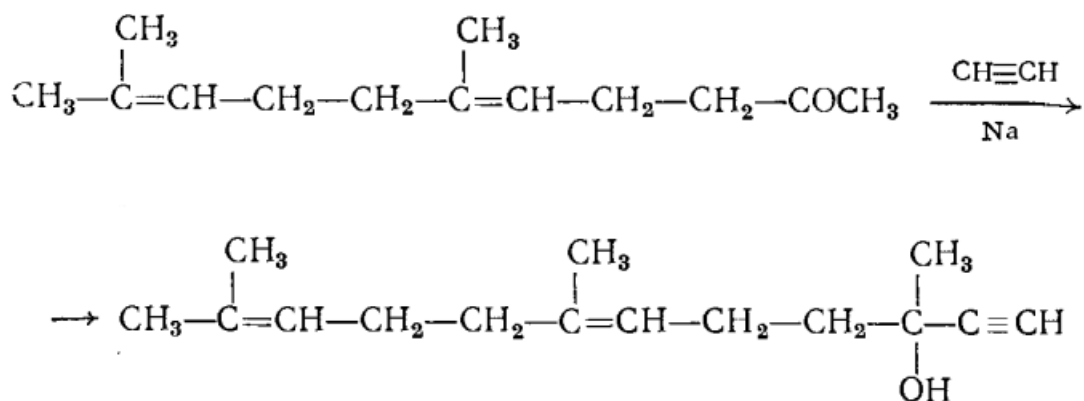


Рисунок 1.4. Отримання дегідронеролідолу

Наступним етапом є взаємодія дегідронеролідолу з ацетооцтовим ефіром, в результаті чого утворюється 2,6,10-триметилпентадекатетран-2,6,10,12-он-14, або кетон C<sub>18</sub> (рисунок 1.5) [21].

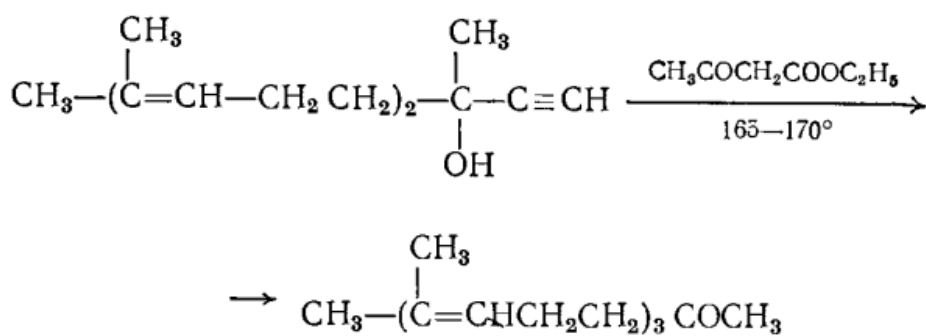


Рисунок 1.5. Отримання кетону C<sub>18</sub>

Далі отриманий кетон взаємодіє з воднем в присутності нікелевого каталізатору, окиснюється хромпіком в присутності льодяної оцтової кислоти і взаємодії з сульфатною кислотою з утворенням 2,6,10-триметилпентадеканону-14 (рисунок 1.6). Проміжним продуктом є 2,6,10-триметилпентадеканол [21].

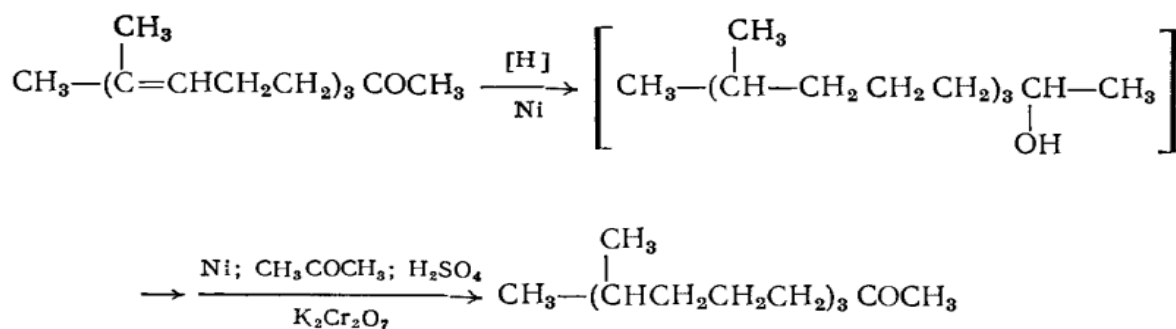


Рисунок 1.6. Отримання 2,6,10-триметилпентадеканону-14

					Арк.
					14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



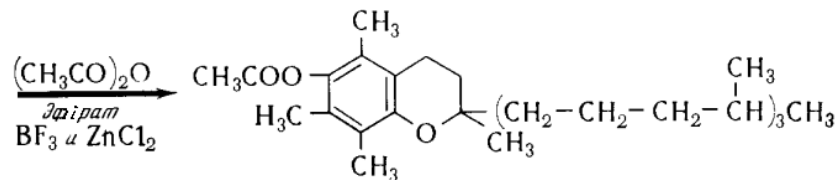


Рисунок 1.9. Отримання фітилхлориду. Конденсація фітилхлориду з ТМГХ з отриманням  $\alpha$ -токоферолацетату

#### 1.4 Аналіз існуючих технологій отримання вітаміну Е. Переваги і недоліки даних технологій

На сьогоднішній день існує декілька технологій отримання добавки Е 307. Ці технології зосередженні на отриманні природного і синтетичного токоферолу.

Однією з них є технологія, яка базується на методі екстракції токоферолів з подальшою вакуумною дистиляцією (молекулярною дистиляцією). За даною технологією проводиться екстракція органічними розчинниками залишка олій, що неомилюється з подальшою відгонкою розчинника і видаленням залишків стеринів кристалізацією із спирту. Після чого отриманий токоферол очищують вакуумною перегонкою.

Для отримання більш чистих концентратів вітаміну Е застосовують адсорбційну хроматографію. Концентрат вітаміну Е стабілізують антиоксидантами - гідрохіноном або аскорбіновою кислотою.

Данна технологія є недоцільною, так як потребує великої кількості природної сировини, вартість якої зазвичай досить велика, по відношенню до невеликого виходу цільового продукту [20].

Також природній токоферол одержують методом прямої дистиляції з рослинних олій (здебільшого соняшникової, кукурудзяної та олії ріпаку) при температурі 200 – 240 °С при тиску 0,004 мм. рт. ст. Подвійна дистиляція дозволяє отримати вміст токоферолу у дистиляті до 60%.

Данна технологія сприяє більшому виходу вітаміну Е ніж вище описана, але все одно не дає того об'єму цільового продукту, який є необхідним для виробництва даної добавки у промислових масштабах [20].

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Найважливішим і найдоцільнішим є використання технології виробництва синтетичного токоферолу. Відповідно до цієї технології, добавку Е 307 отримують у формі  $\alpha$ -токоферол ацетату шляхом конденсації алкілзаміщеного гідрохінону з алільним аліфатичним ланцюгом з подальшим ацилюванням  $\alpha$ -токоферолу, що утворився. В якості алільного аліфатичного ланцюга, який представляє собою чотири конденсованих ізопренових ланки, може виступати фітол і його похідні, наприклад ізофітол, фітилхлорид або фітилбромід [20, 21, 22].

Даний метод включає декілька технологічних стадій:

1. Отримання похідної фітолу (ізофітолу, або фітилхлорида, або фітилброміда).
2. Отримання гідрохінону.
3. Отримання  $\alpha$ -токоферолу.
4. Ацилювання  $\alpha$ -токоферолу і отримання  $\alpha$ -токоферол ацетату [20].

Для даного синтезу триметилгідрохінон можна отримати кількома способами:

- Отримання з м-крезолу.
- Отримання з нітрomezетилену.
- Отримання з псевдокумолу.
- Отримання з фенолу через основу Маніха (метод широко використовується за кордоном).
- Отримання з діетилкетону і кротонового альдегіду або з метилвінілкетону через триметил-циклогексанон (майже не використовується в країнах СНГ, але поширена за кордоном) [20, 21].

Щодо фітолу або його похідних (в більшості ізофітолу), то їх можна отримати наступними методами:

- Синтез за методом Саричевой (синтез із ліналоолу).
- Синтез за методом Ізлера (синтез із псевдоіонону).
- Синтез за методом Маурита та інших (синтез ацетону і

					Арк.
					17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ацетилену).

- Методом екстрагування з рослинної сировини [21].

Окрім цього, при виробництві синтетичного вітаміну Е можуть використовуватися різні каталізатори для реакції конденсації вихідних сполук. В залежності від цього технологія може мати різні позитивні і негативні сторони [20].

За кордоном найчастіше використовують як каталізатор кислоти Л'юїса. Відмінно від цього, у вітчизняному виробництві використовуються три види каталізаторів для даної технології: ( $\text{BF}_3 \cdot 2\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HCl}$  (в невеликих кількостях),  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (в мікро кількостях) и  $\text{ZnCl}_2$  [20, 23].

При використанні  $\text{BF}_3 \cdot 2\text{CH}_3\text{COOH}$  в якості каталізатора технологія має наступні недоліки:

1. Тривалість від однієї до двох діб.
2. Токсичність  $\text{BF}_3$ .
3. Велика кількість кислотних відходів виробництва.

Інший метод полягає у використанні в якості каталізатору  $\text{HBr}$  або  $\text{HCl}$  при прямій конденсації реагентів. Перевагами даного методу є:

1. Спрощення технологічного процесу.
2. Досягнення більш високого виходу цільового продукту (74-75%).
3. Зменшення кількості кислих відходів.
4. Скорочення тривалості виробничого процесу.

Одним з варіантів даної методики є заміна  $\text{HBr}$  або  $\text{HCl}$  на  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Єдиним недоліком даної методики є утворення діацетату ТМГХ. Переваги – більший вихід цільового продукту (83-84%) [20].

При застосуванні  $\text{ZnCl}_2$  в якості каталізатору ми отримуємо фармакопейний вітамін Е з виходом 91-93,5%. Недоліком даної методики є частковий гідроліз бутилацетату, який використовується для утворення реакційного середовища [20, 23].

Отримання добавки Е 307 синтетичним методом за вище описаною технологією, а саме отримання з ТМГХ та фітилхлориду, є більш економічно

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

і виробничо вигідним, так як сировина коштує дешевше, а об'єм отриманого цільового продукту більший. Також ця технологія є більш поширеною в світі ніж усі інші, що надає актуальності її вивчення.

## **1.5 Шляхи удосконалення технології отримання синтетичного вітаміну Е**

Технологія виробництва синтетичного вітаміну Е з триметилгідрохінону та фітилхлориду має ряд недоліків, наприклад, використання великої кількості обладнання, наявність токсичних відходів, велика тривалість процесу виробництва та інше. Базуючись на даних недоліках, можна розглянути різні шляхи удосконалення технології виробництва альфа-токоферол ацетату.

### **1. Оптимізація процесу синтезу**

Одним із шляхів удосконалення є дослідження та оптимізація хімічного процесу синтезу альфа-токоферол ацетату, включно з вибором оптимальних реагентів, умов реакції, режимів і параметрів реакторів тощо. Метою є підвищення виходу продукту, зниження побічних реакцій і підвищення ефективності процесу [24].

### **2. Поліпшення якості сировини**

Достатньо ефективним методом удосконалення є застосування нових методів очищення і попередньої обробки сировини (триметилгідрохінону і фітилхлориду) для видалення домішок, забруднень і нечистот, які можуть впливати на якість і чистоту кінцевого продукту [24].

### **3. Використання нових каталізаторів**

Удосконалення метою якого є дослідження і розробка нових каталізаторів або модифікація існуючих для підвищення ефективності реакції синтезу альфа-токоферол ацетату. Це може включати використання гетерогенних каталізаторів, ферментативних каталізаторів або каталізаторів на основі наночастинок [24].

### **4. Застосування нових технологічних методів**

Впровадження нових технологічних методів, таких як мікрореактори, мембранні процеси, суперкритична екстракція та інші, що можуть покращити

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективність, селективність та економічну ефективність процесу виробництва [24].

## 5. Рециклінг та утилізація відходів

Розробка методів і систем рециклінгу та утилізації відходів, що виникають у процесі виробництва альфа-токоферол ацетату дасть змогу зменшити екологічне навантаження та використовувати ресурси більш ефективно[24].

В даній роботі було обрано шлях удосконалення технології, який базується на покращенні утилізації відходів, а саме дихлоретану.

Дихлоретан відноситься до хлорорганічних відходів, які в свою чергу вирізняються великою токсичністю як на людину, так і навколишнє середовище. У працівників, що працюють з даною речовиною є підвищений ризик розвитку раку, особливо ангіосаркоми. Окрім токсичності, хлорорганічні відходи розкладаються достатньо складно. Завдяки додаванню атомів хлору до вуглеводневої основи молекули утворюється «захисний бар'єр», який робить молекулу стійкою до дії різних факторів. Чим більше атомів галогену приєднано до гідрокарбильної групи, тим більш стійка молекула до впливу хімічних ті фізичних факторів. З тієї ж причини дихлоретан має тенденцію до накопичення, якщо потрапляє у навколишнє середовище.

У світовій практиці використовуються наступні методи утилізації хлорорганічних відходів: окислення , різні методи спалювання, регенерація, плазмохімічна та хімічна обробка, електроліз, захоронення, регенеративний піроліз [24].

Для даної технології було обрано метод термічного спалювання дихлоретану в барабанній печі до утворення води, вуглекислого газу та соляної кислоти.

Речовини, що утворюються в результаті спалювання дихлоретану є менш токсичними, що дозволить покращити екологічну складову виробництва, а також це є великою перевагою, так як дані компоненти можна використати на інших стадіях даного виробництва після очистки [24].

						Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. 6 Висновки по розділу I

За результатами опрацювання науково-технічної літератури було вивчено загальні відомості про вітамін E, а також проаналізовано існуючі методи отримання альфа-токоферол ацетату. На підставі аналізу і врахування недоліків та переваг різних методів отримання синтетичного вітаміну E було обрано технологію, яка базується на реакції конденсації триметилгідрокінону та фітилхлориду з подальшим ацилюванням альфа-токоферолу.

За даною технологією отримують синтетичний вітамін E, який є більш стабільним та вихід якого є більшим, порівняно із технологіями, що базуються на отриманні природнього вітаміну E. Обрана технологія також є найбільш поширеною в Європі, а також в Америці, хоча і має ряд суттєвих недоліків, до яких відноситься токсичність відходів, громіздкість технологічної лінії виробництва та тривалість процесу.

Базуючись на вивчених недоліках даної технології, було вирішено удосконалити її за рахунок утилізації одного з найтоксичніших відходів даного виробництва, а саме диетилхлориду. Шляхом утилізації було обрано спалювання даної речовини в барабанній печі з утворенням води, вуглекислого газу та соляної кислоти. Отримані продукти спалювання можна очистити і використовувати на інших стадіях виробництва, або відправити їх на виробництво інших хімічних продуктів.

Обране удосконалення не тільки зменшить вплив виробництва на екологічний стан навколишнього середовища, а й дозволить отримати необхідні продукти для інших виробництв.

						Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика вхідної сировини

Синтетичний вітамін Е отримують шляхом конденсації ТМГХ і похідної ізофітолу (фітилхлориду, або фітилброміду). Технологія виробництва даного вітаміну також включає в себе отримання вихідних його сполук. Таким чином, для одержання ТМГХ як сировину використовують нітрomezителен, а для фітолхлориду – ліналоол [20, 21].

Ліналоол – це одноатомний спирт класу терпеноїдів. Представляє собою безбарвну речовину із чітко вираженим запахом конвалії. Даний спирт має гарну розчинність в ефірній олії, жирах, етиловому спирті та пропіленгліколі, що зрощує його використання у виробництві косметичних засобів. Він погано розчиняється в гліцерині та воді. До фізико-хімічних властивостей ліналоолу можна віднести: густину ( $\rho = 0,868 \text{ г/см}^3$ ), температуру плавлення ( $t_{\text{пл}} = -20^\circ\text{C}$ ), температура кипіння ( $t_{\text{кип}} = 198-200^\circ\text{C}$ ). При неправильному зберіганні окиснюється до цитралю. Перетворюється на гераніол під дією органічних кислот, а під дією сірчаної кислоти – у суміш терпеноолів. Сприяє заспокійливу дію на організм людини, а також володіє бактерицидними властивостями [25].

Ізофітол – органічна сполука, погано розчинна у воді, що представляє собою прозору маслянисту рідину при кімнатній температурі. Це терпеноїдний спирт, який біосинтезується деякими рослинами. Ізофітол виробляється протягом багатьох років у великих обсягах шляхом повного хімічного синтезу. Він здебільшого (>99%) використовується у синтезі вітамінів Е і К1, тоді як решта (< 1%) використовується як ароматизатор і косметичний інгредієнт. Даний спирт має такі фізико-хімічні показники, як температура плавлення  $\leq -20^\circ\text{C}$ , температура кипіння  $313^\circ\text{C}$ , густина  $0,846 \text{ г/см}^3$  ( $20^\circ\text{C}$ ), тиск пари  $2,2 \text{ мм.рт.ст.}$  ( $20^\circ\text{C}$ ), розчинність у воді  $5,8 \text{ мг/л}$  ( $25^\circ\text{C}$ ). Дана сполука біологічно розкладається в анаеробних умовах.

					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.022.ДП.ПЗ</b>		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
Розроб.		Борисенко М.С.			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Сабадаш Н.І.				22	
Н. Контр.		Подобій О.В			НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

Ізофітол має низьку гостру пероральну та шкірну токсичність: ЛД<sub>50</sub> для ссавців вище 5000 мг/кг маси тіла. Дослідження на тваринах показали, що ізофітол подразнює шкіру, але 10% розчин у петролатумі не викликав подразнення у людей. Таким чином, загальна токсичність ізофітолу для ссавців вважається низькою, але, виходячи з даних на тваринах, існує потенціал для подразнення шкіри та очей [26].

ТМГХ (2,3,5-триметилгідрокінон) – органічна речовина, яка належить до класу гідрокінонів і представляє собою безбарвний кристалічний порошок. ТМГХ мало розчинний у воді, але розчинний в етиловому ефірі та метанолі і нерозчинний у петролейному ефірі. Дана речовина сублимується при нагріванні і темнішає від вологості, тому її зберігають в сухому прохолодному місці та в герметичній тарі. До фізико-хімічних показників ТМГХ можна віднести такі, як густина 1,126 г/см<sup>3</sup>, температура плавлення 170-175 °С, температура кипіння 298.3 °С при 760 мм.рт.ст., температура спалаху 191.0 °С, тиск пари 0,0 мм рт. ст. при 25°С. ТМГХ може викликати алергічну реакцію [27].

## **2.2 Опис принципової технологічної схеми виробництва альфа-токоферол ацетату**

Технологія виробництва ацетату вітаміну Е включає в себе стадії виробництва його вихідних сполук – ТМГХ і фітилхлориду. ТМГХ отримують з кількох видів сировини, але найпростішим є метод його отримання з нітрomezителену. Виробництво альфа-токоферол ацетату починається з синтезу ТМГХ, але в даній роботі опис принципової схеми виробництва (риунок 2.1) починається з етапу виробництва ізофітолу, зя кого потім отримують фітилхлорид.

						Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

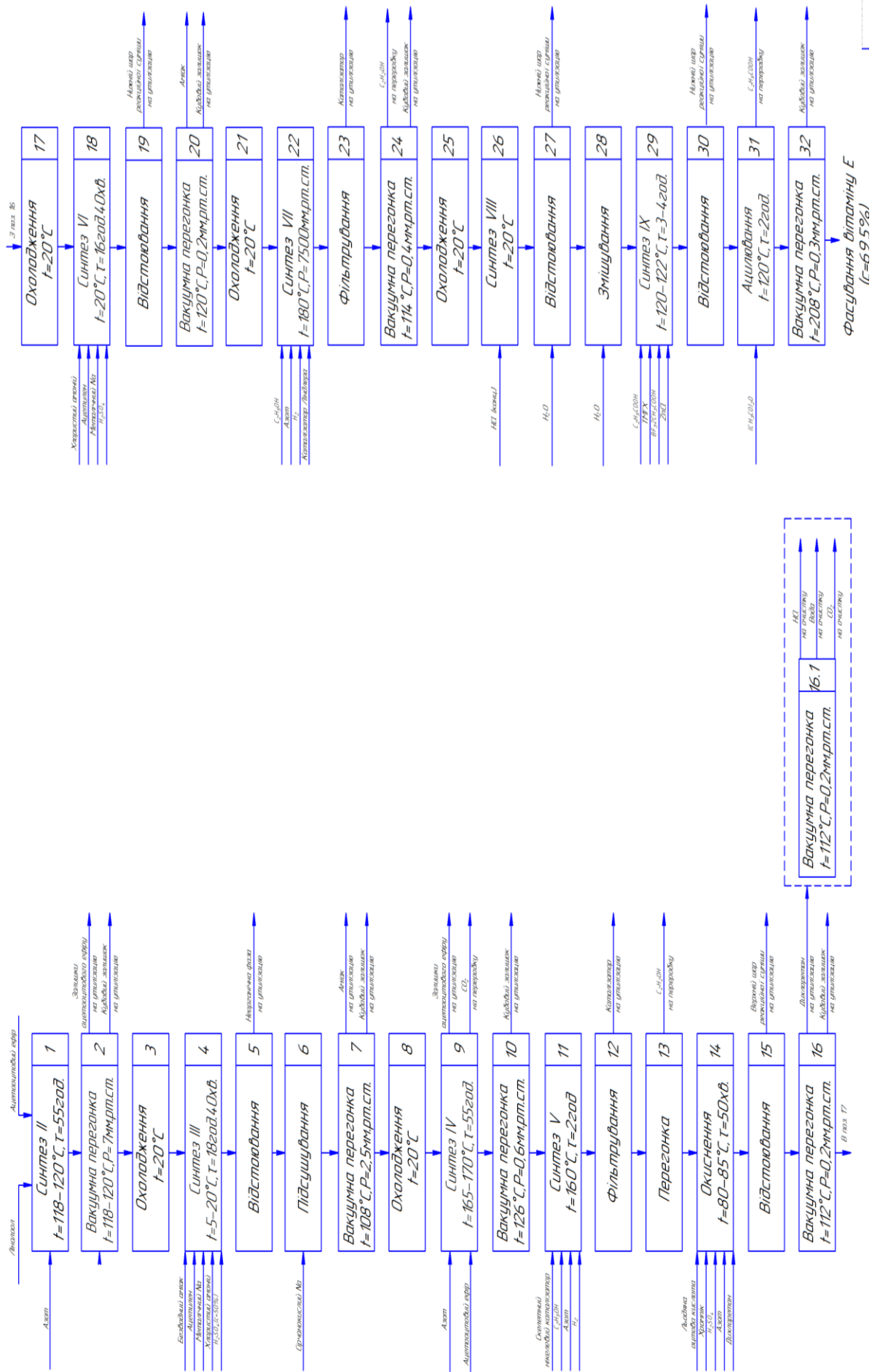


Рисунок 2.1. Принципова технологічна схема виробництва альфа-токоферол ацетату

## 1. Синтез II

На даному етапі з ліналоолу утворюється проміжний продукт – геранілацетон, що містить домішки непрореагованого ацетооцтового ефіру. Даний процес відбувається в реакторі, до якого підведено балон з азотом. Реакційна суміш підігрівається в потоці азоту за допомогою пари, що подається в міжстінний простір апарату, до температури 160-170°C. Даний процес триває 50 годин.

## 2. Вакуумна перегонка

Суміш геранілацетону і залишків ацетооцтового ефіру подається в вакуум-перегоночний апарат, де геранілацетон піддається відгонці при  $t = 118-120^\circ\text{C}$  (температура підтримується паром, що подається в між стінний простір апарату) та залишковому тиску  $p = 7$  мм. рт. ст. Залишки ацетооцтового ефіру відходять на охолодження, а потім на утилізацію.

## 3. Охолодження

Процес охолодження геранілацетону відбувається в холодильнику за допомогою води, що подається міжстінний простір апарату. Температура охолодження рівна 20°C. Охолоджений проміжний продукт накопичується в збірнику і передається в мірник.

## 4. Синтез III

На даній стадії відбувається синтез дегідронеролідолу із геранілацетону під дією ацетилену та натрію. Процес проходить в реакторі з нержавіючої сталі, який має мішалку, барботер і кожух, холодильник і приймальники. Із одного з балонів, що під'єднані до реактора, в середину подається рідкий безводний аміак, а з іншого – швидкий потік сухого ацетилену. Далі при перемішуванні вводять металічний натрій з такою швидкістю, яка дозволяє уникнути стійкого посиніння реакційної маси. Після цього, при зменшеному потоку ацетилену на протязі 40 хвилин із мірнику додають геранілацетон, перемішують 2 години, і витримують при 20°C протягом 16 годин. Утворену масу жовтого кольору охолоджують до -5°C (за допомогою розсолу, що подається в сорочку апарату), додають хлористий

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			25

амоній у вигляді порошку та підкислюють сірчаною кислотою ( $C = 50\%$ ) до значення  $pH = 6,5$ .

#### 5. Відстоювання

Утворену масу на стадії синтезу III переводять у відстійник, де суміш розділяється на неорганічну та органічну фазу. Неорганічна фаза подається на утилізацію, а органічна – на подальшу переробку.

#### 6. Окиснення

На даній стадії відбувається змішування органічної фази, що утворилася на попередньому етапі і підсушуючого агента – сірчаної кислоти натрію. Процес відбувається у змішувачі.

#### 7. Вакуумна перегонка

Утворена суміш поступає в збірник, а потім зі збірника подається в вакуум-перегонний апарат, де відганяється аміак, який охолоджується і відходить на переробку. Після відгонки аміаку суміш, що залишилась в апараті, піддається нагріванню до  $107-110^{\circ}C$  за допомогою пару, що подається у його міжстінний простір. Досягнувши заданої температури починається процес відгонки напівпродукту – дегідронеролідолу. Даний процес відбувається при залишковому тиску  $2,5$  мм. рт. ст.

#### 8. Охолодження

Пари дегідронеролідолу, що утворилися в процесі відгонки, охолоджуються в холодильнику за допомогою води, що подається в міжстінний простір апарату. В результаті утворюється конденсат дегідронеролідолу. Охолоджений проміжний продукт накопичується в збірнику і передається в мірник.

#### 9. Синтез IV

На даному етапі виробництва відбувається синтез  $2,6,10$ -триметилпентадекатетраен- $2,6,10,12$ -он -14 (кетон  $C_{18}$ ) з дегідронеролідолу під дією ацетооцтового ефіру. Процес проходить в реакторі з нержавіючої сталі, який має холодильник і приймальники. Синтез проходить при температурі  $165-170^{\circ}C$ , яка забезпечується паром, який подається в міжстінний простір апарату. Нагрівання проходить в потоці азоту. Тривалість

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

даного процесу складає 55 годин. В ході процесу також виділяється вуглекислий газ, який виводиться на переробку. Ацетооцтовий ефір, що не прореагував, відганяється в збірник де охолоджується водою і відходить на переробку.

#### 10. Вакуумна перегонка

Із реакційної маси, що утворилася на попередньому етапі, відганяють кетон  $C_{18}$  при температурі 125-127°C (забезпечується паром, що подається в міжстінний простір) і залишковому тиску 0,6 мм. рт. ст. Процес відбувається в вакуум-перегонному апараті.

#### 11. Синтез V

Процес синтезу 2,6,10-триметилпентадеканон-14 з кетон  $C_{18}$  проходить в автоклаві. Спочатку в апарат подають кетон  $C_{18}$  і додають до нього етиловий спирт і скелетний нікелевий каталізатор ( $C = 7-10\%$ ). Далі із балонів, що під'єднані до автоклаву, продувають спочатку азот, а потім пропускають водень (надмірний тиск 90 кгс/см<sup>2</sup>) на протязі 2-х годин.

#### 12. Фільтрування

На даному етапі утворена суміш піддається фільтруванню на нутч-фільтрі, в результаті чого відфільтровується каталізатор.

#### 13. Перегонка

Фільтрат поступає через збірник в перегонний апарат, де відганяють спирт. Утворюється кубовий залишок.

#### 14. Окиснення

Кубовий залишок зливають в реактор, що має перемішувачий пристрій, де відбувається процес окиснення спирту  $C_{18}$  за допомогою хромпіку у присутності льодяної оцтової кислоти і азоту. Далі додають сірчану кислоту. Для завершення реакції суміш нагрівають до 80-85°C на протязі 50 хвилин за допомогою пару, що подається в міжстінний простір апарату. Далі додають дихлоретан, перемішують і утворену суміш переводять на наступну стадію.

#### 15. Відстоювання

Утворена суміш на стадії окиснення піддається розділенню на шари. Верхній шар, що утворився, переходить спочатку в збірник де охолоджується

						Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і потім відправляється на утилізацію, а нижній шар піддається подальшій обробці.

#### 16. Вакуумна перегонка

На даному етапі виробництва з утвореної суміші після відстоювання спочатку відганяють дихлоретан, який охолоджується і подається на утилізацію, а потім при температурі 110-113°C (забезпечується паром, що подається в міжстінний простір апарату) і залишковому тиску 0,2 мм. рт. ст. відганяється 2,6,10-триметилпентадеканон-14.

##### 16.1 Спалювання

Дихлоретан достатньо токсична речовина, тому він піддається спалюванню в барабанній печі до утворення води, вуглекислого газу та соляної кислоти. Дані відходи можна очистити і використати на інших стадіях даного виробництва.

##### 17. Охолодження

Пари 2,6,10-триметилпентадеканона-14, що утворилися на попередній стадії, піддаються охолодженню до 20°C в холодильнику (охолоджуючим агентом виступає вода, що подається в сорочку апарату), в результаті чого утворюються конденсат даного напівпродукту. Охолоджений проміжний продукт накопичується в збірнику і передається в мірник.

##### 18. Синтез VI

На даній стадії відбувається процес синтезу 2,6,10,14-тетраметилгексадецин-15-ол-14 (ацетиленового третинного карбінолу C<sub>20</sub>). Процес проходить в реакторі, який має мішалку, кожух для розсолу, холодильник і приймальники. Спочатку вводять аміак, потім пропускають потік ацетилену і далі, при перемішуванні, додають металічний натрій. Опісля цього, впродовж 40 хвилин, в реактор подають 2,6,10-триметилпентадеканон-14. Масу перемішують 1 годину і витримують 15 годин при 20°C (температура забезпечується розсолем, що подається в міжстінний простір, а також влаштованим холодильником). Далі додають хлористий амоній, а потім сірчану кислоту для отримання рН середовища 6,5.

##### 19. Відстоювання

						Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реакційна маса подається в відстійник, де розділяється на неорганічну (нижній шар) та органічну (верхній шар) фазу. Неорганічна фаза виводиться на утилізацію, а органічна на подальшу переробку.

#### 20. Вакуумна перегонка

Процес протікає в вакуум-перегонному апараті. Спочатку відганяється аміак, який охолоджується в холодильнику, а далі подається на переробку. Потім залишкову суміш речовин нагрівають до температури 119-121°C за допомогою пари, що подається в міжстінний простір апарату, і при залишковому тиску 0,2 мм. рт. ст. відганяють ацетиленовий третинний карбінол C<sub>20</sub>.

#### 21. Охолодження

Утворені пари ацетиленового третинного карбінолу C<sub>20</sub> охолоджуються в холодильнику до 20°C з утворення конденсату напівпродукту. Охолодження забезпечується водою, що подається в сорочку збірника. Охолоджений проміжний продукт накопичується в збірнику і передається в мірник.

#### 22. Синтез VII

Процес синтезу ізофітолу відбувається в автоклаві при температурі 180°C та тиску 7500 мм.рт.ст. Спочатку подають 2,6,10,14-тетраметилгексадецин-15-ол-14 і етиловий спирт, продувають азотом і гідрують воднем в присутності каталізатору Ліндлера (паладієвий каталізатор отруєний хіноліном).

#### 23. Фільтрування

На нутч-фільтрі відфільтровують каталізатор, який йде на утилізацію, а утворений фільтрат подають на подальшу обробку.

#### 24. Вакуумна перегонка

З фільтрату відганяється спирт, який охолоджується і подається на переробку. Далі при температурі 114-115°C (забезпечується паром, що заповнює міжстінний простір апарату) і залишковому тиску 0,4 мм. рт. ст., переганяють ізофітол.

#### 25. Охолодження

						Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Утворений ізофітол охолоджується в холодильнику до 20°C за допомогою води, яка подається в міжстінний простір апарату. Охолоджений проміжний продукт накопичується в збірнику і передається в мірник.

#### 26. Синтез VIII

На даній стадії відбувається синтез фітилхлориду шляхом взаємодії ізофітолу з концентрованою соляною кислотою. Процес проходить в реакторі з нержавіючої сталі, із влаштованою всередину мішалкою. В реакційний простір подають ізофітол і концентровану соляну кислоту, перемішують і витримують при 20°C. Далі додають воду, перемішують і подають на подальшу обробку.

#### 27. Відстоювання

Суміш, що утворилася на попередній стадії подається в відстійник, де розділяється на два шари. Нижня неорганічна фаза подається на утилізацію, а верхня органічна фаза відправляється на наступну стадію виробництва.

#### 28. Змішування

Процес відбувається в апараті–змішувачі. Фітилхлорид промивають до нейтральної реакції за допомогою змішування його з водою.

#### 29. Синтез IX

На даній стадії відбувається процес синтезу альфа-токоферолу шляхом конденсації фітилхлориду і триметилгідрокінону в присутності оцтової кислоти, хлористого цинку і ефірату трьохфтористого бору. Процес відбувається в реакторі з емальованої сталі, що має кожух для обігріву парою та охолодження водою (надає забезпечення необхідної температури), холодильником і приймальниками. В реактор вводять оцтову кислоту, фітилхлорид, ТМГХ, хлористий цинк і ефірат трьохфтористого бору, нагрівають в потоку азоту впродовж 3-4 годин до температури 120-122°C. Далі утворену суміш охолоджують водою і подають на наступну стадію обробки.

#### 30. Відстоювання

До реакційної суміші додають воду і піддають розділенню на шари. Нижній неорганічний шар піддають утилізації, а верхній органічний – на наступну стадію виробничого процесу.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

### 31. Ацилювання

На даному етапі відбувається процес ацилювання альфа-токоферолу і отримання альфа-токоферол ацетату. В реактор подається альфа-токоферол і оцтовий ангідрид. Суміш витримують при температурі 120°C (підтримується за допомогою пари, що надходить в міжстінний простір апарату) впродовж 2 годин з відведенням оцтової кислоти, що утворюється (охолюється і подається на переробку).

### 32. Вакуумна перегонка

На даній стадії відбувається відбір необхідної фракції. Процес проходить в вакуум-перегінному апараті, що містить в собі теплообмінник. Фракція відбирається в збірник при температурі 205-208°C при залишковому тиску 0,3 мм. рт. ст. Вихід ацетату вітаміну Е складає 69, 5% (на ізофітол).

### 2.3 Розрахунок матеріального балансу

Матеріальний баланс виробництва синтетичного вітаміну Е у формі альфа-токоферол ацетату розраховується по стадійно відповідно до етапів принципової технологічної схеми. Розрахунки ґрунтуються на законі збереження мас, відповідно до якого маса сировини, що поступає на стадію дорівнює масі продукту, що отримується з урахуванням відсотку втрат і відходів.

Таблиця 2.1

#### *Матеріальний баланс стадії синтезу II*

Перша стадія – синтез геранілацетону. Втрати 0,3%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Ліналоол	1338,4	Реакційна маса	3243,6
Ацетооцтовий ефір	1912	Втрати	9,8

					Арк.
					31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

1	2	3	4
<b>Всього</b>	3253,4	<b>Всього</b>	3253,4

Таблиця 2.2

**Матеріальний баланс стадії вакуумної перегонки**

Друга стадія – вакуумна перегонка реакційної суміші. Втрати 0,4%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Реакційна маса	3243,6	Геранілацетон	957,25
		Ацетооцтовий ефір	586
		Втрати	13,01
		Кубовий залишок	1687,34
<b>Всього</b>	3243,6	<b>Всього</b>	3243,6

Таблиця 2.3

**Матеріальний баланс стадії охолодження**

Третя стадія – охолодження геранілацетону. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Геранілацетон	957,25	Геранілацетон	955,35
		Втрати	1,9

						Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Всього</b>	957,25	<b>Всього</b>	957,25

Таблиця 2.4

**Матеріальний баланс стадії синтезу III**

Четверта стадія – синтез дегідронеролідолу. Втрати 0,3%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Геранілацетон	955,35	Реакційна маса	11089,23
Безводний аміак	5737,5	Втрати	33,37
Ацетилен	267,75		
Металічний натрій	229		
Хлористий амоній	108		
Сульфатна кислота	3825		
<b>Всього</b>	<b>11122,6</b>	<b>Всього</b>	<b>11122,6</b>

Таблиця 2.5

**Матеріальний баланс стадії відстоювання**

П'ята стадія – відстоювання реакційної маси. Втрати 0,5%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4

1	2	3	4
Реакційна маса	11089,23	Органічна фаза	6528,58
		Неорганічна фаза	4505,2
		Втрати	55,45
<b>Всього</b>	11089,23	<b>Всього</b>	11089,23

Таблиця 2.6

**Матеріальний баланс стадії змішування**

Шоста стадія – змішування органічної фази з сірчаноокислим натрієм.

Втрати 0,3%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Органічна фаза	6528,58	Реакційна суміш	8034,4
Сірчаноокислий натрій	1530	Втрати	24,18
<b>Всього</b>	8058,58	<b>Всього</b>	8058,58

Таблиця 2.7

**Матеріальний баланс стадії вакуумної перегонки**

Сьома стадія – вакуумна перегонка дегідронеролідолу. Втрати 0,4%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Реакційна маса	8034,4	Дегідронеролідол	766,8

1	2	3	4
		Аміак	1925,5
		Втрати	32,14
		Кубовий залишок	5309,96
<b>Всього</b>	8034,4	<b>Всього</b>	8034,4

Таблиця 2.8

**Матеріальний баланс стадії охолодження**

Восьма стадія – охолодження дегідронеролідолу. Втрати 0,3%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг		Маса, кг
1	2	3	4
Дегідронеролідол	766,8	Дегідронеролідол	764,5
		Втрати	2,3
<b>Всього</b>	766,8	<b>Всього</b>	766,8

Таблиця 2.9

**Матеріальний баланс стадії синтезу IV**

Дев'ята стадія – синтез кетон C<sub>18</sub>. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Дегідронеролідол	764,5	Реакційна суміш	1020,07

1	2	3	4
Ацетооцтовий ефір	573,9	Ацетооцтовий ефір	109,3
		Вуглекислий газ	206,32
		Втрати	2,68
<b>Всього</b>	<b>1338,4</b>	<b>Всього</b>	<b>1338,4</b>

Таблиця 2.10

**Матеріальний баланс стадії вакуумної перегонки**Десята стадія – вакуумна перегонка кетон C<sub>18</sub>. Втрати 0,4%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Реакційна маса	1020,07	Кетон C <sub>18</sub>	478,4
		Втрати	4,08
		Кубовий залишок	537,59
<b>Всього</b>	<b>1020,07</b>	<b>Всього</b>	<b>1020,07</b>

Таблиця 2.11

**Матеріальний баланс стадії синтезу V**

Одинадцята стадія – синтез 2,6,10-триметилпентадеканон-14. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4

1	2	3	4
Кетон C <sub>18</sub>	478,4	Реакційна маса	549,06
Скелетний нікелевий каталізатор	55,2	Втрати	1,1
Етиловий спирт	11,04		
Водень	5,52		
<b>Всього</b>	<b>550,16</b>	<b>Всього</b>	<b>550,16</b>

Таблиця 2.12

**Матеріальний баланс стадії фільтрація**

Дванадцята стадія – фільтрування реакційної маси. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Реакційна маса	549,06	Фільтрат	493,78
		Каталізатор	54,18
		Втрати	1,1
<b>Всього</b>	<b>549,06</b>	<b>Всього</b>	<b>549,06</b>

Таблиця 2.13

**Матеріальний баланс стадії перегонки**

Тринадцята стадія – перегонка фільтрату. Втрати 0,4%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг

1	2	3	4
Фільтрат	493,78	Кубовий залишок	487,09
		Етиловий спирт	4,71
		Втрати	1,98
<b>Всього</b>	493,78	<b>Всього</b>	493,78

Таблиця 2.14

**Матеріальний баланс стадії окислення**

Чотирнадцята стадія – окислення кубового залишку. Втрати 0,3%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Кубовий залишок	487,09	Реакційна маса	1911,23
Льодяна оцтова кислота	552	Втрати	4,56
Хромпik	202,4		
Сульфатна кислота	184		
Дихлоретан	94,3		
<b>Всього</b>	1915,79	<b>Всього</b>	1915,79

Таблиця 2.15

**Матеріальний баланс стадії відстоювання**

П'ятнадцята стадія – відстоювання реакційної маси. Втрати 0,5%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг

						Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4
Реакційна маса	1911,23	Органічна фаза	1023,45
		Неорганічна фаза	872,22
		Втрати	9,56
<b>Всього</b>	1911,23	<b>Всього</b>	1911,23

Таблиця 2.16

**Матеріальний баланс стадії вакуумної перегонки**

Шіснадцята стадія – вакуумна перегонка 2,6,10-триметилпентадеканон-14. Втрати 0,4%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Органічна фаза	1023,45	2,6,10-триметилпентадеканон-14	184,65
		Дихлоретан	41,52
		Втрати	5,18
		Кубовий залишок	792,1
<b>Всього</b>	1023,45	<b>Всього</b>	1023,45

Таблиця 2.17

**Матеріальний баланс стадії охолодження**

Сімнадцята стадія – охолодження 2,6,10-триметилпентадеканон-14. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
----------------	--	---------------	--

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Речовина	Маса, кг		Маса, кг
1	2	3	4
2,6,10-триметилпентадеканон-14	184,65	2,6,10-триметилпентадеканон-14	184,28
		Втрати	0,37
<b>Всього</b>	184,65	<b>Всього</b>	184,65

Таблиця 2.18

**Матеріальний баланс стадії синтезу VI**Вісімнадцята стадія – синтез карбінолу C<sub>20</sub>. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
2,6,10-триметилпентадеканон-14	184,28	Реакційна маса	1078,52
Хлористий амоній	756	Витрати	2,16
Ацетилен	32,4		
1	2	3	4
Металічний натрій	32,4		
Сульфатна кислота	108		
<b>Всього</b>	1080,68	<b>Всього</b>	1080,68

**Матеріальний баланс стадії відстоювання**

Дев'ятнадцята стадія – відстоювання реакційної суміші. Втрати 0,5%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Реакційна маса	1078,52	Органічна фаза	625,69
		Неорганічна фаза	447,44
		Втрати	5,39
<b>Всього</b>	<b>1078,52</b>	<b>Всього</b>	<b>1078,52</b>

Таблиця 2.20

**Матеріальний баланс стадії вакуумної перегонки**Двадцята стадія – вакуумна перегонка карбінолу C<sub>20</sub>. Втрати 0,4%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Органічна фаза	625,69	Карбінол C <sub>20</sub>	108,56
		Аміак	159,32
		Втрати	2,5
		Кубовий залишок	355,31
<b>Всього</b>	<b>625,69</b>	<b>Всього</b>	<b>625,69</b>

						Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Матеріальний баланс стадії охолодження**Двадцять перша стадія – охолодження карбінолу C<sub>20</sub>. Втрати 0,1%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Карбінол C <sub>20</sub>	108,56	Карбінол C <sub>20</sub>	108,34
		Втрати	0,22
<b>Всього</b>	<b>108,56</b>	<b>Всього</b>	<b>108,56</b>

Таблиця 2.22

**Матеріальний баланс стадії синтезу VII**

Двадцять друга стадія – синтез ізофітолу. Втрати 0,1%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Карбінол C <sub>20</sub>	108,34	Реакційна маса	288,7
		Втрати	0,29
Спирт	179,66		
Каталізатор Ліндлера	0,27		
Азот	0,27		
Водень	0,45		
<b>Всього</b>	<b>288,99</b>	<b>Всього</b>	<b>288,99</b>

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Таблиця 2.23

**Матеріальний баланс стадії фільтрування**

Двадцять третя стадія – фільтрування реакційної суміші. Втрати 0,3%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Реакційна маса	288,7	Фільтрат	287,59
		Каталізатор	0,24
		Втрати	0,87
<b>Всього</b>	<b>288,7</b>	<b>Всього</b>	<b>288,7</b>

Таблиця 2.24

**Матеріальний баланс стадії вакуумної перегонки**

Двадцять четверта стадія – вакуумна перегонка ізофітолу. Втрати 0,4%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Фільтрат	287,59	Ізофітол	90,26
		Спирт	22,4
		Втрати	1,15
		Кубовий залишок	173,78
<b>Всього</b>	<b>287,59</b>	<b>Всього</b>	<b>287,59</b>

**Матеріальний баланс стадії охолодження**

Двадцять п'ята стадія – охолодження ізофітолу. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Ізофітол	90,26	Ізофітол	90,08
		Втрати	0,18
<b>Всього</b>	<b>90,26</b>	<b>Всього</b>	<b>90,26</b>

**Матеріальний баланс стадії синтезу VIII**

Двадцять шоста стадія – синтез фітилхлориду. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
1	2	3	4
Ізофітол	90,08	Реакційна суміш	313,45
Концентрована соляна кислота	200	Втрати	0,63
Вода	24		
<b>Всього</b>	<b>314,08</b>	<b>Всього</b>	<b>314,08</b>

Таблиця 2.27

**Матеріальний баланс стадії відстоювання**

Двадцять сьома стадія – відстоювання реакційної суміші. Втрати 0,5%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Реакційна суміш	313,45	Фітилхлорид	247,99
Вода	52	Неорганічна фаза	115,63
		Втрати	1,83
<b>Всього</b>	<b>365,45</b>	<b>Всього</b>	<b>365,45</b>

Таблиця 2.28

**Матеріальний баланс стадії змішування**

Двадцять восьма стадія – змішування фітилхлориду з водою. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Фітилхлорид	247,99	Розбавлений фітилхлорид	265,46
Вода	18	Втрати	0,53
<b>Всього</b>	<b>265,99</b>	<b>Всього</b>	<b>265,99</b>

						Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Матеріальний баланс стадії синтезу ІХ**

Двадцять дев'ята стадія – синтез альфа-токоферолу. Втрати 0,2%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Фітилхлорид	265,46	Реакційна суміш	359,74
Оцтова кислота	50	Втрати	0,72
ТМГХ	46		
Ефірат трьохфтористого бору	3		
Цинк хлорид	5		
<b>Всього</b>	<b>360,46</b>	<b>Всього</b>	<b>360,46</b>

Таблиця 2.30

**Матеріальний баланс стадії відстоювання**

Тридцята стадія – відстоювання реакційної суміші. Втрати 0,5%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Реакційна суміш	359,74	Органічна фаза	221,69
		Неорганічна фаза	136,25
		Втрати	1,8
<b>Всього</b>	<b>359,74</b>	<b>Всього</b>	<b>359,74</b>

					Арк.
					46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таблиця 2.31

**Матеріальний баланс стадії ацилювання**

Тридцять перша стадія – ацилювання альфа-токоферолу. Втрати 0,3%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Органічна фаза	221,69	Реакційна суміш	206,6
Ангідрид оцтової кислоти	70	Оцтова кислота	84,21
		Втрати	0,88
<b>Всього</b>	<b>291,69</b>	<b>Всього</b>	<b>291,69</b>

Таблиця 2.32

**Матеріальний баланс стадії вакуумної перегонки**

Тридцять друга стадія – вакуумна перегонка альфа-токоферол ацетату. Втрати 0,4%.

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Реакційна суміш	206,6	α-токоферол ацетат	99,87
		Втрати	0,83
		Кубовий залишок	105,9
<b>Всього</b>	<b>206,6</b>	<b>Всього</b>	<b>206,6</b>

					Арк.
					47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

## Узагальненні дані матеріального балансу виробництва вітаміну Е

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1	2	3	4
Ліналоол	1338,4	Реакційна маса	3243,6
Ацетооцтовий ефір	1912	Втрати	9,8
Реакційна маса	3243,6	Геранілацетон	957,25
Геранілацетон	957,25	Ацетооцтовий ефір	586
Геранілацетон	955,35	Втрати	13,01
Безводний аміак	5737,5	Кубовий залишок	1687,34
Ацетилен	267,75	Геранілацетон	955,35
Металічний натрій	229	Втрати	1,9
Хлористий амоній	108	Реакційна маса	11089,23
Сульфатна кислота	3825	Втрати	33,37
Реакційна маса	11089,23	Органічна фаза	6528,58
Органічна фаза	6528,58	Неорганічна фаза	4505,2
Сірчаноокислий натрій	1530	Втрати	55,45
Реакційна маса	8034,4	Реакційна суміш	8034,4
Дегідронеролідол	766,8	Втрати	24,18
Дегідронеролідол	764,5	Дегідронеролідол	766,8
Ацетооцтовий ефір	573,9	Аміак	1925,5

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

1	2	3	4
Реакційна маса	1020,07	Втрати	32,14
Кетон C <sub>18</sub>	478,4	Кубовий залишок	5309,96
Скелетний нікелевий каталізатор	55,2	Дегідронеролідол	764,5
Етиловий спирт	11,04	Втрати	2,3
Водень	5,52	Реакційна суміш	1020,07
Реакційна маса	549,06	Ацетооцтовий ефір	109,3
Фільтрат	493,78	Вуглекислий газ	206,32
Кубовий залишок	487,09	Втрати	2,68
Льодяна оцтова кислота	552	Кетон C <sub>18</sub>	478,4
Хромпik	202,4	Втрати	4,08
Сульфатна кислота	184	Кубовий залишок	537,59
Дихлоретан	94,3	Реакційна маса	549,06
Реакційна маса	1911,23	Втрати	1,1
Органічна фаза	1023,45	Фільтрат	493,78
2,6,10-триметилпентадеканон-14	184,65	Каталізатор	54,18
2,6,10-триметилпентадеканон-14	184,28	Втрати	1,1

						Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4
Хлористий амоній	756	Кубовий залишок	487,09
Ацетилен	32,4	Етиловий спирт	4,71
Металічний натрій	32,4	Втрати	1,98
Сульфатна кислота	108	Реакційна маса	1911,23
Реакційна маса	1078,52	Втрати	4,56
Органічна фаза	625,69	Органічна фаза	1023,45
Карбінол C <sub>20</sub>	108,56	Неорганічна фаза	872,22
Карбінол C <sub>20</sub>	108,34	Втрати	9,56
Спирт	179,66	2,6,10- триметилпентадеканон- 14	184,65
Каталізатор Ліндлера	0,27	Дихлоретан	41,52
Азот	0,27	Втрати	5,18
Водень	0,45	Кубовий залишок	792,1
Реакційна маса	288,7	2,6,10- триметилпентадеканон- 14	184,28
Фільтрат	287,59	Втрати	0,37
Ізофітол	90,26	Реакційна маса	1078,52
Ізофітол	90,08	Витрати	2,16

						Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	2	3	4
Концентрована соляна кислота	200	Органічна фаза	625,69
Вода	24	Неорганічна фаза	447,44
Реакційна суміш	313,45	Втрати	5,39
Вода	52	Карбінол C <sub>20</sub>	108,56
Фітилхлорид	247,99	Аміак	159,32
Вода	18	Втрати	2,5
Фітилхлорид	265,46	Кубовий залишок	355,31
Оцтова кислота	50	Карбінол C <sub>20</sub>	108,34
ТМГХ	46	Втрати	0,22
Ефірат трьохфтористого бору	3	Реакційна маса	288,7
Цинк хлорид	5	Втрати	0,29
Реакційна суміш	359,74	Фільтрат	287,59
Органічна фаза	221,69	Каталізатор	0,24
Ангідрид оцтової кислоти	70	Втрати	0,87
Реакційна суміш	206,6	Ізофітол	90,26
		Спирт	22,4
		Втрати	1,15

1	2	3	4
		Кубовий залишок	173,78
		Ізофітол	90,08
		Втрати	0,18
		Реакційна суміш	313,45
		Втрати	0,63
		Фітилхлорид	247,99
		Неорганічна фаза	115,63
		Втрати	1,83
		Розбавлений фітилхлорид	265,46
		Втрати	0,53
		Реакційна суміш	359,74
		Втрати	0,72
		Органічна фаза	221,69
		Неорганічна фаза	136,25
		Втрати	1,8
		Реакційна суміш	206,6
		Оцтова кислота	84,21
		Втрати	0,88
		α-токоферол ацетат	99,87

1	2	3	4
		Втрати	0,83
		Кубовий залишок	105,9
<b>Всього</b>	61525,45	<b>Всього</b>	61525,45

#### 2.4 Розрахунок теплового балансу

Для підтримки необхідної температури процесу треба підводити теплоту.

Площа поверхні нагріву реактора визначається:

$$F = \frac{Q_{\text{кор}}}{k_{\text{сер}} \cdot \Delta T \cdot \tau}$$

$k_{\text{сер}}$  – середній коефіцієнт теплопередачі,  $k_{\text{сер}} = 200 \text{ Вт}/(\text{м}^3\text{К})$ ;

Витрати корисного тепла на нагрів:

$$Q_{\text{кор}} = Q_1 + Q_2$$

Витрати корисного тепла на нагрів легкоплавких компонентів:

$$Q_1^A = G_A \cdot C_A \cdot (T_r^A - T_K^A) = 79,7 \cdot 2483 \cdot 15 = 2968426,5 \text{ Дж}$$

Витрати корисного тепла на нагрів водяної пари:

$$Q_1^B = G_B \cdot C_B \cdot (T_r^B - T_K^B) = 5 \cdot 1470 \cdot 15 = 11250 \text{ Дж}$$

Витрати корисного тепла на розчинення:

$$Q_2 = G_B \cdot q_k = 97,18 \cdot 4190 = 407226,1 \text{ Дж}$$

Середня різниця температур теплоносія і середовища, що сприймає тепло:

$$Q_{\text{кор}} = Q_1 + Q_2 = 2979675,5 + 407226,1 = 3386902,6 \text{ Дж}$$

де  $T_1$  – початкова температура теплоносія,  $T_1 = 45^\circ\text{C}$ ;

$T_2$  – кінцева температура теплоносія,  $T_2 = 135^\circ\text{C}$ ;

$T'_1$  – початкова температура продукту,  $T'_1 = 30^\circ\text{C}$ ;

$T'_2$  – кінцева температура продукту,  $T'_2 = 120^\circ\text{C}$ .

$$\Delta T = \frac{(45 - 30) + (135 - 120)}{2} = 15^\circ\text{C}$$

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	53

Отже, площа поверхні нагріву дорівнює:

$$F = \frac{16934,5}{30 \cdot 15 \cdot 1800} = 4,2 \text{ м}^2$$

Витрати гарячої води на один цикл:

$$D = \frac{Q_{\text{заг}}}{i_1 - i_2}$$

Загальні витрати тепла на 1 цикл:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{кор}} + Q_{\text{витр}}$$

Витрати тепла в навколишнє середовище через стінки апарату:

$$Q_{\text{витр}} = F \cdot \alpha_k \cdot (T_{\text{ст}} - T_{\text{пов}}) = 4,2 \cdot 11,04 \cdot (120 - 22) = 4544 \text{ Дж}$$

Загальні витрати складають:

$$Q_{\text{заг}} = 4544 + 3386902,6 = 3391446,6 \text{ Дж}$$

Витрати гарячої води на один цикл:

$$D = \frac{3391446,6}{177000 - 30000} = 23 \text{ кг/с}$$

## 2.5 Підбір основного обладнання

За результатами розрахунку матеріального балансу було здійснено підбір основного технологічного обладнання відповідно до стадій виробничого процесу.

### Реактор з нержавіючої сталі з рамною мішалкою

Хімічні реактори – обладнання для проведення хімічних реакцій. Мета роботи реактора – вироблення кінцевого продукту з вихідних компонентів при дотриманні вимог максимальної ефективності процесу. Більшість реакторів складається з вертикальної ємності з кришкою, кожухом для подачі охолоджуючого або нагріваючого агента, мішалкою, приймачами та штуцерами. Для даної технології обрано реактор з нержавіючої сталі з рамною мішалкою (рисунок 2.2). Виробництво реакторів з нержавіючої сталі надає реакторам одночасно і механічної міцності, і стійкості до корозійного впливу речовин, що переробляються. За рахунок цього використання подібного обладнання є вигідним з точки зору оптимізації виробничих процесів [28].

					Арк.
					54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



Рисунок 2.2. Реактор з нержавіючої сталі з рамною мішалкою

Таблиця 2.34

**Технічна характеристика РСДП-500 ВК**

Характеристика	Значення
1	2
Марка матеріалу деталей, що не контактують з продуктом	AISI 304
Форма кришки	Еліптична
Форма днища	Конічна
Потужність реактора, кВт	27
Потужність рамної мішалки, кВт	3
Частота обертання якірної мішалки, об/хв	60
Маса, кг	550

**Вакуумно-перегінний апарат**

Вакуумно-перегінний апарат – це апарат, який використовується при дистиляції за зниженого тиску, що дозволяє очистити сполуки, які не піддаються дистиляції за звичайного тиску, або просто заощадити час чи енергію. Цей апарат використовується, коли температуру кипіння потрібної сполуки важко досягти або вона може розкластися. Зниження тиску знижує температуру кипіння сполук.

Даний вакуумний дистилятор (рисунок 2.3) виготовляється з харчової нержавіючої сталі, оснащений вакуумним насосом, термометром [29].



Рисунок 2.3. Вакуумний котел для вакуумної дистиляції

Таблиця 2.35

#### Технічна характеристика

Характеристика	Значення
1	2
Номінальний об'єм, л	300
Робочий тиск, МПа	0,098
Робоча температура, °С	60-250

#### Перегінний апарат

Апарат перегінний (рисунок 2.4) – прилад, що слугує для розділення рідин базуючись на їх різниці в температурах кипіння.

Зазвичай перегінні апарати являють собою циліндричний, порівняно з діаметром невисокий котел з опуклим, плоским або увігнутим дном і куполоподібною кришкою, забезпеченою шоломом, що переходить у паровідвідну трубу [29].



Рисунок 2.4. Перегінний апарат

Таблиця 2.35

**Технічна характеристика Barrel 300L 304-010**

Характеристика	Значення
1	2
Номінальний об'єм, л	300
Довжина, мм	900
Ширина, мм	68
Висота, мм	1250
Маса, кг	58

**Відстійник безперервної дії для емульсій**

Принцип дії відстійника полягає в розділенні емульсії на основі різниці питомої ваги рідин.

Даний відстійник (рисунок 2.5) представляє собою циліндричну горизонтальну ємність із патрубком вводу емульсії, перегородкою, що попереджає перемішування розділених рідин потоком емульсії, і патрубків виводу легкої (верхнього шару) і важкої (нижнього шару) фази [29].

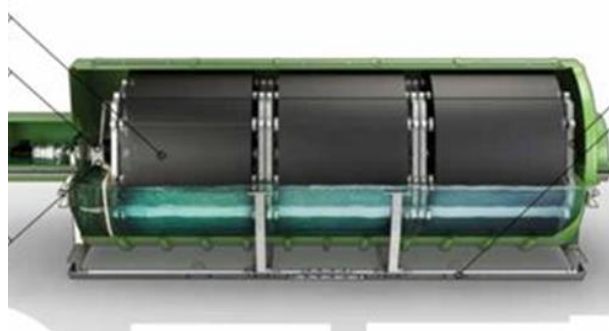


Рисунок 2.5. Відстійник безперервної дії для емульсій

## Технічна характеристика RBC250

Характеристика	Значення
1	2
Продуктивність, кг/доб	15
Довжина, мм	5700
Ширина, мм	2210
Висота, мм	2400
Маса, кг	5000

**Нутч-фільтр**

Нутч-фільтр (рисунок 2.6) - це пристрій періодичної дії, який застосовують для фільтрування різних суспензій. Фільтрація відбувається під вакуумом в ємностях, виконаних із різних матеріалів. Взаємний вплив гравітації та вакууму підвищують ефективність процесу, при цьому напрямки сили тяжіння і переміщення фільтрату збігаються. Таким чином, відфільтровування каталізатору буде більш продуктивним.

Принцип дії даного апарату полягає в проходженні рідини через фільтр під дією сил тяжіння і вакууму, з подальшим відведенням фільтрату з нижньої частини ємності і вивантаження шару твердих частинок, що залишилися на фільтрі, з верхньої частини апарату [30].



Рисунок 2.6. Нутч-фільтр НФ-300

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	58

## Технічна характеристика нутч-фільтру НФ-300

Характеристика	Значення
1	2
Тиск в корпусі, бар	від 0 до 3
Внутрішній діаметр корпусу, мм	2000
Довжина, мм	2510
Ширина, мм	2280
Висота, мм	2740
Маса, кг	1820

**Автоклав**

Автоклав (рисунок 2.7) – герметичний апарат, призначений для здійснення різноманітних процесів (оброблення продукції, сировини, виробів тощо) при нагріванні та під тиском, що перевищує атмосферний. Підвищений тиск в автоклаві компенсує температурне розширення продукту. Такі умови дають змогу прискорити реакцію, а також збільшити вихід продукту.

За своєю структурою автоклав – це герметична ємність з кришкою (або замкнута), забезпечена нагрівальним елементом, запірним пристроєм кришки, запобіжним клапаном, спеціальним вентилем, призначеним для стабілізації внутрішнього тиску, контрольними та вимірювальними приладами, і пристроєм для перемішування [31].



Рисунок 2.7. Автоклав КПЄ 500

						Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Технічна характеристика автоклаву КПЄ 500

Характеристика	Значення
1	2
Номінальний об'єм, л	600
Максимальний робочий тиск, МПа	3/5
Потужність, кВт	27
Діаметр, мм	1070
Висота, мм	1050
Маса, кг	100

**Барабанна піч**

Барабан (рисунок 2.8) з листової сталі з внутрішнім цегляним футеруванням, марку якого обирають за гранично допустимою температурою і кислотністю робочого середовища. Тепло виділяють завдяки реакції, що відбувається всередині, або з використанням виносної топки.

В обертових барабанних печах випал матеріалу відбувається при безпосередньому його контакті з газом. Рух матеріалу протитечією щодо газу здійснюється за рахунок нахилу осі барабана і його обертання. Як теплоносій використовується топковий газ, що утворюється під час горіння твердого, рідкого або газоподібного палива.

Використовується зовнішнє охолодження барабана в зоні реакції [32].



Рисунок 2.8. Барабанна обертова піч DROSS JUNIOR

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	60

## Технічна характеристика автоклаву DROSS JUNIOR

Характеристика	Значення
1	2
Номінальний об'єм, л	100
Потужність, кВт	27
Максимальний робочий тиск, бар	200
Робоча температура, °С	600-1200
Маса, кг	200

### 2.6 Конструктивний та енергетичний розрахунок основного апарату

Конструктивний та енергетичний розрахунок проводиться для реактора з нержавіючої сталі з рамною мішалкою, в якому протікає реакція отримання альфа-токоферолу з ТМГХ та фітилхлориду.

#### Вихідні дані:

Потужність реактору:  $N = 27$  кВт

Робочий об'єм:  $V_p = 0,36$  м<sup>3</sup>

Частота обертання мішалки:  $n = 60$  об/хв =  $1$  с<sup>-1</sup>

Густина середовища в апараті:  $\rho = 948$  кг/м<sup>3</sup>

Температура в апараті:  $121^\circ\text{C}$

#### Конструктивний розрахунок

1. Розраховуємо номінальний об'єм апарату (повний об'єм) за допомогою робочого об'єму  $V_p$  та коефіцієнта заповненості  $K_3$  (приймаємо за 0,7):

$$V_H = \frac{V_p}{K_3} = \frac{0,36}{0,7} = 0,5 \text{ м}^3 \quad (2.1)$$

2. За таблицю 2.40 визначаємо внутрішній діаметр апарату, який становить  $D = 900$  мм.

						Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Основні технічні дані реакторів з еліптичними кришками (ГОСТ 6533-78)

Номінальний об'єм $v_n$ , $m^3$	Діаметр $D$ , мм	Площа поверхні теплообмін у рубашки $F_p$ , $m^2$	Площа поверхні теплообмін у $F_3$ , $m^2$		Діаметр вала мішалк и $d_v$ , мм	Висота рівня рідини $H_{ж}$ , м	
			1-й ряд	2-й ряд		$\varphi=0,7$ 5	$\varphi=0,$ 5
1	2	3	4	5	6	7	8
0,1	500	0,7	-	-	40	0,42	0,29
0,16	600	0,9				0,47	0,33
0,25	700	1,3				0,5	0,38
0,4	800	1,9				0,66	0,46
0,63	1000	2,5			40; 50; 65	0,68	0,48
1,0	1200	3,4			2,8	50; 65	0,76
1,25		4,4	-	50; 65;	0,93	0,65	
1,6		5,8			1,16	0,81	
2,0	1400	6,5	3,5	80	1,09	0,77	
2,5		7,8	-		1,33	0,93	

3. Визначаємо діаметр робочого органу:

$$\frac{d}{D} = 0,8 \quad (2.2)$$

$$d = 900 \times 0,8 = 720 \text{ мм} = 0,720 \text{ м} \quad (2.3)$$

Отримане значення діаметру округлюємо до стандартного:  $d = 750 \text{ мм}$ .

4. Знаходимо висоту рамного елемента:

$$\frac{h}{d} = 0,9 \quad (2.4)$$

$$h = 750 \times 0,9 = 675 \text{ мм} = 0,675 \text{ м} \quad (2.5)$$

5. Висота висота відбортованої частини днища:

$$\frac{h_1}{d} = 0,2 \quad (2.6)$$

					Арк.
					62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$h_1 = 750 \times 0,2 = 150 \text{ мм} = 0,150 \text{ м} \quad (2.7)$$

6. Ширина перегородок:

$$\frac{b}{d} = 0,07 \quad (2.8)$$

$$b = 750 \times 0,07 = 52,5 \text{ мм} = 0,053 \text{ м} \quad (2.9)$$

7. Розраховуємо відстані від робочого елементу до стінки апарату:

$$\frac{S}{d} = 0,2 \quad (2.10)$$

$$S = 750 \times 0,2 = 150 \text{ мм} = 0,15 \text{ м} \quad (2.11)$$

8. Знаходимо висоту рівня рідини:

$$\begin{aligned} H_p &= \frac{4(V_p - V_{дн})}{\pi D} + h_1 + h_b = \\ &= \frac{4 \times (0,360 - 0,07)}{\pi \times 0,900} + 0,150 + 0,23 = 0,79 \text{ м}, \end{aligned} \quad (2.12)$$

де  $V_{дн}$  – об'єм рідини в днищі,  $\text{м}^3$ ;  $h_b$  – висота еліптичної частини днища, м.

9. Загальна висота мішалки:

$$H = \frac{H_p}{\varphi} = \frac{0,79}{0,75} = 1 \text{ м} \quad (2.13)$$

### Енергетичний розрахунок

1. Коефіцієнт врахування заповненості ємності перемішувальної рідини:

$$k_1 = \frac{H_p}{D} = \frac{0,79}{0,900} = 0,88 \quad (2.14)$$

2. Критерій Рейнольдса:

$$Re_b = \frac{n \times d^2 \times \rho}{\mu} = \frac{1 \times 0,750^2 \times 948}{6} = 89 \quad (2.15)$$

3. Критерій потужності:

$$K_N = C \times Re_b^{0,77} \times \frac{h}{d} = 7,9 \times 89^{0,77} \times \frac{0,675}{0,750} = 225,37 \quad (2.16)$$

4. Потужність перемішуючого пристрою:

$$\begin{aligned} N &= K_N \times \mu \times n^2 \times d^3 = 225,37 \times 6 \times \\ &\times 1^2 \times 0,75^3 = 570,47 \text{ Вт} = 0,57 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (2.17)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

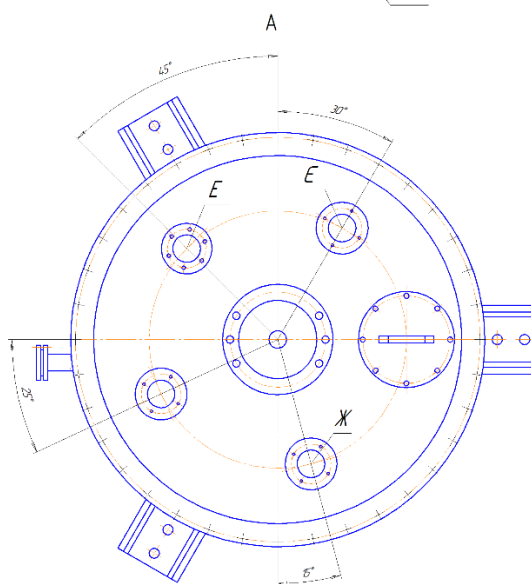
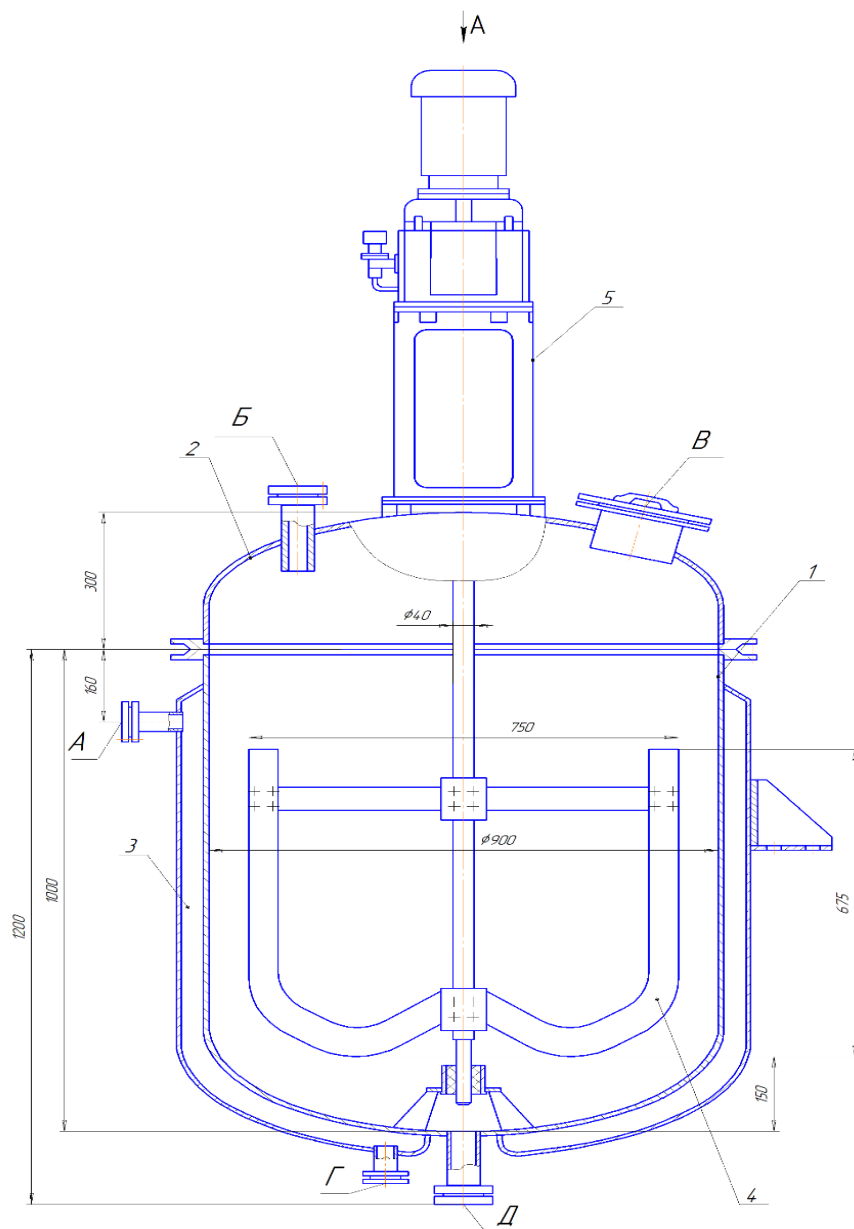


Рисунок 2.9. Загальний вид реактору з рамною мішалкою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 2.7 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва альфа-токоферол ацетату

Апаратурно-технологічна схема виробництва альфа-токоферол ацетату зображена на рисунку 2.10.

						Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

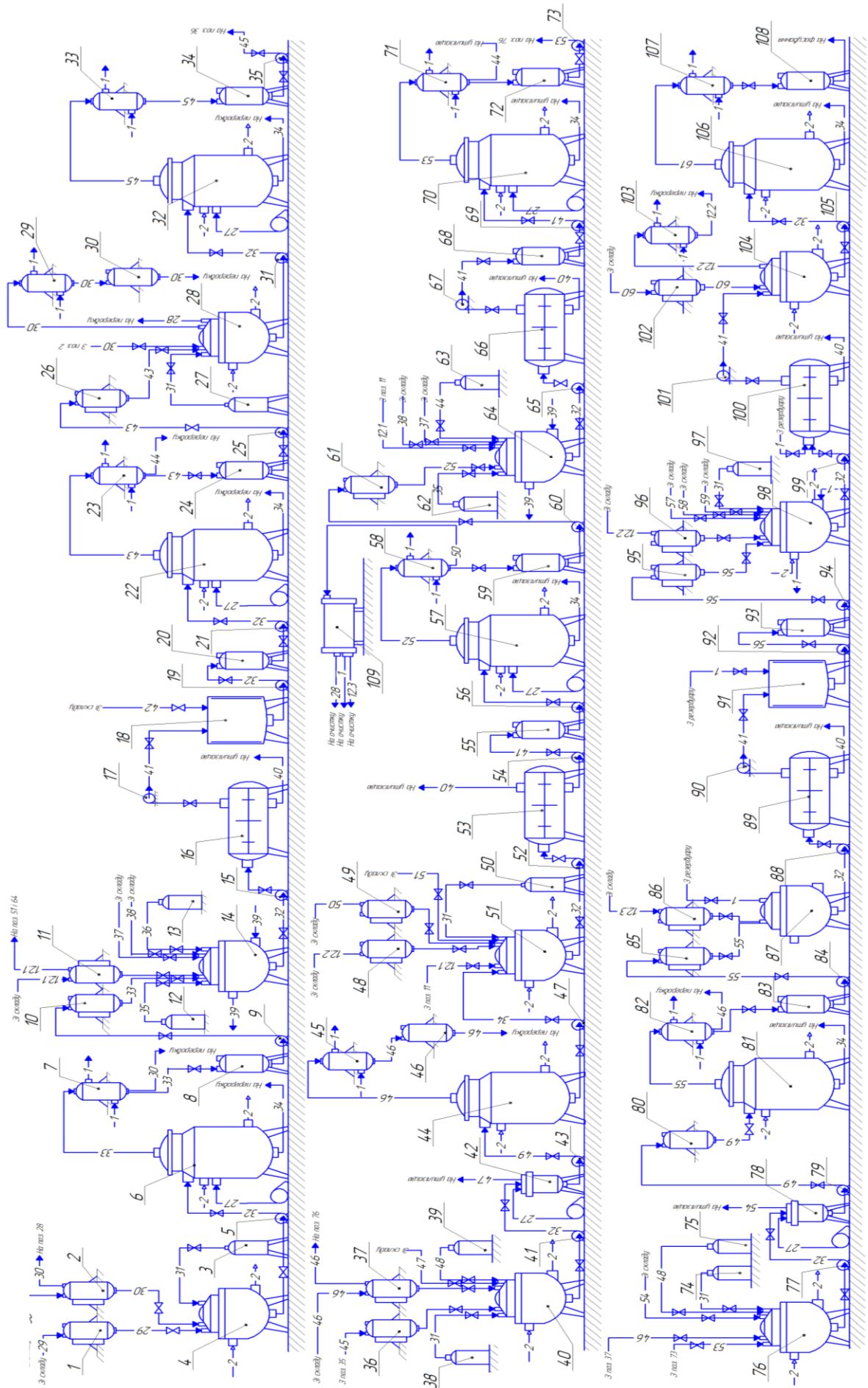


Рисунок. 2.10. Апаратурно-технологічна схема виробництва альфа-гокоферол ацетату

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	66

В реактор 4 загрузають ліналоол з мірника 1 і ацетооцтовий ефір з мірника 2, підігривають парою (подається в міжстінний простір апарату) в потоці азоту із балону 3. Після проходження синтезу реакційну суміш переводять в вакуум-перегінний апарат 6, за допомогою насосу 5. Необхідна температура в апараті забезпечується парою, що подається в його міжстінний простір. Спочатку відганяється непрореагований ацетооцтовий ефір, який охолоджується в холодильнику 7 і відходить на переробку. Потім відганяється геранілацетон, який охолоджується в холодильнику 7 і переводиться спочатку в збірник 8, а потім за допомогою насосу 9 в мірник 10. Охолодження здійснюється за допомогою води (подається в міжстінний простір).

Далі в реактор 14 подають рідкий безводний аміак з балону 13, пропускають потік сухого ацетилену з балону 12, додають металічний натрій і геранілацетон з мірника 10. Після проходження синтезу суміш охолоджують (за допомогою розсолу, що подається в сорочку апарату) і додають хлористий амоній і сульфатну кислоту (С=50%) із мірника 11. Отриману реакційну суміш за допомогою насосу 15 подають в відстійник 16, де верхній шар відводять у змішувач 14 за допомогою насосу 17, а нижній – на утилізацію. У змішувач подають сірчаноокислий натрій і змішують його з сумішшю, що утворилася в реакторі. Далі реакційна суміш переходить в збірник 20, а потім в вакуум-перегінний апарат 22 (з парою в міжстінному просторі) (перенесення рідини забезпечується насосами 19 та 21). Спочатку відганяється аміак (охолоджується в холодильнику 23 і подається на переробку), а потім дегідронеролідол, який охолоджується в холодильнику 23, переходить в збірник 24, а далі подається насосом 25 в мірник 26.

З мірника дегідронеролідол переходить в реактор 28, куди також подають ацетооцтовий ефір з мірника 2, і нагрівають суміш в потоці азоту, що подається з балону 27 (температура забезпечується парою, яка надходить в міжстінний простір апарату). З реактору відводять вуглекислий газ, що утворився в ході синтезу (на переробку), і залишки ацетооцтового ефіру, які спочатку проходять через холодильник 29, де вони охолоджуються, потім відводяться в збірник 30, а далі подаються на утилізацію. Реакційна маса, що

					Арк.
					67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

залишилася, подається насосом 31 в вакуум-перегінний апарат 32, в міжстінний простір якого подається пар для підтримання необхідної температури проходження процесу. Відбувається відгонка напівпродукт – кетон  $C_{18}$ . Далі отриманий кетон переходить в холодильник 33, де охолоджується за допомогою води (подається в міжстінний простір апарату). Далі він накопичується в збірнику 34, з якого потім за допомогою насосу 35 виводиться в мірник 36.

Далі кетон  $C_{18}$  загрузають в автоклав 40, куди подаються також етиловий спирт з мірника 37, скелетний нікелевий каталізатор і продувають отриману суміш потоком азоту з балону 38, а потім пропускають потік водню з балону 39. Отримана реакційна суміш за допомогою насосу 41 подається далі в нутч-фільтр 42, де відфільтровується каталізатор. Фільтрат поступає в перегінний апарат 44 (переміщення рідини здійснюється насосом 43), де відганяють спирт, який спочатку охолоджується в холодильнику 45, переходить в збірник 46, а потім відходить на переробку. Після цього кубовий залишок подається насосом 47 в реактор 51, куди подають хромпик, льодяну оцтову кислоту з мірника 48 і азот з балону 50. Потім додають сірчану кислоту з мірника 11 і підігрівають (температура забезпечується паром, що подається в міжстінний простір). Далі в реактор вводять дихлоретан з мірника 49, перемішують і отриману суміш переводять за допомогою насосу 52 в відстійник 53. Верхній шар, що утворився відводять на утилізацію, а нижній – подають насосом 54 в збірник 55, а потім насосом 56 подають в вакуум-перегінний апарат 57. Спочатку відганяють дихлоретан: проходить через холодильник 58 з якого відводиться в барабанну піч 109, в якій він спалюється до вуглекислого газу, води та соляної кислоти (дані продукти очищуються і використовуються в інших стадіях). Потім гідрований кетон  $C_{18}$ , який охолоджується в холодильнику 58, переходить в збірник 59, а далі відводиться за допомогою насосу 60 в мірник 61.

Далі в реактор 64, міжстінний простір якого заповнюється розсолем, загрузають аміак з балону 63, пропускають потік ацетилену з балону 62 і додають металічний натрій при перемішуванні. Після цього додають

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	68

гідрований кетон  $C_{18}$ , перемішують отриману масу і витримують 40 хвилин. Далі в реактор додають хлористий амоній і сульфатну кислоту із мірника 11. Утворену реакційну масу зливають у відстійник 49. Нижній шар, що утворився після відстоювання, відправляють на утилізацію, а верхній – подають насосом 67 в збірник 68. Із збірника реакційна маса переходить в вакуум-перегінний апарат 70 (перенесення рідини забезпечується насосом 69), міжстінний простір якого заповнюється паром. Спочатку відганяється аміак (проходить через холодильник 71 і відводиться на переробку), а потім – ацетиленовий третинний карбінол  $C_{20}$ , який спочатку охолоджується в холодильнику 71, переходить в збірник 72.

Отриманий карбінол подають за допомогою насоса 73 в автоклав 76, міжстінний простір якого заповнюється паром, і додають до нього етиловий спирт із мірника 37, продувають азотом із балону 74 і гідрують воднем із балону 75 при додаванні каталізатору Ліндлера. Отриману суміш переводять насосом 77 в нутч-фільтр 78, де відфільтровують каталізатор. Фільтрат через збірник 80 (реакційна маса переноситься насосом 79) подається вакуум-перегінний апарат 81, міжстінний простір якого заповнюється паром. Спочатку відганяють спирт (проходить через холодильник 82 і відводиться на переробку), а потім переганяють ізофітол, який охолоджується в холодильнику 82, переходить в збірник 83. Охолодження відбувається за допомогою води (надходить в міжстінний простір). Зі збірника ізофітол подається насосом 84 в мірник 85.

Далі ізофітол вводиться в реактор 87, куди також вводять концентровану соляну кислоту із мірника 86, перемішують суміш, витримують її, додають воду, перемішують і зливають у відстійник 89 (перенесення рідини забезпечується насосом 88). Нижній шар, що утворився, подають на утилізацію, а верхній за допомогою насоса 90 – в апарат-змішувач 91, де до ізофітолу додають воду і далі його подають насосом 92 в збірник 93, а потім переводять насосом 94 в мірник 95.

Далі в реактор 98 подають оцтову кислоту із мірника 96, ізофітол із мірника 95, триметилгідрокінон, каталізатор хлористий цинк і ефірат

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					69

трьохфтористого бору. Підігрівають утворену суміш у присутності азоту з балону 97 за допомогою пари (подається в міжстінний простір апарату), а потім охолоджують за допомогою води (заміняє пар в міжстінному просторі). Утворену реакційну суміш подають насосом 99 у відстійник 100, куди також додають воду. Нижній шар, що утворився подають на утилізацію, а верхній – в реактор 104 за допомогою насосу 101, куди подають і оцтовий ангідрид з мірника 102. Нагрівають отриману суміш за допомогою пари, що подається в міжстінний простір апарату. Відводять з реактору оцтову кислоту, що утворюється в процесі реакції ацилювання, в холодильник 103, а далі подають на переробку. Реакційну суміш за допомогою насосу 105 переводять в вакуум-випарний апарат 106, де відбирають необхідну фракцію, яку відводять в холодильник 107, а потім в збірник 108. Отриманий вітамін Е у формі ацетату з виходом 69,5% (по ізофітолу) відправляють на фасування.

					Арк.
					70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

### РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Аналіз економічної ефективності виробництва базується на таких складових, як собівартість продукції, а також очікуваний прибуток від її продажу.

Для встановлення ефективності підприємства потрібно розрахувати необхідні затрати на виробництво продукції (капітальні затрати (на сировину і тару), затрати на енергетичні ресурси, затрати на зарплатню для робітників), дохід з продажу та чистий прибуток.

Для визначення затрат на сировину і тару, необхідно встановити вартість кожного компоненту для виробництва синтетичного вітаміну Е за одиницю сировини і розрахувати їх вартість відповідно до їх необхідної кількості за технологією. Дані представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

*Затрати на сировину для виробництва альгінатних масок*

Назва матеріалу	Необхідна кількість на 100 кг продукту, кг	Ціна за 1 кг, грн	Сума, грн
1	2	3	4
Ліналоол	1338,5	51	68238
Ацетооцтовий ефір	2485,9	25	62125
Безводний аміак	5737,5	15	86055
Ацетилен	300,15	56	16800
Металічний натрій	261,4	60	15684
Хлористий амоній	864	60	51840
Сульфатна кислота	4117	20	82340
Сірчаноокислий натрій	1530	45	68850
Скелетний нікелевий каталізатор	55,2	84	4620

					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.071.ДП.ПЗ</b>		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
Розроб.		Борисенко М.С.			<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
Перевір.		Сабадаш Н.І.				71	
Н. Контр.		Подобій О.В.			НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

1	2	3	4
Етиловий спирт	190,7	45	8550
Водень	5,97	55	330
Льодяна оцтова кислота	552	42	23184
Хромпик	202,4	67	13534
Дихлоретанн	94,3	70	6580
Каталізатор Ліндлера	0,27	60	13
Соляної кислота	200	27	5400
Ефірат трьохфтористого брому	3	98	294
Оцтова кислота	50	25	1250
Цинк хлорід	5	73	365
Ангідрид оцтової кислоти	70	42	2940
<b>Підсумок</b>	<b>18063,27</b>	<b>1020</b>	<b>518970</b>

Отже, ми отримуємо, що затрати на сировину для виробництва 100 кг альфа-токоферол ацетату будуть складати 51897 грн.

Отриману маску пакують в тару, витрати на яку також необхідно розрахувати для визначення собівартості отриманої продукції. В даному випадку для тари було обрано скляний флакон.

Синтетичний вітамін Е фасують по 20 г на флакон. Отже кількість флаконів з альфа-токоферол ацетатом в одній партії буде складати:

$$100000/20 = 5000 \text{ шт.}$$

Розрахунок витрат на тару зазначено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

## Затрати на тару для виробництва альгінатних масок

Назва матеріалу	Необхідна кількість на 100 кг продукту, шт.	Ціна за 1 шт., грн	Сума, грн
1	2	3	4
Флакон	5000	3	15000

Відповідно таблиці 3.2, затрати на тару для однієї партії альфа-токоферол ацетату будуть складати 15000 грн.

Виходячи з отриманих даних, собівартість однієї партії альфа-токоферол ацетату складає:

$$518970 + 15000 = 533970 \text{ грн.}$$

Отже, собівартість одного флакону становить:

$$533970/5000 = 106,79 \text{ грн./шт.}$$

Витрати на енергоресурси представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

*Витрати на енергоресурси*

Назва матеріалу	Необхідна кількість на 100 кг продукту	Ціна, грн./один.	Сума, грн
1	2	3	4
Електроенергія	3500 кВт	0,96	33,6
Вода	3000 м <sup>3</sup>	6	18
<b>Підсумок</b>	-	-	41,6

За розрахунком енерговитрат отримаємо, що на виробництво однієї партії продукту витрати енергоресурсів складають 41,6 грн., тоді собівартість одного флакону продукту 106,8 грн.

За результатом аналізу ринку даної продукції встановлено, що один флакон альфа-токоферол ацетату коштуватиме 171,50 грн.

Відповідно до розрахунків, наведених вище, і встановленої вартості продукту розрахуємо прибуток виробництва:

$$171,50 - 106,80 = 64,70 \text{ грн./шт.}$$

$$64,70 \cdot 5000 = 323500 \text{ грн.}$$

За отриманими даними розраховуємо рентабельність виробництва:

$$Pe = (323500/534012) \cdot 100\% = 60\%$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

## РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Основні нормативні документи, що регулюють показники якості альфа-токоферол ацетату, включають наступні:

### 1. Фармакопеї:

- "State Pharmacopoeia of Ukraine" (Державна фармакопея України): В даному документі можуть бути вказані стандарти якості, методи аналізу та інші показники, пов'язані з альфа-токоферол ацетатом.
- "European Pharmacopoeia" (Європейська фармакопея): Цей нормативний документ також містить монографію про альфа-токоферол ацетат, яка визначає стандарти якості та методи аналізу.
- "United States Pharmacopoeia" (Фармакопея США): У цій фармакопеї також можна знайти стандарти якості та методи аналізу для альфа-токоферол ацетату.

### 2. Регуляторні органи:

- Український державний орган з контролю якості продукції: Такі органи в Україні, як Державна служба України з лікарських засобів та контролю за наркотиками, можуть встановлювати свої вимоги до якості альфа-токоферол ацетату.
- Міжнародні організації, такі як Європейська комісія з продуктів харчування (EFSA) та Всесвітня організація здоров'я (ВОЗ), також можуть мати рекомендації і стандарти щодо показників якості альфа-токоферол ацетату.

Якість отриманого продукту визначають за допомогою ряду методів, що проводяться в лабораторних умовах.

### 1. Електрохімічні методи

а) Метод диференціальної вольтамперометрії (ДВА) ґрунтується на здатності вітаміну Е електрохімічно окиснюватися на вуглецевих електродах різних типів, таких як скловуглецевий (СК) електрод [33].

					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.074.ДП.ПЗ</b>		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
Розроб.		Борисенко М.С.			Літ.	Арк.	Аркушіє
Перевір.		Сабадаш Н.І.				74	
Н. Контр.		Подобій О.В.			НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

б) Для визначення суми токоферолів запропоновано метод амперометричного титрування в середовищі 1 н. сірчаної кислоти розчином сульфату церію (IV) з використанням платинового електрода [33].

## 2. Оптичні методи

а) Провідними зарубіжними державними фармакопеями метод прямої спектрофотометрії рекомендовано для оцінки автентичності та кількісного визначення вітаміну Е в субстанції в УФ-області [32]. УФ-спектр 0,01  $\alpha$ -токоферилацетату  $\alpha$ -токоферилацетату в 96 % етанолі в ділянці 230-350 нм повинен має максимуми поглинання при  $278 \pm 2$  і  $284 \pm 2$  нм ( $E_{1\text{cm}}^{1\%} = 42-45$ ) і мінімум поглинання при  $254 \pm 2$  нм ( $E_{1\text{cm}}^{1\%} = 7-9$ ). Для визначення вмісту D, L- $\alpha$ -токоферолу та його чистоти знімають спектр поглинання його спиртового розчину у межах 260 - 310 нм [33].

б) Рівень якості також підтверджують за допомогою ІЧ-спектроскопії в ділянці середніх частот  $4000 - 400 \text{ см}^{-1}$ . В ІЧ-спектрі  $\alpha$ -токоферолу ацетату відсутня смуга поглинання в області частот  $3750-3200 \text{ см}^{-1}$ , характерна для  $\alpha$ -токоферолу, зумовлена валентними коливаннями фенольного гідроксилу [33].

в) Найвідомішим із колориметричних методів аналізу вітаміну Е, що знайшов велике практичне застосування в аналітичній практиці, є метод Еммері-Енгеля [34]. Використовуючи як індикатор  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -дипіридил, фотометрично вимірюють інтенсивність забарвлення утвореного червоного комплексу двовалентного йона заліза та  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -дипіридилу або о-фенантроліну при довжині хвилі 520 нм. За методом IUPAC реакцію проводять за концентрації дипіридилу і хлорного заліза 0,01 % за концентрації хлорного заліза 0,042 %, дипіридилу або фенантроліну - 0,02 %. Зазначений спосіб є одним із найчутливіших і найдоступніших [34].

г) Окиснення вітаміну Е концентрованою азотною кислотою під час нагрівання призводить до утворення забарвлених у червоно-помаранчевий колір о-токоферилхінонів, що слугує основою для кількісного фотоколориметричного визначення при  $\lambda=470$  нм за методом Фуртера-Мейєра з використанням стандартного зразка [33].

					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	75

### 3. Хімічні методи

Європейська фармакопея (ЄФ) пропонує метод цериметричного титрування для визначення домішки вільного  $\alpha$ -токоферолу в  $\alpha$ -токоферолу ацетаті [33].

						Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час виробництва альфа-токоферол ацетату використовуються різні хімічні речовини, деякі з яких можуть мати токсичні властивості.

До потенційно токсичних речовин, які можуть використовуватися або утворюватися в процесі виробництва альфа-токоферолу ацетату, включають:

- Розчинники. У процесі вилучення та очищення альфа-токоферолу ацетату використовуються розчинники, такі як сульфатна кислота ацетон та інші органічні розчинники. Дані розчинники є токсичними і небезпечними при неправильному використанні або недостатній вентиляції.
- Каталізатори та реагенти. У процесі синтезу альфа-токоферолу ацетату застосовуються різні каталізатори та реагенти. Такі речовини, як ефірат трьохфтористого бору, сульфатна кислота та хлористий амоній, є токсичними або мають потенційно шкідливий вплив при неправильному поводженні з ними.
- Відходи виробництва. У процесі виробництва альфа-токоферолу ацетату утворюються відходи, які містять токсичні речовини або продукти розкладання. До таких відходів відносяться дихлоретан, ацетооцтовий ефір, аміак та етиловий спирт [35].

Для забезпечення безпеки на виробництві та мінімізації ризику від токсичних речовин необхідно дотримуватися відповідних заходів безпеки, таких як використання адекватної вентиляції, особистого захисту працівників, правильне поводження з хімічними речовинами та утилізація відходів згідно з регуляторними вимогами та нормами. Конкретні заходи безпеки та токсичність речовини мають бути визначені в рамках конкретного виробництва та згідно з вимогами законодавства.

					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.077.ДП.ПЗ</b>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Борисенко М.С.</i>				77	
<i>Перевір.</i>		<i>Сабадаш Н.І.</i>			<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>					

Охорона праці на підприємстві по виробництву альфа-токоферолу ацетату є критично важливою для забезпечення безпеки та здоров'я працівників. Основні аспекти охорони праці, які потрібно враховувати, включають:

1. Оцінка ризиків. Проведення комплексної оцінки ризиків пов'язаних з усіма аспектами виробництва альфа-токоферолу ацетату. Це включає виявлення потенційних небезпек, пов'язаних з хімічними речовинами, робочими процесами, обладнанням тощо, і визначення заходів безпеки для запобігання та управління ризиками [35].
2. Застосування технічних заходів безпеки. Надання безпечних робочих місць та обладнання, а також забезпечення правильного функціонування технічних систем безпеки (наприклад, систем вентиляції, пожежогасників, системи аварійного відключення тощо) [35].
3. Організація робочого місця. Забезпечення належної організації робочого місця, включаючи встановлення чітких правил та процедур безпеки, розміщення відповідних знаків безпеки, забезпечення належного освітлення та простору для руху, встановлення попереджувальних пристроїв тощо.
4. Навчання та інструктажі. Належне навчання працівників з питань безпеки та надання детальних інструкцій щодо правильного використання обладнання, роботи з хімічними речовинами, процедур усунення аварійних ситуацій та виконання інших робочих процесів.
5. Використання особистого захисту. Робочі повинні бути забезпечені відповідними засобами індивідуального захисту (захисні окуляри, респіратори, рукавиці, халати тощо) залежно від конкретних ризиків, пов'язаних з виробництвом альфа-токоферолу ацетату [35].
6. Правильне утилізація відходів. Розробка ефективної системи збору, обробки та утилізації відходів, які виникають під час процесу виробництва, є важливим аспектом забезпечення безпеки та охорони довкілля.

						Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Регулярний технічний огляд. Забезпечення регулярного технічного огляду обладнання підприємства необхідне для попередження аварійних ситуацій під час робочого процесу [35].

Обладнання приміщень на виробництві альфа-токоферолу ацетату повинно відповідати вимогам безпеки та забезпечувати ефективну роботу процесу. Основні аспекти обладнання, які можуть бути застосовані, включають [36]:

- Вентиляційна система: Приміщення, де виробляється альфа-токоферол ацетат, повинні бути оснащені ефективною вентиляційною системою. Це дозволяє забезпечити відведення шкідливих речовин, пилу та парів, що можуть утворюватися під час процесу виробництва [36].
- Обладнання для зберігання та обробки речовин: Потрібно мати відповідне обладнання для зберігання та обробки хімічних речовин, які використовуються у виробництві альфа-токоферолу ацетату. Це можуть бути спеціальні контейнери, резервуари, насоси та фільтри.
- Система пожежогасіння: Приміщення мають бути оснащені відповідною системою пожежогасіння, такою як пожежні тривожні системи, вогнегасники або автоматичні пожежні системи. Вони повинні відповідати вимогам пожежної безпеки та регуляціям [35,36].
- Електробезпека: На підприємстві мають бути встановлені правильно заземлені електричні системи, захисні пристрої, а також треба дотримуватися вимог щодо безпеки електричних робіт та обладнання.
- Екстрені виходи та безпека персоналу: Приміщення мають мати достатню кількість екстрених виходів, а також бути обладнаними попереджувальними знаками, освітленням у разі аварій та планом евакуації [35].

Виробничі приміщення повинні мати висоту не менше 3,2 метра, а об'єм і площу - відповідно 15 м<sup>3</sup> та 4,5 м<sup>2</sup> на кожного працівника. Для працівників, які використовують в роботі комп'ютери, повинно виділятися не менше 6 м<sup>2</sup> площі та 20 м<sup>3</sup> об'єму [36].

						Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення або ділянки з надлишками тепла, а також з наявністю шкідливих газів, пилу або токсичних парів, необхідно розміщувати біля зовнішніх стін будівель, або у разі багатопверхових будівель – на верхньому поверсі. Підлога на робочих місцях повинна бути гладкою, нехолодною, міцною та стійкою до ударів. Вона повинна мати неслизьку та легкоочищувальну поверхню, стійку до дії хімічних речовин і не поглинати їх.

Стіни виробничих та побутових приміщень повинні бути оснащені шумо- і теплоізоляційною прослойкою. Вони повинні бути легкими для прибирання та миття і мати покриття, яке не здатне поглинати або осаджувати отруйні речовини, наприклад, керамічна плитка або олійна фарба [36].

Приміщення, де здійснюється виробництво з викидом шкідливих та агресивних речовин, наприклад, кислот, ртуті, лугів, хлорорганічних речовин, бензолу, тощо, повинні мати стіни, стелю та конструкції, які не адсорбують і не дають можливості осідати шкідливим речовинам на даних поверхнях, а також є легкоочищувальними [35].

На роботу з електроустановками допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли навчання та інструктаж з безпеки праці, пройшли перевірку знань правил безпеки та інструкцій, відповідно до їх посади та кваліфікаційної групи з електробезпеки, та не мають протипоказів, визначених Міністерством охорони здоров'я України [37].

Для забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках необхідно вживати такі організаційні заходи:

- Призначення відповідальних осіб, які організують та контролюють проведення робіт.
- Оформлення наряду чи розпорядження на виконання робіт.
- Здійснення нагляду за проведенням робіт.
- Оформлення закінчення робіт, перерв у роботі та переведення на інші робочі місця [37].

Для забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках під час проведення робіт зі зняттям напруги або у непрямій близькості до них, необхідно вживати такі технічні заходи:

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

- Вимкнення установки (частини установки) від джерела живлення електроенергії.
- Механічне блокування приводів апаратів, що виконують вимкнення, зняття запобіжників, від'єднання кінців лінії, яка постачає електроенергію, та інші заходи, що унеможливають випадкову подачу напруги до місця проведення робіт [35].

						Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Вивчено науково-технічну літературу щодо  $\alpha$ -токоферол ацетату (синтетичного вітаміну Е), та розглянуто його вплив на організм людини.
2. Розглянуто структуру  $\alpha$ -токоферол ацетату вивчено його властивості та дія на організм людини. Встановлено, що дана речовина виявляє сильну антиоксидантну дію.
3. Вивчено сировинну базу та встановлено, що найдоцільніше буде використання триметилгідрохінону та фітилхлориду, оскільки вони є економічно доцільнішими ніж природна сировина.
4. Вивчено та проаналізовано існуючі технології виробництва вітаміну Е та встановлено, що найбільш доцільно даний вітамін отримувати синтетичним методом у формі  $\alpha$ -токоферол ацетату з триметилгідрохінону та фітилхлориду.
5. Складено матеріальний баланс виробництва  $\alpha$ -токоферол ацетату (синтетичного вітаміну Е).
6. За результатами матеріального балансу здійснено підбір основного технологічного обладнання.
7. Здійснено розрахунок реактору – основного апарату для отримання  $\alpha$ -токоферол ацетату.
8. Представлено розрахунки теплового балансу реактору.
9. Розроблено та описано принципову та апаратурно-технологічну схеми виробництва альфа-токоферол ацетату.
10. Вивчено нормативні акти, щодо встановлення якості альфа-токоферол ацетату, та встановлено, що колір продукту повинен бути від світло-жовтого з сіруватим відтінком до коричневого кольору, а масова доля вітаміну Е повинна складати від 25 до 27,5%.
11. Розраховано економічну ефективність виробництва, відповідно до якої рентабельність складає 60 % без урахування заробітної плати.

<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.082.ДП.ПЗ</b>													
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>									
<i>Розроб.</i>		<i>Борисенко М.С.</i>											
<i>Перевір.</i>		<i>Сабадаш Н.І.</i>											
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>											
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>											
<table border="1" style="float: right; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"><b>Лім.</b></td> <td style="width: 10%;"><b>Арк.</b></td> <td style="width: 10%;"><b>Аркушіє</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">82</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i></td> </tr> </table>					<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушіє</b>		82		<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушіє</b>											
	82												
<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>													

12. Визначено фактори виробництва, які можуть впливати на стан екології навколишнього середовища. Найбільш токсичним відходом є дихлоретан, який може накопичуватися в навколишньому середовищі. Вплив даного інгредієнту був мінімізований за рахунок його спалювання в печі.
13. Визначено норми охорони праці на даному виробництві та встановлено, що всі робітники повинні мати належний хімічний спецодяг; всі приміщення повинні бути оснащені справною вентиляцією; повинен бути наявний в кожному приміщенні план евакуації у випадку пожежі та вибухонебезпечності.

						Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуменюк О. Харчові добавки: конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.051701 "Харчові технології та інженерія". Чернігів: ЧНТУ, 2014. 157 с. (дата звернення: 27.11.2022)
2. Про затвердження Санітарних правил і норм по застосуванню харчових добавок: Наказ МОЗ України від 23.07.1996 р. № 222: станом на 15 верес. 1998 р. (дата звернення: 27.11.2022)
3. Horobets A. O. Vitamins and microelements as specific regulators of physiological and metabolic processes in the body of children and adolescents. *Ukrainian journal of perinatology and pediatrics*. 2019. No. 4(80). P. 75–92. (дата звернення: 28.11.2022)
4. Прімова Л. О., Висоцький І. Ю. Метаболізм вітамінів і мінеральних речовин: навч. посіб. Суми: Сум. держ. ун-т, 2014. 256 с. (дата звернення: 29.11.2022)
5. Дослідження впливу фізичних факторів на вміст токоферолів у рослинних оліях / В. А. Кіщенко та ін. *Журнал Хроматографічного товариства*. 2011. Т. 11, № 3-4. С. 42–48. (дата звернення: 30.11.2022)
6. Скурихін В. Н., Шабаєв С. В. Методи аналізу вітамінів А, Е, Д и каротина в кормах, біологічних об'єктах и продуктах тваринництва. *Хімія*, 1996. 95 с. (дата звернення: 02.12.2022)
7. Харитоненко Н. С. Мінливість вмісту і закономірності успадкування вітаміну е (ізомерів токоферолів) у лініях та інбредних поколіннях соняшнику: Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Харків, 2020. 166 с. (дата звернення: 05.11.2022)
8. Біохімія вітамінів: Навчально – методичний посібник/ Н. Германович та ін. ВГАВМ, 2004. 36 с. (дата звернення: 27.11.2022)
9. Тютюнников Б. Н., Бухштаб З. И., Гладкий Ф. Ф. та ін. *Хімія жирів*. Колос, 1992. 448 с. (дата звернення: 08.12.2022)

					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.084.ДП.ПЗ</b>		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
Розроб.		Борисенко М.С.			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Сабадаш Н.І.			84		
Н. Контр.		Подобій О.В.			<i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

10. Труфанів А.В. Вітамін Е (токофероли). Біохімія и фізіологія вітамінів і антивітамінів. С.: Сельхозгизд, 1959. С. 509–513. (дата звернення: 11.12.2022)
11. The Chemistry of Vitamin E. XVII. The Oxidation Products of  $\alpha$ -Tocopherol and of Related 6-Hydroxychromans / Smith L. I., Irwin W. B., Ungnade H. E. *Journal of the American chemical society*. 1939. Vol. 61, № 9. P. 2424–2429. (дата звернення: 13.12.2022)
12. Reed L.J., Harris R.S., Wool L.G. Biochemistry of lipoic acid. Acad press. 1962. Vol. 20. P. 1–38. (дата звернення: 13.11.2022)
13.  $\delta$ -Tocopherol. I. Isolation from Soybean Oil and Properties<sup>1</sup> / M. H. Stern and other. *Journal of the American Chemical Society*. 1947. Vol. 69, № 4. P. 869–874. (дата звернення: 15.11.2022)
14. The Chemistry of Vitamin E. XXIV. The Structure of  $\gamma$ -Tocopherol / Emerson O. H., Smith L. I. *Journal of the American Chemical Society*. 1940. Vol. 62, № 7. P. 1869–1872. (дата звернення: 15.11.2022)
15. Островский Ю.М. Вітамін Е. Експериментальна вітамінологія. Мінск: Наука і техніка, 1979. 552 с. (дата звернення: 16.12.2022)
16. Пешук Л. В., Бавіка Л. І., Демідов І. М. Технологія парфумерно-косметичних продуктів: навч. посіб. Київ: Центр учб. літ., 2007. 376 с. (дата звернення: 18.12.2022)
17. Докучаєва Є. А., Сяхович В. Е., Богданова Н. В. Загальна біохімія Вітаміни: практикум / ред. С. Б. Бокуть. Мінск: ІВЦ Мінфіна, 2017. 52 с. (дата звернення: 20.12.2022)
18. Технологічні режими пресування олійних культур родини хрестоцвітих / Шеманська Є. І., Мачин Н. В. *Наукові праці НУХТ*. 2020. Т. 26, № 1. С. 224–230. (дата звернення: 10.01.2023)
19. Основні комерційні і некомерційні рослинні масла / Давидова Р. *Продукты & ингредиенты*. 2014. № 2. С. 22–23. (дата звернення: 12.01.2023)
20. Короточенкова Н.В., Самаренко В.Я. Вітаміни групи Е (токофероли): текст лекцій: ЛХФІ, 1991. 78 с. (дата звернення: 25.12.2022)
21. Шнайдман Л. О. Виробництво вітамінів: видання друге перероблене і доповнене. "Харчова промисловість", 1973. 438 с. (дата звернення: 04.01.2023)

						Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Органічний синтез лікарських засобів: конспект лекцій для студентів спеціальності 7.05140105, 8. 05140105 «Фармацевтична біотехнологія» денної та заочної форм навчання/ Н. Сімурова та ін. Київ: НУХТ, 2014. 131 с. (дата звернення: 27.12.2022)
23. Towards the synthesis of (all-rac)- $\alpha$ -tocopherol from trimethylhydroquinone and isophytol at reduced pressure / Juraj Gömörya, Milan Králikb, Alexander Kaszonyic. *Acta chimica slovacca*. 2011. Vol. 4, no. 1. P. 3–14. (дата звернення: 06.01.2023)
24. Закржевський О. Ю. Комплексна переробка та утилізація хлорорганічних відходів виробництва 1,2-дихлоретану і вінілхлориду : дис. канд. техн. наук : спец. 05.17.04 “Техн. Прод. Орган. синтезу” , Львів, 2011. 175 с.
25. RIFM fragrance ingredient safety assessment, Linalool, CAS registry number 78-70-6 / A. M. Api et al. *Food and chemical toxicology*. 2015. Vol. 82. P. S29–S38. (дата звернення: 14.01.2023)
26. RIFM fragrance ingredient safety assessment, isophytol, CAS Registry Number 505-32-8 / A. M. Api et al. *Food and chemical toxicology*. 2015. Vol. 84. P. S42–S49. (дата звернення: 18.01.2023)
27. 2,3,5-Trimethyl-1,4-hydroquinone / J. Dai et al. *Acta crystallographica section E structure reports online*. 2010. Vol. 66, no. 2. P. o303. (дата звернення: 20.01.2023)
28. Юхименко М. Обладнання хімічних виробництв: конспект лекцій. Суми: Сум. держ. ун-т, 2015. 119 с. (дата звернення: 23.01.2023)
29. Мефодієв М., Мезенов А. Процеси та апарати харчових виробництв: курс лекцій. Державний аграрний університет. Інженерний інститут, 2015. 148 с. (дата звернення: 27.01.2023)
30. Процеси і апарати харчових виробництв. Гідромеханічні процеси: підручник / В. Бойко та ін. Мелітополь: Тавр. держ. агротехнол. ун-т ім. Дмитра Моторного, 2019. 212 с. (дата звернення: 30.01.2023)
31. Корндорф Б. А. Техніка високих тисків в хімії. Держхіміздат, 1952. 40 ст. (дата звернення: 02.02.2023) Dross engineering. *DROSS ENGINEERING*. (дата звернення: 12.06.2023).

						Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

32. European Pharmacopoeia: Supplement, Strasbourg: Council of Europe, 1997. Vol. 2. 1765 p. (дата звернення: 12.06.2023).
33. Островский Ю. Экспериментальная витаминология. *Наука и техника*. Минск. 1979. С. 18–53. (дата звернення: 12.06.2023).
34. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці : навч. посіб. 2-ге вид. Київ : Центр учб. літ., 2011. 280 с. (дата звернення: 12.06.2023).
35. Державні будівельні норми України. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва : ДБН В.1.1-7 . Київ: Державні будівельні норми України, 2002. 43 с. (дата звернення: 12.06.2023).
36. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : НАПБ Б.03.002-2007, Київ. 2007 р. 25 с. (дата звернення: 12.06.2023).

						Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		