

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

«До захисту в ЕК»
Директор інституту
_____ О.В. Кочубей-Литвиненко
(підпис) (ініціали та прізвище)

« ____ » _____ 2021 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Т.Т.Носенко
(підпис) (ініціали та прізвище)

« ____ » _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

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

освітньо-професійної програми Хімічна технологія
на тему :

Удосконалення технології отримання фумарової кислоти

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 4

_____ Білим Анастасія Олегівна _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Бойчук Тетяна Михайлівна _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти Житнецький І.В. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

_____ (прізвище та ініціали) _____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Рецензент Бичко І.Б. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Т.Т.Носенко

“09” квітня 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Білим Анастасії Олегівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології отримання фумарової кислоти

керівник роботи Бойчук Тетяна Михайлівна, к.х.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “08” квітня 2021 р. № 236- КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи потужність виробництва становить 1000 кг/добу переробленої сировини

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

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	11.05.2021р.	1.06.2021р.

7. Дата видачі завдання _____ 09.04.2021 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	12.04.2021р.	
2	Аналітичний огляд науково-технічної літератури	14.04-25.04.2021р.	
3	Технологічна частина. Розрахунок матеріального та теплового балансу. Розрахунок та підбір основного технологічного обладнання.	26.04-25.05.2021р.	
4	Техніко-економічне обґрунтування	11.05-16.05.2021р.	
5	Організація контролю якості продукції	17.05-19.05.2021р.	
6	Екологічна частина та охорона праці	20.05.-23.05.2021р.	
7	Висновки	24.05.2021р.	
8	Список використаної літератури. Реферат	12.04.-25.05.2021р.	
9	Графічна частина проекту. Принципова технологічна схема	26.04-10.05.2021р.	
10	Графічна частина проекту. Апаратурно-технологічна схема	26.04-10.05.2021р.	
11	Графічна частина проекту. Креслення апарату (загальний вигляд)	11.05-25.05.2021р.	
12	Перевірка на академплагіат, передзахист, , рецензування ДП	25.05.2021р.- 01.06.2021р.	

Здобувач _____
(підпис)

Білим А. О. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бойчук Т. М. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ЗАПИСКА ПОЯСНЮВАЛЬНА : 92 С., 17 РИС., 23 ТАБЛ., 43 ДЖЕРЕЛА.

У даній кваліфікаційній роботі розроблено удосконалену технологію виробництва фумарової кислоти, яка відома під назвою харчової добавки E297.

Обґрунтовано актуальність обраного напрямку досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень, які полягали у вивченні методів отримання фумарової кислоти. Було показано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

Здійснено аналіз закордонних та вітчизняних видань з технологій виробництва фумарової кислоти, її фізико-хімічних властивостей та основних галузей застосування. Також було з'ясовано та обґрунтовано базові аспекти вибору сировини та допоміжних матеріалів, а також вузькі місця технології.

Згідно з отриманими результатами було здійснено удосконалення технології отримання фумарової кислоти, яке полягало в застосуванні каталізатора тіомочевини на стадії ізомеризації.

Наведено опис сировинної бази, розроблені принципова та апаратурно-технологічна схеми отримання фумарової кислот.

Було розраховано матеріальний та тепловий баланси виробництва продуктивністю 1000кг/добу, здійснено підбір основного та допоміжного обладнання.

Описано вимоги щодо контролю якості сировини та готового продукту за відповідними нормативними документами. Проаналізовано екологічні аспекти та нюанси даного виробництва. Розроблена технологія відповідає усім вимогам і стандартам охорони праці, гарантує працівникам якісні та належні умови праці.

КЛЮЧОВІ СЛОВА : ХАРЧОВА ДОБАВКА, ФУМАРОВА КИСЛОТА, E297, КАТАЛІТИЧНА ІЗОМЕРИЗАЦІЯ, ПРИНЦИПОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ.

ABSTRACT

EXPLANATORY NOTE: 92 P., 17 FIG., 23 TABLES, 43 SOURCES.

In this qualification work developed an advanced technology for the production of fumaric acid, which is known as food additive E297.

The relevance of the chosen direction of research is substantiated, the purpose and tasks of research which consisted in studying of methods of receiving fumaric acid are formulated. The scientific novelty and practical significance of the obtained results were shown.

The analysis of foreign and domestic publications on technologies of fumaric acid production, its physical and chemical properties and main areas of application is carried out. The basic aspects of the choice of raw materials and auxiliary materials, as well as the bottlenecks of the technology were also clarified and substantiated.

According to the obtained results, the technology of fumaric acid production was improved, which consisted in the use of a thiourea catalyst at the isomerization stage.

The description of the raw material base is given, the basic and hardware-technological schemes of fumaric acid production are developed.

Material and thermal balances of production with a capacity of 1000 kg / day were calculated, the selection of main and auxiliary equipment was carried out.

The requirements for quality control of raw materials and finished product according to the relevant regulations are described. The ecological aspects and nuances of this production are analyzed. The developed technology meets all the requirements and standards of labor protection, guarantees employees quality and appropriate working conditions.

KEY WORDS: FOOD ADDITIVE, FUMARIC ACID, E297, CATALYTIC ISOMERIZATION, PRINCIPLE-TECHNOLOGICAL SCHEME, HARDWARE-TECHNOLOGICAL SCHEME, SELECTION OF EQUIPMENT.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1 Загальна характеристика харчових добавок.....	10
1.2 Фумарова кислота та її місце у природі.....	17
1.3 Фумарова кислота у харчовій промисловості.....	18
1.4 Галузі застосування фумарової кислоти.....	20
1.5 Безпечність застосування фумарової кислоти у харчових продуктах..	21
1.6 Способи отримання фумарової кислоти.....	22
1.7 Фізико-хімічні властивості малеїнового ангідриду , малеїнової та фумарової кислот.....	23
1.8 Шляхи удосконалення фумарової кислоти.....	26
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	31
2.1 Характеристика сировини для виробництва фумарової кислоти.....	31
2.2 Опис принципової технологічної схеми.....	34
2.3 Матеріальний баланс виробництва.....	38
2.4 Тепловий баланс.....	45
2.5 Підбір основного технологічного обладнання.....	48
2.6 Розрахунок реактора з паровою сорочкою з перемішуючим пристроєм.....	57
2.7 Опис апаратурно-технологічної схеми.....	62
РОЗДІЛ III ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	64
РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....	70
РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	78

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.006.КР.ПЗ</i>					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗМІСТ</i>					
Розроб.		<i>Білим А.О.</i>						Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Бойчук Т.М.</i>							6	92
Реценз.								<i>НУХТ,</i>		
Н. Контр.		<i>Подобій О.В.</i>						<i>Каф.ТЖХТ</i>		
Затверд.		<i>Носенко Т.Т.</i>								

5.1 Охорона праці на підприємстві.....	78
5.2 Заходи з охорони навколишнього середовища на виробництві.....	85
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	89

					<i>ЗМІСТ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Зараз важко уявити широкий асортимент продуктів харчування без використання харчових добавок.

Харчові добавки – це речовини, що додаються в технологічних цілях в харчові продукти в процесі виробництва для додання їм бажаних властивостей, наприклад певного аромату(ароматизатори), кольору (барвники), тривалості зберігання (консерванти), смаку та консистенції, тощо. В основному харчові добавки вносяться для поліпшення споживчих якостей продуктів харчування.

Одним з важливих класів харчових добавок є регулятори кислотності.

Регулятори кислотності – це речовини, що встановлюють і підтримують в харчовому продукті певне значення рН. Використання регуляторів кислотності в харчовому виробництві має на меті регулювання протікання процесів набухання, желатиноутворення та інверсії сахарози. Це допомагає збільшувати вихід готової продукції, покращувати текстуру, реологічні властивості та збільшувати терміни придатності харчових продуктів.

Регулятори кислотності використовуються у виробництві напоїв, м'ясо- і рибопродуктів, мармеладу, желе, твердої і м'якої карамелі, кислих драже, жувальної гумки, жувальних цукерок. За допомогою буферних солей регулюють, облагороджують та гармонізують смак фруктових десертів, желе, морозива та кондитерських виробів.

Фумарова кислота, відома як харчова добавка E297, дозволена у Європейському Союзі для використання в ролі регулятора кислотності, консерванта у ряді харчових продуктів відповідно до директиви 95/2/ЄС про харчові добавки.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.008.КР.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ВСТУП</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		<i>Білим А.О.</i>						
Перевір.		<i>Бойчук Т.М.</i>					8	92
Реценз.						<i>НУХТ,</i>		
Н. Контр.		<i>Подобій О.В.</i>				<i>Каф.ТЖХТ</i>		
Затверд.		<i>Носенко Т.Т.</i>						

Фумарова кислота має широкий спектр застосування у харчовій, хімічній та фармацевтичній промисловості, а також медицині та сільському господарстві.

Отже, актуальною є розробка технології одержання фумарової кислоти з доступної сировини і застосування ефективних технологічних процесів для отримання якісного продукту, що може бути використаний у харчовій промисловості.

Об'єктом дослідження є технологія виробництва фумарової кислоти.

Предметом дослідження є фумарова кислота як харчова добавка E297.

Мета роботи це розробка технології отримання фумарової кислоти.

У відповідності з поставленою метою були сформульовані основні **завдання роботи**:

1. Знайти найбільш економічно та технологічно доцільний спосіб отримання фумарової кислоти.
2. Розробити принципову технологічну схему лінії виробництва E297.
3. Розробити та описати принципову технологічну та апаратурно-технологічну схему.
4. Розрахувати матеріальний баланс виробництва фумарової кислоти.
5. На основі складеного матеріального балансу виконати підбір апаратурного обладнання та виконати розрахунки та креслення одного з основних апаратів виробництва.
6. Описати показники контролю якості та безпечності отриманої продукції.
7. Навести характеристику екологічної безпеки для об'єкта, що розробляється та описати охорону праці на виробництві.

Апробація результатів: Білим А. Фумарова кислота E 297: застосування в харчовій технології, особливості виробництва / А. Білим, Т. Бойчук // 87 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 15-16 квітня 2021р. – К.: НУХТ, 2021р. – Ч. 2. – С.236.

					<i>ВСТУП</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Загальна характеристика харчових добавок

Харчові добавки – це природні або синтетичні речовини, які навмисно вносять в харчові продукти для виконання певних технологічних функцій та ефектів (надання кольору, аромату; стійкості до псування; збереження структури й зовнішнього вигляду продуктів харчування) [1, 2, 6].

Дефініція поняття «*харчові добавки*» не є єдиною.

За визначенням Об'єднаного комітету експертів ФАО-ВОЗ (JECFA) до харчових добавок відносять «нехарчові речовини, що додаються в продукти харчування, як правило, в невеликих кількостях для поліпшення зовнішнього вигляду, смакових якостей, текстури або для збільшення термінів зберігання» [2, 9].

Згідно із законом України «Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини» від 23.12.97 р. та зміни до цього закону від 06.09.2005р., *харчові добавки* — це природні або синтетичні речовини, які зазвичай не споживають як їжу, а спеціально вводять у харчові продукти для надання їм бажаних властивостей [8].

Саме це тлумачення поняття «харчові добавки», яке відображає його суттєві ознаки вважається найбільш зручним і загальним.

Застосування харчових добавок має довгу історію, яка налічує кілька тисячоліть. Ще в доісторичні часи люди використовували поварену сіль і коптільний дим; стародавні єгиптяни застосовували при приготуванні їжі оцет і мед; стародавні римляни стабілізували вина сірчистим ангідридом.

Харчові добавки застосовують з метою:

- вдосконалення технології підготовки, переробки харчової сировини;

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.010.КР.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Білим А.О.</i>			<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Бойчук Т.М.</i>					10	92
Реценз.						<i>НУХТ, Каф.ТЖХТ</i>		
Н. Контр.		<i>Подобій О.В.</i>						
Затверд.		<i>Носенко Т.Т.</i>						

- виготовлення, фасування, транспортування і зберігання продуктів харчування;
- збільшення стійкості продуктів до різних видів псування;
- створення і збереження структури харчових продуктів;
- збереження або зміна органолептичних властивостей і зовнішнього вигляду продуктів [8].

При цьому харчові добавки не повинні маскувати наслідків використання пошкодженої сировини, проведення технологічних операцій в неналежних умовах і порушення технологічної дисципліни під час технологічного процесу [4,8].

Використання харчових добавок доцільне, якщо поставлена мета не може бути досягнута технологічними заходами, технічно та економічно доцільними [1, 3, 6].

Харчові добавки класифікують наступним чином:

Оскільки харчові добавки у виробництві продуктів виконують певні технологічні функції, тому як критерій для їх класифікації обрано саме технологічні функції.

Комісія з Codex Alimentarius, залежно від технологічних функцій, харчові добавки поділила на 23 функціональні класи для маркування, зазначила їх дефініції та технологічні функції.

Згідно Європейської кодифікації, харчові добавки поділяють таким чином:

- E100-199 – Барвники (підсилюють чи відновлюють колір продукту);
- E200-290 – Консерванти (підвищують термін придатності продуктів, захищають їх від мікроорганізмів, бактеріофагів);
- E300-399 – Антиоксиданти і регулятори кислотності (захищають від окислення, наприклад від згіркнення жирів і зміни кольору);
- E400 і далі – Стабілізатори консистенції, загусники (стабілізатори зберігають задану консистенцію, загущувачі підвищують в'язкість);
- E450 і далі – Емульгатори (створюють однорідну суміш продуктів, що не змішуються, створюють однорідну суміш із фаз), наприклад води й олії);

					<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- E500-599 – Регулятори кислотності, розпушувачі Підсилювачі смаку й аромату;

- E600-E699 –Підсилювачі смаку та аромату;

- E700-900 – Глазурюючі речовини, речовини, що покращують якість хліба [10].

За технологічним призначенням:

1. Поліпшувачі кольору:

- барвники
- стабілізатори забарвлення
- відбілювачі;

2. Регулятори смаку та аромату:

- ароматизатори
- смакові добавки
- підсолоджувачі
- кислоти;

3. Регулятори консистенції:

- загусники
- гелеутворювачі
- стабілізатори
- емульгатори
- піноутворювачі;

4. Подовжувачі тривалості збереження якості

- консерванти
- антиоксиданти
- вологоутримуючі агенти
- плівкоутворювачі;

5. Технологічні добавки (речовини, що прискорюють та полегшують перебіг технологічних процесів)

- прискорювачі технологічного процесу
- розпушувачі

					<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- поліпшувачі реологічних властивостей тіста
- речовини, які сприяють життєдіяльності дріжджів [1, 6, 8].

Багато харчових добавок мають *комплексні технологічні функції*, які виявляються в залежності від особливостей харчової системи.

Наприклад, *фосфат натрію (E339)* в різних харчових системах може виявляти властивості регулятора кислотності, стабілізатора, вологоутримуючого агента, фіксатора забарвлення або антиоксидантів [2, 6].

Вищенаведена класифікація заснована на технологічних функціях харчових добавок, до яких не відносять з'єднання, що підвищують харчову цінність продуктів харчування, наприклад вітаміни, мікроелементи, амінокислоти

Можна виділити кілька основних причин широкого використання харчових добавок виробниками продуктів харчування:

- розвиток торгівлі, що призвело до необхідності перевезення продуктів харчування (в тому числі швидкопсувних) на достатньо великі відстані;
- постійне підвищення вимог та потреб сучасного споживача до якості та асортименту продуктів харчування при збереженні невисокої вартості;
- створення нових видів харчових продуктів, що відповідають сучасним вимогам науки про харчування (низькокалорійні продукти, замітники м'ясних, молочних і рибних продуктів, продукти спеціального або дієтичного призначення);
- вдосконалення технології отримання традиційних і нових продуктів харчування [8].

Широке використання харчових добавок почалося в XIX ст.

Проте тільки в другій половині XX ст. добавки зайняли стійке положення в харчовій промисловості як найважливіші харчові мікроінгредієнти.

Кількість харчових добавок, що використовується у харчовому виробництві більшості країн світу, досягає 500 найменувань, в США перевищує цифру 1500, в країнах ЄС досягає 1200, в Росії — 415, в Німеччині — 350, в

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Україні — 221, не рахуючи комбінованих добавок, окремих ароматизуючих і запашних речовин [1, 4, 8].

Щорічно виробництво харчових добавок збільшується в країнах Європи на 2%, в Америці – на 4,4 %, а в Азії – на 10-15%. В світі особливо зростає виробництво підсолоджувачів (щорічно на 7 %).

Масштаби поширення харчових добавок зажадали їх класифікації, гігієнічної регламентації, розробки способів і технології їх застосування [2].

У Європейському співтоваристві класифіковано близько 300 харчових добавок. Для гармонізації їх використання розроблена раціональна система цифрової кодифікації. Вона включена до кодексу ФАО-ВООЗ для харчових продуктів як міжнародна система кодифікації харчових добавок (International Numbering System - INS).

Кожній харчовій добавці присвоєно цифровий трьох- або чотиризначний номер з попереднім йому буквосполученням «INS» (в Європі з попередньою йому літерою «E») [1, 6, 9].

Цифрові коди вживаються в поєднанні з назвами функціональних класів, що відображають угруповання харчових добавок за технологічними функціями. Наприклад, сорбінову кислоту називають консервант INS 200 або консервант E 200 [5].

Код E фахівці ототожнюють як зі словом Європа, так і зі словами essbar /edible, що в перекладі на українську (відповідно, з німецької та англійської) означає «їстівний».

E код в поєднанні з номером є синонімом і частиною складного найменування конкретної хімічної речовини, яка є харчовою добавкою [5].

Присвоєння конкретному речовини ідентифікаційного номера з кодом «E» і статусу дозволеної харчової добавки має чітке тлумачення та означає що:

- дана конкретна речовина перевірена на безпеку;
- речовина може бути застосована (рекомендована) в рамках встановленої безпеки і технологічної необхідності за умови, що застосування цієї речовини не

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

введе споживача в оману щодо типу і складу харчового продукту, в який вона внесена;

- для даної речовини встановлені критерії чистоти, необхідні для досягнення певного рівня якості продуктів харчування [1, 7].

Застосування харчових добавок регламентується нормами їх гігієнічної безпеки та технологічної доцільності. Такі регламенти встановлюються на міжнародному та національному рівнях [7].

На міжнародному рівні дослідженням використання харчових добавок, їх безпеки опікується Об'єднаний комітет експертів ФАО-ВООЗ з харчових добавок і контамінантів (забруднювачів) – ЖЕСФА(ДЖЕКФА).

ФАО —це Всесвітня продовольча і сільськогосподарська організація ООН; ВООЗ—Всесвітня організація охорони здоров'я [7].

Ці організації в 1963 р. заснували спеціальний міжнародний робочий орган зі сертифікації та стандартизації харчових продуктів — Комісію з Codex Alimentarius.

До її складу входять 173 держави-члени і один колективний член—Європейський Союз (ЄС). Одним із комітетів комісії є кодексний комітет з харчових добавок [5, 7].

Комісія з Codex Alimentarius розробляє загальні стандарти і керівні рекомендації з харчових добавок.

Кожна держава самостійно вирішує прийняття до використання харчові добавки, рекомендовані Codex Alimentarius, повністю чи з варіаціями [3].

Для ефективного застосування харчових добавок потрібне створення технології їх підбору і внесення з урахуванням особливостей хімічної будови і функціональних властивостей харчових добавок, характеру дії, виду продукту, особливостей сировини, складу харчової системи, технології, а іноді упаковки і зберігання.

Для оцінки токсикологічної безпеки харчових добавок в якості головних розглядаються наступні критерії:

- гостра токсичність;

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- метаболізм і токсикокінетика;
- генотоксичність/мутагенність (здатність викликати в організмі спадкові зміни);
- репродуктивна токсичність, включаючи тератогенність (здатність викликати аномалії в розвитку плоду) і вплив на здатність до відтворення потомства; субхронічна токсичність;
- хронічна токсичність;
- канцерогенність (здатність викликати ракові пухлини) [1, 6].

Будь-яка речовина може бути як нешкідливою, так і токсичною, що, на думку токсикологів, залежить від способу її застосування.

Вирішальну роль при цьому відіграють:

- доза (кількість речовини, що надходить в організм);
- тривалість споживання;
- режим надходження;
- шляхи надходження в організм людини [1, 5].

Нешкідливість харчових добавок визначається на основі широких порівняльних досліджень, які здійснюються такими органами, як Об'єднаний Комітет експертів з харчових добавок ФАО / ВООЗ (JECFA) і Науковий Комітет по продуктах харчування Європейського Союзу (SCF) [1, 2].

При застосуванні харчових добавок діє принцип «заборонено все, що не дозволено» [1, 8].

Використання харчових добавок заборонено, якщо вони не пройшли відповідну перевірку і не отримали схвалення відповідних органів.

Міжнародний досвід організації та проведення системних токсиколого-гігієнічних досліджень харчових добавок узагальнено в спеціальному документі ВООЗ (1987/1991) «Принципи оцінки безпеки харчових добавок і контамінантів в продуктах харчування» [1, 3].

Нешкідливість харчових добавок забезпечується шляхом проведення обов'язкових широких досліджень, до того як JECFA або SCF проведуть оцінку нової харчової добавки і, можливо, включать її в список дозволених

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

харчових добавок. Крім того, проводиться періодичний перегляд схвалених раніше харчових добавок у міру надходження про них нової інформації і вдосконалення методів проведення перевірки їх нешкідливості [1, 6, 8].

Важливою проблемою при гігієнічній регламентації харчових добавок в продуктах харчування є комбінаційна токсикологія, а також можливі взаємодії між різноманітними добавками. Популярність поєднання харчових добавок робить цю проблему досить важливою [7].

Проведені міжнародними організаціями дослідження показують, що харчові добавки, що застосовуються навіть для вирішення одних і тих же завдань, характеризуються відмінностями хімічних структур, метаболічних шляхів в організмі і біологічної дії [9].

1.2 Фумарова кислота та її місце в природі

Фумарова кислота як хімічна речовина являє собою білі (або безбарвні) кристали, які не володіють ароматом, але мають злегка гострий кисло-фруктовим смаком [15].

У рослинах фумарову кислоту легко виявити в лишайниках, ісландському моху, деяких видах грибів, а також в рослині *Fumaria officinalis*, яка також відома як Рутка аптечна або лікарська, дика рута, поширена в Європі, на Кавказі, Східній Сибірі. Саме на честь цієї рослини кислота названа фумаровою [5, 9].

Фумарова кислота дуже поширена в живій природі, так як синтезується природним способом в процесі циклу лимонної кислоти (циклу Кребса).

Фумарати (солі фумарової кислоти) є інтермедіатами в циклі Кребса. Мається на увазі, що інтермедіат – це проміжна речовина з коротким періодом існування, що утворюється в одному з етапів хімічної реакції, а далі вступає в реакції в наступних періодах, що призводять до утворення продуктів реакції [17].

Зазвичай інтермедіатами є атоми чи молекули з незавершеними електронними оболонками, наприклад вільні радикали, карбокатиони, карбоаніони.

					<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки інтремедіати дуже швидко реагують, їх концентрація в реакційній суміші дуже незначна. Тому їх утворення або теоретично постулюються, або детектують за допомогою сучасних фізико-хімічних методів аналізу. Іноді інтермедіат плутають з перехідним станом, що неправильно, оскільки інтермедіат може бути, у принципі, виділений та охарактеризований, тоді як існування перехідного стану може бути зафіксоване лише у виключних випадках.

Інтермедіат фумарової кислоти утворюється при окисненні сукцинату ферментом сукцинатдегідрогенази і далі перетворюється в малат ферментом фумарази [1, 6].

Відмітимо, що клітини шкіри людини природним чином виробляють фумарову кислоту під дією сонячного світла. У крові здорової людини дана кислота міститься в концентрації близько 3 мг / л [1, 10].

1.3 Фумарова кислота у харчовій промисловості

У харчовій промисловості фумарова кислота відома як харчова добавка E297. Вперше фумарову кислоту стали використовувати ще в 1946 році [1].

Призначена для використання як регулятор кислотності, консервант та підкислювач в різних харчових продуктах [1, 9].

Має кілька закріплених назв:

- фумарова кислота;
- E297;
- кислота фумарова;
- Fumaric acid

Найважлива технологічна функція, яку виконує синтезована харчова фумарова кислота полягає в регуляції кислотності продуктів і харчових рідин. E297 покращує смак і консервує фруктові цукерки і напої.

Часто харчова добавка виступає альтернативою винної і лимонної кислот [3, 5].

					<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Так, наприклад, при однаковій кількості приготування необхідних напоїв, витрати E297 становлять в два рази нижче аналогічних кислот.

Регламентується у використанні та виробництві:

- для кондитерських виробів з цукру, розчинних порошкоподібних фруктових основах для напоїв у кількості до 1 г /кг продукту ;
- в жувальній гумці в кількості до 2 г/ кг продукту;
- в начинках, оздоблювальних напівфабрикатах для здобних хлібобулочних виробів та борошняних кондитерських виробів і т.п. в кількості до 2,5 г/кг продукту;
- в десертах (желе, фруктові ароматизовані сухі (порошкоподібні) десертні суміші) в кількості до 4 г/кг продукту індивідуально або в комбінації;
- виробництво вина за рецептурою, яка узгоджена з відповідними державними установами [1, 5].

Продукти, що містять харчову фумарову кислоту, володіють лимонним, апельсиновим та грейпфрутовим смаком [5].

Продукти, в яких можна знайти харчову добавку E297:

- Жувальна гумка (харчова добавка зберігає «тягучість» і смак);
- Мармелад (фумарова кислота володіє фруктовим-кислим смаком та передає його харчовому продукту);
- Вино (E297 виступає консервантом);
- Фруктові десерти (фумарова кислота відіграє роль підкислювача);
- Кондитерські вироби [4].

Приклади продуктів з вмістом E297:

- Жувальна гумка «Orbit» без цукру з підсолоджувачами та з ароматом м'яги і лайма;
- Жувальна гумка «Eclipse» м'ята-лайм;
- Цукерки «Кислинка»;
- Мармелад фруктовий.

					<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.4 Галузі застосування фумарової кислоти

Фумарова кислота являється багатofункціональною самостійною речовиною. Тому знаходить своє місце в різних сферах застосування:

- *Хімічний синтез*

А саме отримання янтарної і яблучної кислот.

- *Медицина*

Популярність застосування фумарової кислоти з медичною метою вельми висока.

Препарати на основі фумарової кислоти відповідають за метаболічну дію, регенерують енергетичний і пластичний обмін в організмі людини. Такі препарати призначають як терапію в кардіологічних, неврологічних та гепатологічних цілях [15].

- *Фармацевтична промисловість*

Фумарова кислота використовується насамперед у рідких фармацевтичних препаратах як підкислювач і ароматизатор.

Може виступати кислотним компонентом при виробництві шипучих таблеток (використання обмежене через низьку розчинність у воді), а також комплексоутворюючим агентом, який виявляє синергізм у комбінації з іншими антиоксидантами [18].

На основі фумарової кислоти виробляються такі препарати:

- Мафусол – активує адаптацію клітини до нестачі кисню. Застосовується при крововтраті, інтоксикації, травмах.

- Реамберін – відновлює енергетичний потенціал клітин, зменшує вплив вільних радикалів, нормалізує баланс і склад крові.

- Цитофлавін – покращує кровотік, сприятливо діє при ішемічних і некротичних процесах.

Одним з найвідоміших застосувань фумарової кислоти в медицині та фармацевтичній індустрії є застосування при псоріазі, екземі та інших шкірних захворюваннях; саме ефіри фумарової кислоти застосовують для лікування псоріазу, денна доза 60-105 мг, яка підвищується до 1300 мг в день [19].

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- *Косметологія*

Фумарова кислота завдяки своїм властивостям боротьби з псоріазом входить до складу багатьох засобів від лупи і висипань на шкірі. Як регенератор клітин входить до складу кремів і лосьйонів, спрямованих на запобігання старіння шкіри обличчя і тіла.

Фумарова кислота знаходить своє місце в складі препаратів від лупи і себореї. Антибактеріальні властивості кислоти допомагають регулювати процеси десквамації, тоюто злущування епітеліюФумарова кислота впливає на гіперкератоз, зменшує прояв висипань на шкірі.

В догляді за ступнями дезінфікуючі властивості кислоти виявляють позитивний результат в боротьбі з грибками і тріщинами.

- *Сільське господарство*

Дану речовину використовують як добавку для корму тварин. Не впливаючи на смак кінцевого продукту (м'яса худоби та птиці), кислота підсилює імунні властивості організму тварин; дозволяє справлятися з хворобами та набирати вагу.

Популярність кормів з фумаровою кислотою також обумовлена позитивним впливом на стресові процеси при вакцинації тварин.

- *Нафтохімічна промисловість*

Фумарова кислота, як хімічна речовина застосовується для отримання поліефірних смол, синтетичних масел, що висихають, пластифікаторів.

1.5 Безпечність застосування фумарової кислоти у харчових продуктах

При такій популярності використання фумарової кислоти, її застосування в харчових продуктах суворо регламентується нормами [3, 8].

Основні характеристики безпеки E297:

- Не є токсичною;
- Не є вибухонебезпечною;
- Не горюча

					<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нормативні акти дозволяють використання E297 в харчових продуктах в Європейському союзі, Російської Федерації, Білорусі [1].

У той же час в Україні, з незрозумілих причин, добавка E297 наразі не входить в список добавок дозволених для використання у харчових продуктах, згідно постанови Кабінету Міністрів № 12 від 04.01.99 р. Саме цим нормативним документом регламентується використання харчових добавок в Україні [8].

Але дана речовина входить в перелік харчових добавок, що підлягають державній реєстрації в Україні.

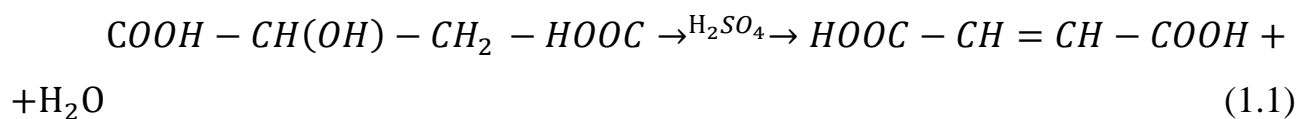
Допустиме добове надходження E297 складає 6 мг на 1 кілограм маси тіла людини [1, 4].

Передозування або неконтрольоване вживання продуктів харчування, які містять харчову фумарову кислоту може призводити до дисфункції печінки. З обережністю слід вживати такі продукти людям з хронічними захворюваннями печінки і кишечника та людям, які володіють алергічною реакцією на цитрусові.

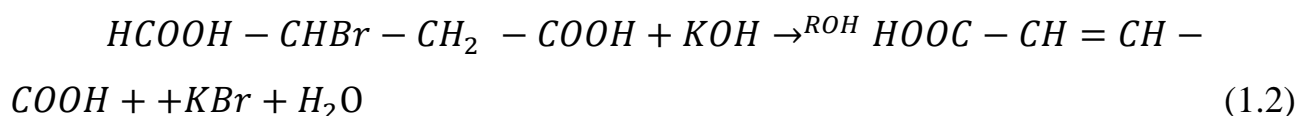
1.6 Способи отримання фумарової кислоти

Вперше фумарова кислота була отримана з бурштинової (янтарної) кислоти [12].

Її також можна отримати дегідратацією яблучної кислоти (див. рівняння 1.1):



Іншим способом фумарову кислоту можна отримати дегідрогалогенуванням бромбурштинової кислоти під дією спиртового розчину гідроксиду калію (рівняння 1.2):



Ці методи отримання фумарової кислоти більш розповсюджені в лабораторних умовах.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нині промисловий синтез фумарової кислоти здійснюється шляхом ізомеризації малеїнової кислоти у водних розчинах при низьких значеннях рН.

Схема наведена на рисунку 1.1 [13].

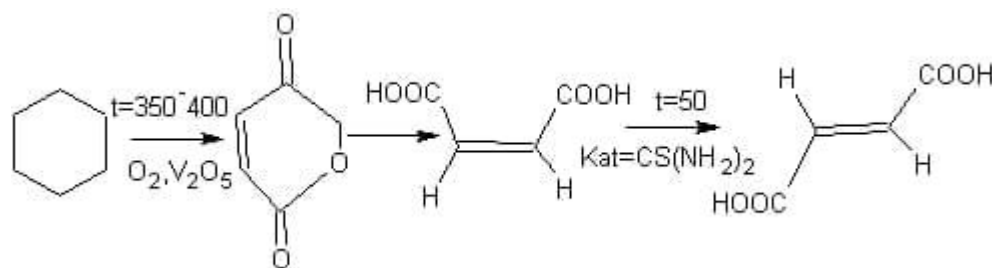
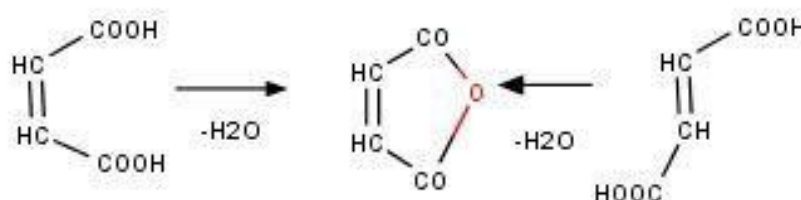


Рис. 1.1 Схема отримання фумарової кислоти

В свою чергу, малеїнова кислота доступна в великих обсягах, як продукт гідролізу малеїнового ангідриду, який є продуктом парофазного окиснення бензолу на стаціонарному каталізаторі [14].

1.7 Фізико-хімічні властивості малеїнового ангідриду, малеїнової та фумарової кислот

Малеїнова та фумарова кислоти, за своєю будовою являються цис- і транс формами бутен-2-діоївої кислоти. Обидві кислоти при дегідратації утворюють малеїновий ангідрид (див. рис. 1.2):



Малеїнова кислота Малеїновий ангідрид Фумарова кислота

Рис. 1.2 Схема дегідратації малеїнової та фумарової кислот

Малеїнова кислота легко втрачає молекулу води, переходячи в ангідридну форму, а фумарова кислота в силу своєї транс-структури, втрачає воду лише при жорстких умовах [12].

Фізичні властивості і хімічні перетворення фумарової і малеїнової кислот є надзвичайно типовими для цис-транс-ізомерії ненасичених сполук (табл. 1.1).

«Відносини» цих кислот настільки характерні для цього виду ізомерії, що вони привели до встановлення поняття «фумароїдних» та «малеїнових» форм етиленових ізомерів [14].

Стійка фумарова кислота, що утворює голчасті кристали, має більш високу температуру плавлення (в запаяному капілярі 287-288°C) і малу розчинність у воді (при 16°C майже 1:150). Добре розчинна у спиртах, гліколях, майже нерозчинна у органічних розчинниках [12].

Нестійка (менш стабільна) малеїнова кислота у вигляді кристалів ромбічної призми, що плавляться при 130°C, володіє гарною розчинністю у воді, що дозволяє проводити розділення її суміші із фумаровою кислотою шляхом кристалізації [14, 15].

Нестійкість малеїнової кислоти проявляється в тому, що дуже часто замість малеїнової кислоти з її похідних утворюється фумарова кислота.

Наприклад, це відбувається при виділенні кислоти з її свинцевої солі та інших її солей з важкими металами під дією сірководню. Крім того, у присутності залишків йоду (особливо на світлі) малеїнова кислота перетворюється в фумарову [12].

Однак під дією ультрафіолетових променів або тривалого нагрівання фумарова кислота може перетворюватися в малеїнову, що також характерно для всіх нестійких з'єднань цього роду. Крім того, фумарова кислота при нагріванні повільно відщеплює воду з утворенням ангідриду малеїнової кислоти [11, 16].

На рисунку 1.3 це зображено схематично.

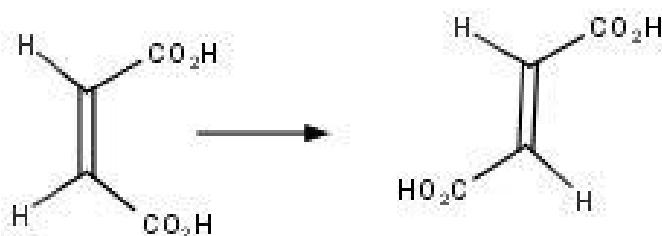


Рис. 1.3 Ізомеризація малеїнової кислоти

На прикладі цієї реакції Йоганнес Вісліценус у 1877 році відкрив передбачену Вант-Гоффом цис-транс ізомерію для сполук із подвійним зв'язком.

					<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Вивчення структури кристала малеїнової кислоти за допомогою рентгеноскопії показало, що в молекулі існує внутрішньомолекулярний водневий зв'язок довжиною 0,246 нм [11, 12, 13].

Можливо, саме це обумовлює більш легке видалення першого протону у малеїнової кислоти, ніж у фумарової. Цим також пояснюється більше високе значення першої константи дисоціації K_1 і більш низьке значення другої константи K_2 у малеїнової кислоти [13, 16].

Теплота ізомеризації малеїнової кислоти в фумарову кислоту складає 22,84 кДж/моль, а енергія активації 66,11 кДж/моль.

Структури малеїнової та фумарової кислот обумовлюють відмінності в їхніх фізичних характеристиках, особливо це відображається в розчинності та ступені іонізації.

Таблиця 1.1

Фізико-хімічні показники малеїнового ангідриду, малеїнової та фумарової кислот

Показники	Малеїновий ангідрид	Малеїнова кислота	Фумарова кислота
1	2	3	4
Молекулярна маса	98,06	116,07	116,07
Температура плавлення, °С	52,85	130-130,5	287
Температура кипіння, °С	202	138	165
Густина, г/см ³	1,480	1,590	1,635
Теплота утворення, кДж/моль	-470,41	-790,57	-811,03
Теплота утворення, кДж/моль	-470,41	-790,57	-811,03

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Розчинність, г/100 г розчину			
- у воді при 25°C	Не розчинний	44,1	0,70
- у етанолі 29,7 °С	Не розчинний	53,50	Не розчинна
- у бензолі при 25 °С	33,40	Не розчинна	Не розчинна
Константа дисоціації при 25°C			
K ₁	Не дисоціює	1,14×10 ⁻²	9,57×10 ⁻⁴
K ₂	Не дисоціює	5,95×10 ⁻⁷	4,13×10 ⁻⁵

1.8 Шляхи удосконалення технології отримання фумарової кислоти

Розглянемо хімічні основи процесу отримання малеїнового ангідриду – як бази для промислового синтезу фумарової кислоти.

Більше 90% світового виробництва малеїнового ангідриду обчислюються на основі використання в якості сировини бензолу.

При окисненні бензоліповітряної суміші над ванадієвими каталізаторами, вихід малеїнового ангідриду становить 70% (мол.) на пропущений бензол при повній його конверсії. Близько 30% бензолу перетворюється в продукти глибокого окиснення CO і CO₂.

Велике число патентів розроблено на виробництво малеїнового ангідриду з бутену, бутадієну, пентенів, а також (з кротонового альдегіду і фурфуролу). Останнім часом розроблений процес отримання малеїнового ангідриду з бутану [11, 13].

Перевага використання вуглеводнів C₄ в якості сировини для виробництва малеїнового ангідриду полягає в тому, що для отримання 1 кг малеїнового ангідриду вуглеводнів C₄ потрібно за розрахунком на 30 мас. ч. менше, ніж

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

бензолу. Тепловий ефект реакції також нижче, ніж в разі окиснення бензолу, що дуже важливо при технологічному оформленні процесів, що йдуть з великим виділенням тепла. Все це привело до того, що дослідники зайнялися розробкою процесу виробництва малеїнового ангідриду з вуглеводнів C_4 - C_5 ряду.

Вирішення цієї задачі зводилося в основному до пошуків високопродуктивного селективного каталізатора. У 60-х роках фірми «Петротекс» в США і «Ай-Сі-Ай» в Англії здійснили промисловий процес виробництва малеїнового ангідриду з бутиленової фракції.

Але відносно низькі селективність і не стабільність каталізатора зробили цей процес нерентабельним. Незабаром ці установки були переведені на бензол [14, 15].

У 1970 р. в Японії фірмою «Міцубісі» була випущена установка по виробництву малеїнового ангідриду окисненням фракції C_4 на киплячому шарі каталізатора [11, 16].

Слід зауважити, що при окисненні вуглеводнів C_4 і C_5 реакція протікає з меншою селективністю і утворюється більше побічних продуктів, ніж при окисненні бензолу. І хоча тепловий ефект реакції окиснення вуглеводнів C_4 і C_5 нижче, ніж для бензолу, сумарне тепловиділення в процесі значно вище за рахунок згоряння побічних продуктів реакції до CO і CO_2 [25].

Продуктивність реакторів в цьому процесі досягає лише 6-9 тис.тонн малеїнового ангідриду в рік. Коли продуктивність контактних апаратів, які використовують як сировину бензол складає 5-15 тис.тонн на рік.

Ефективність процесу отримання малеїнового ангідриду залежить від селективності застосовуваних для цього каталізаторів і від ступені досконалості самого технологічного процесу.

Перше спостереження про можливість окиснення бензолу в паровій фазі було зроблено в 1908 р. Орловим.

При пропущенні парів бензолу над нагрітою мідною сіткою ним було отримано ряд продуктів окиснення, частину яких не вдалося ідентифікувати.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступний етап з якого власне і починається розробка процесів парофазного окиснення ароматичних вуглеводнів бере початок з 1917-1920 року.

Вейсс і Даунс отримали вельми обнадійливі результати, використавши в якості каталізатора для окиснення бензолу в малеїновий ангідрид оксид ванадію як в чистому вигляді, так і в суміші з іншими оксидами [13, 16, 20].

На підставі проведених досліджень було отримано значне число патентів на каталізатори для виробництва малеїнового ангідриду окисненням бензолу.

В якості каталізаторів, використовувалися п'ятиокись ванадію, триокис молібдену, їх суміші, ряд з'єднань, що містять оксиди ванадію і молібдену в якості аніонів, наприклад ванадат хрому, ванадат нікелю, молібдат кобальту, і інші.

Однак, всі ці каталізатори не забезпечували досить глибокої конверсії бензолу і високих виходів малеїнового ангідриду. Крім того, при неглибокій конверсії бензолу утворювалося досить велика кількість проміжних продуктів (хінон, фенол п ін.), що сильно ускладнювало очищення малеїнового ангідриду-сирцю.

Ябута і Шімозой, вивчаючи окиснення бензолу над V_2O_5 , досліджували вплив концентрації бензолу в вихідній реакційної суміші, різні методи приготування каталізатора і вплив добавок різних оксидів металів [26].

Пигулевский і Яржемський детально досліджували реакцію окиснення бензолу в малеїновий ангідрид в реакційній трубці діаметром 12 мм, довжиною 1,7 м, яка обігривається ртутними парами. Досліджувався вплив часу контакту і температури на вихід малеїнового ангідриду, каталізатором слугувала п'ятиокись ванадію. Авторами було отримано максимальний вихід малеїнового ангідриду 38% від теоретичного можливого, проте конверсія бензолу не перевищувала 40% [11].

Подальша розробка каталізаторів для парофазного окиснення бензолу в малеїновий ангідрид зводилася в основному до пошуків різних добавок до активної речовини з метою збільшення селективності каталізатора і глибини конверсії бензолу.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними активними речовинами є оксид ванадію(V) і його суміші з оксидом молібдену(III) – (V_2O_5 і MoO_3).

Кіпріанов і Шостак показали, що додана невелика кількість оксидів кобальту до суміші оксидів ванадію і молібдену, як добавки, підвищує селективність останніх. Їм вдалося довести вихід малеїнового ангідриду до 38% на пропущений бензол, однак конверсія бензолу складала 50-60%. Для утилізації непрореагованого бензолу застосовували 3-4-кратну рециркуляцію газового потоку над каталізатором. Таким шляхом було досягнуто вихід малеїнового ангідриду 60% [23].

В роботах [13, 15] наведені результати систематичного вивчення впливу різних добавок: оксидів кобальту, вольфраму, урану, церію, торію, цирконію та титану до змішаного ванадій молібденового каталізатору, а також вивчені різні носії для цих каталізаторів: кизельгур, пемза, каолін, силікагель, металевий алюміній і гіпс.

Найкращі результати були отримані в роботі з сумішшю V_2O_5 - MoO_3 з 5% оксиду кобальту на кизельгурі у співвідношенні (1:2,3):1.

Оксиди ванадію, молібдену та кобальту є основою багатьох промислових каталізаторів, що використовуються в даний час [21].

У цих каталізаторах, крім кобальту (він може бути замінений нікелем) рекомендуються добавки невеликих кількостей фосфору і натрію.

У деяких патентах особлива увага звертається на попередню підготовку носія. Наприклад α -оксид алюмінію з малої поверхні обробляють кислотами для видалення небажаних домішок. Така обробка значно підвищує активність і селективність каталізатора [20, 22].

Останнім часом рекомендується в якості добавок використовувати срібло і бор. Можлива також заміна молібдену вольфрамом. Подібні каталізатори мають високу активність [11].

Вивчення каталітичної системи оксидів ванадію і молібдену, лежить в основі майже всіх каталізаторів окиснення бензолу в малеїновий ангідрид.

					<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Каталіз – найефективніший і найраціональніший засіб прискорення хімічних процесів. Каталітичні реакції являються доволі перспективними способами ітенсифікації технологічних процесів. За рахунок використання тіомочевини як каталізатора реакції ізомеризації малеїнової кислоти у фумарову, ми досягаємо високу селективність реакції, підвищуємо вихід цільового продукту за рахунок прискорення протікання реакції.

Отже, на підставі аналізу науково-технічної літератури було обрано удосконалення технології отримання фумарової кислоти методом парофазного окиснення бензолу над стаціонарним ванадієво-молібденовим каталізатором та подальшою каталітичною ізомеризацією з використанням тіомочевини.

					<i>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика сировини для виробництва фумарової кислоти

В якості сировини використовують бензол, повітря та воду.

Бензол (бензен) — перший представник гомологічного ряду ароматичних вуглеводнів, молекулярна формула C_6H_6 .

Це безбарвна летка рідина з характерним запахом. Температура кипіння дорівнює $80,1\text{ }^\circ\text{C}$, а густина складає $0,99\text{ г/см}^3$. За температури $5,5\text{ }^\circ\text{C}$ замерзає в білку кристалічну масу.

Бензен завдяки своїй симетричності є неполярною речовиною, тому не розчиняється у воді, проте утворює з нею азеотропну суміш з температурою кипіння $69,25\text{ }^\circ\text{C}$. З більшістю неполярних розчинників змішується в будь-яких відношеннях, тому є гарним органічним розчинником.

Бензен завдяки своїй симетричності є неполярною речовиною, тому не розчиняється у воді, проте утворює з нею азеотропну суміш з температурою кипіння $69,25\text{ }^\circ\text{C}$. З більшістю неполярних розчинників змішується в будь-яких відношеннях, сам є добрим розчинником для багатьох органічних речовин.

Бензол використовується в якості сировини для нафтохімічної промисловості, виробництва пластмас

Структурну формулу зображено на рисунку 2.1.

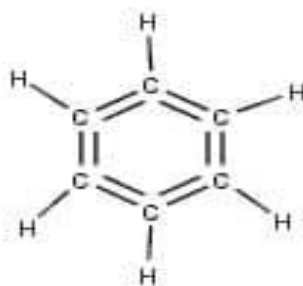


Рис. 2.1 Структурна формула бензену

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.031.КР.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Білим А.О.</i>			ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Бойчук Т.М.</i>					31	92
Консульт.		<i>Житнецький І.В.</i>				<i>НУХТ, Каф.ТЖХТ</i>		
Н. Контр.		<i>Подобій О.В.</i>						
Затверд.		<i>Носенко Т.Т.</i>						

Для виробництва фумарової кислоти використовують бензол, призначений для синтезу.

За якістю бензол, що використовується має відповідати вимогам ГОСТ 9572-93 [27].

Якість якого повинна відповідати вимогам якості вищого сорту.

Нижче у таблиці 2.1 наведенні вимоги до якості бензолу.

Таблиця 2.1

Вимоги якості до бензолу

Показники	Вищий сорт ОКП 24 1411 0220	Перший сорт ОКП 24 1411 0230
Зовнішній вигляд та колір	Прозора рідина, яка не містить сторонніх домішок і води, не темніше розчину $K_2Cr_2O_7$ в 1 дм ³ води	Аналогічно
Густина при 20°C, г/см ³	0,878-0,880	0,877-0,880
Межі перегонки 95 %, °C	0,6	0,6
Температура кристалізації, °C	5,35	5,30
Масова частка основної речовини, не менше %	99,7	99,5
Масова частка домішок, не більше %		
н-гептана	0,06	-
метилциклогексана+толуолу	0,13	-
метилциклопентана	0,08	-
толуолу	-	-

Вода дистильована (ГОСТ 6709-72).

Дистильована вода – це вода, найбільш наближена за своєю якістю до хімічно чистої H_2O .

Це вода очищена від домішок розчинених у її об'ємі (мінеральних солей, органічних речовин та іншим) шляхом дистиляції.

За фізико-хімічними показниками дистильована вода повинна відповідати вимогам і нормам, зазначеним у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Фізико-хімічні показники якості води дистильованої

Найменування показнику	Норма
1	2
1.Масова концентрація залишку після випаровування, мг/дм ³ , не більше	5
2.Масова концентрація аміаку та амонійних солей(NH_4), мг/дм ³ , не більше	0,02
3.Масова концентрація нітратів(NO_3), мг/дм ³ , не більше	0,2
4.Масова концентрація сульфатів(SO_4), мг/дм ³ , не більше	0,5
5.Масова концентрація хлоридів(Cl), мг/дм ³ , не більше	0,02
6.Масова концентрація Алюмінія(Al), мг/дм ³ , не більше	0,05
7.Масова концентрація Заліза(Fe), мг/дм ³ , не більше	0,05
8.Масова концентрація Кальція(Ca), мг/дм ³ , не більше	0,8
9.Масова концентрація Купруму(Cu), мг/дм ³ , не більше	0,02

Продовження таблиці 2.2

1	2
10.Масова концентрація Свинцю(Pb), мг/дм ³ , не більше	0,05
11.Масова концентрація Цинку(Zn), мг/дм ³ , не більше	0,2
13.Рн води	5,4-6,6
14.Електрична провідність при 20°С, См/м,не більше	5×10 ⁻⁴

Як допоміжні матеріали використовують ванадієво-молібденовий каталізатор (для прискорення процесу окиснення бензену), тіомочевину як каталізатор та розчини калій нітрату та натрій нітриту (для відведення тепла реакції).

2.2 Опис принципової технологічної схеми

Технологія виробництва фумарової кислоти полягає в одночасній або послідовній реалізації наступних технологічних стадій (рис. 2.2).

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

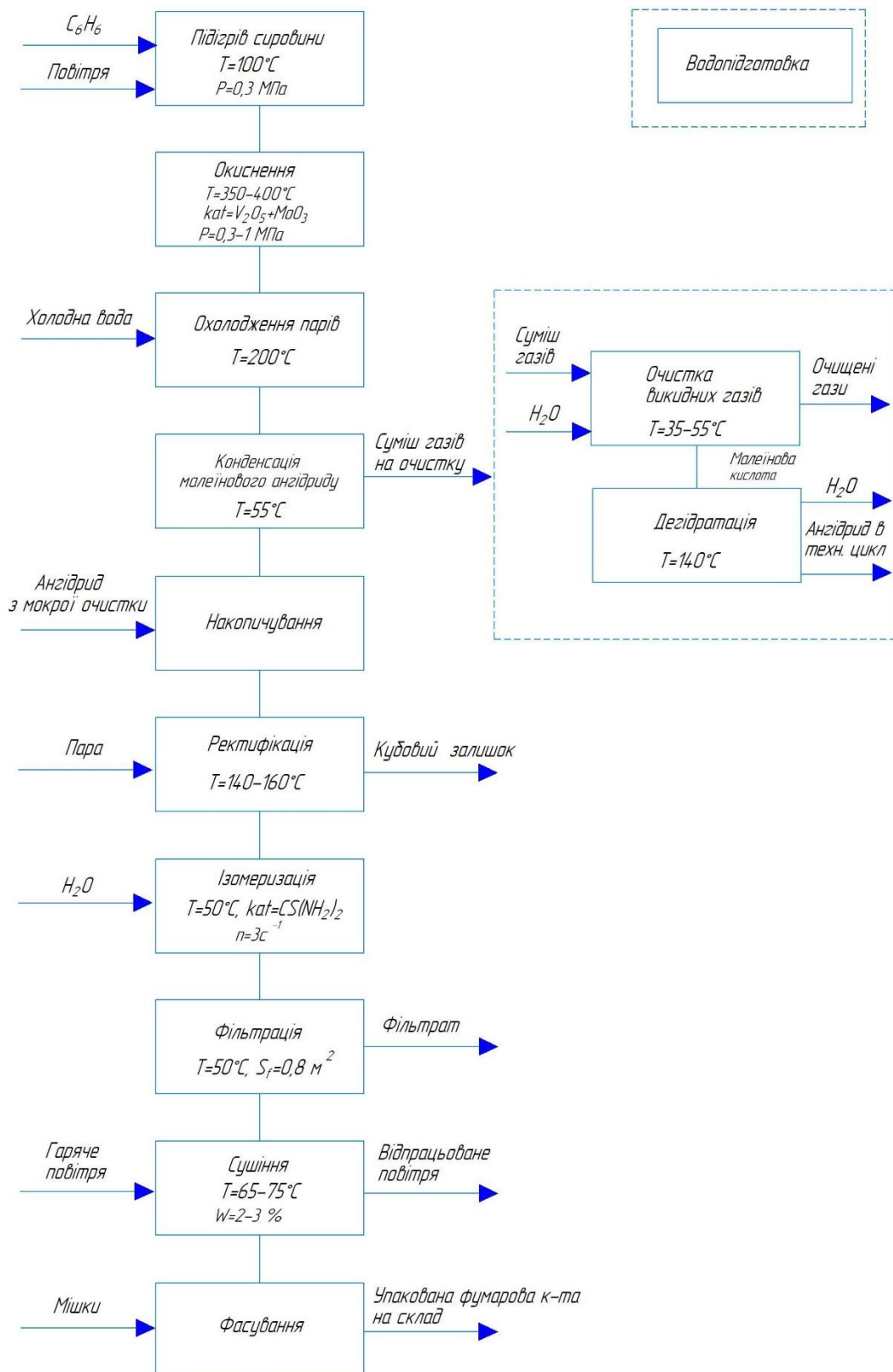


Рис. 2.2 Принципова технологічна схема отримання фумарової кислоти

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1. Стадію *водопідготовки* можна відзначити як *допоміжну*.

У хімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості використовують воду очищену (дистильовану).

Воду очищену отримують методом дистиляції, перегонки водопровідної або демінералізованої води в дистиляційних апаратах різноманітних конструкцій. На виробництві може передбачатися проведення дистиляції води, якщо дозволяє апаратурне оснащення, а з економічної точки зору цей процес буде вигідним та доцільним.

2. *Нагрівання бензоло-повітряної суміші*

У блок нагрівання надходить вихідна суміш бензолу та повітря, яка підігрівається контактними газами до температури 100°C та тиску 0,3 МПа у пластичному теплообміннику.

3. *Окиснення бензоло-повітряної суміші*

Бензоло-повітряна суміш піддається каталітичному окисненню в контактному апараті. Процес підтримується температурою 350-400°C і підтримується тиском 0,3-1 МПа. Бензол окислюється практично повністю. Вихід малеїнового ангідриду складає 68-72%. При цьому суміш перетворюється у ангідридо-повітряну.

Хімічний процес, що відбувається можна зобразити схематично (див.рис.2.3).

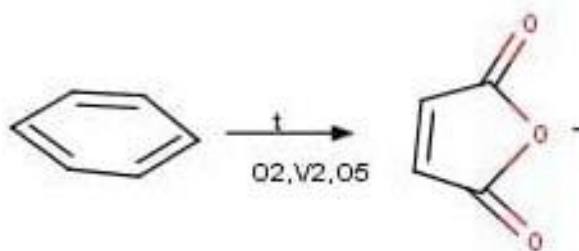


Рис.2.3 Каталітичне окиснення бензолу

4. *Охолодження парів*

Продукти реакції охолоджуються, тим самим піддаються процесу конденсації при температурі 200°C. При цьому конденсується більша частина малеїнового ангідриду.

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

5. Розділення

Гази, що містять в собі залишкову кількість малеїнового ангідриду і інші продукти реакції, підлягають «мокрій очистці», де подачею води в водному скрубєрі практично повністю улавлюється малеїновий ангідрид.

Процес підтримується температурою 35-55°C. При цьому утворюється розчин малеїнової кислоти з концентрацією 40 %, який при температурі 140°C піддається реакції дегідратації. Утворений малеїновий ангідрид повертається в технологічний цикл, а вода видаляється як побічний продукт.

6. Накопичування продукту

Малеїновий ангідрид, отриманий на стадії конденсації та дегідратації накопичується в збірнику.

7. Ректифікація малеїнового ангідриду

Ангідрид піддається ректифікації задля отримання чистого та якісного продукту в ректифікаційній колоні. Параметрами, при яких здійснюється процес є температура 140-160 °С. Кубовий залишок видаляється на спалювання.

8. Каталітична ізомеризація малеїнової кислоти

Отриманий чистий малеїновий ангідрид при змішуванні з водою утворює малеїнову кислоту. При підтриманні температури 50°C та використанні тіомочевини відбувається каталітична ізомеризація малеїнової кислоти у фумарову, яка випадає в осад. Процес ітенсифікується перемішуванням, а частота обертання мішалки досягає 3 с⁻¹.

Застосування каталізатора призводить до зниження енергії активації реакції ізомеризації та робить технологію більш енергоощадною.

9. Фільтрація осаду

10. Даний процес застосовується щоб розділити кристалічний осад фумарової кислоти від фільтрату та зменшити подальші витрати на сушіння. Чим більше видалиться вологи тим чистішою буде фумарова кислота. Фільтрація проводиться під вакуумом та температурі 50°C, а поверхня фільтрування досягає 0,8 м².

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Сушіння

Цей процес проводиться з метою видалення залишкової вологи із кристалів фумарової кислоти. Для отримання товарного вигляду кристали фумарової кислоти сушать в сушарках при температурі 65-75 °С, використовуючи в якості теплоносія підігріте повітря. В результаті процесу сушіння отримують сухі кристали, а зайва волога випаровується. Допустимий кінцевий вміст вологи $W = 2-3 \%$.

12. Фасування

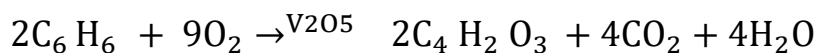
Дана технологічна операція фасування передбачає виконання ряду послідовних процесів, метою та кінцевим результатом яких є пакування продукції. Цей процес застосовується на заключній стадії виробництва фумарової кислоти. Фумарову кислоту фасують у мішки (вагою від 1 кг) та відправляють на зберігання на склад.

2.3 Матеріальний баланс виробництва

Даний розрахунок проводиться на 1000 кг/добу готової продукції фумарової кислоти [42].

Для її виробництва потрібен бензол, повітря та молібдено-ванадієвий каталізатор. За методикою маса бензолу складає 780 кг бензолу, 6875 кг повітря, 327 кг води та 1000 кг молібдено-ванадієвого каталізатора та 150 кг тіомочевини.

Матеріальний баланс стадії окиснення



На стадії окиснення необхідно прорахувати молярні маси вихідних продуктів та продуктів реакції, а також знайти кількість утворених продуктів, враховуючи стехіометрію.

$M(\text{бензолу}) = 78 \text{ г/моль}$; $M(\text{кисню}) = 32 \text{ г/моль}$;

$M(\text{малеїнового ангідриду}) = 98 \text{ г/моль}$;

$M(\text{вуглекислого газу}) = 44 \text{ г/моль}$; $M(\text{води}) = 18 \text{ г/моль}$

Виходячи з рівняння реакції, кількості речовин дорівнюють:

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n(\text{бензолу})=n(\text{малеїнового ангідриду})=\frac{780 \times 1000}{78}=10000 \text{ моль}$$

$$n(\text{CO}_2)=n(\text{H}_2\text{O})=20000 \text{ моль}$$

$$m(\text{малеїнового ангідриду})=\frac{10000 \times 98}{1000}=980 \text{ кг}$$

$$m(\text{CO}_2)=\frac{20000 \times 44}{1000}=880 \text{ кг}$$

$$m(\text{H}_2\text{O})=\frac{20000 \times 18}{1000}=360 \text{ кг}$$

Втрати на стадії окиснення становлять 1 %.

Таблиця 2.3

Матеріальний баланс стадії окиснення

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Бензол	780	Малеїновий ангідрид	980
Повітря в тому числі:			
O ₂	1526		
N ₂	5349	N ₂	5349
		CO ₂	880
		H ₂ O	360
Каталізатор V ₂ O ₅ +MoO ₃	1000	Каталізатор V ₂ O ₅ +MoO ₃	1000
		Втрати	86
Всього	8655	Всього	8655

Таблиця 2.4

Матеріальний баланс стадії охолодження малеїнового ангідриду

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Малеїновий ангідрид	980	Малеїновий ангідрид охолоджений	980
Всього	980	Всього	980

Таблиця 2.5

Матеріальний баланс стадії розділення суміші

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Малеїновий ангідрид	980	Ангідрид охолоджений	900
		Паро-газова суміш в т.ч: Вимочений ангідрид	80
CO ₂	880	CO ₂	880
H ₂ O	360	H ₂ O	360
N ₂	5349	N ₂	5349
Всього	7569	Всього	7569

На даній стадії втрати не передбачаються.

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Таблиця 2.6

Матеріальний баланс стадії накопичування

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Ангідрид охолоджений	900		
Ангідрид вимочений	80	Ангідрид	980
Всього	980	Всього	980

Враховуємо, що втрати на стадії ректифікації складають 0.5%.

Таблиця 2.7

Матеріальний баланс стадії ректифікації малеїнового ангідриду

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Ангідрид-сирець	980	Ангідрид очищений	855
		Органічні домішки	120
		Втрати	5
Всього	980	Всього	980

Матеріальний баланс стадії каталітичної ізомеризації

На стадії ізомеризації необхідно обчислити молярні маси вихідних продуктів та продуктів реакції, а також знайти кількість утвореної фумарової

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кислоти. Враховуємо, що співвідношення кількості речовини вихідних реагентів та продукту реакції 1:1:1.



$M(\text{малеїнового ангідриду}) = 98 \text{ г/моль};$

$M(\text{води}) = 18 \text{ г/моль};$

$M(\text{фумарової кислоти}) = 116 \text{ г/моль}$

$n(\text{малеїнового ангідриду}) = \frac{855 \times 1000}{98} = 8724 \text{ моль}$

$n(\text{малеїнового ангідриду}) = n(\text{води}) = n(\text{фумарової кислоти}) = 8724 \text{ моль}$

$m(\text{води}) = 8724 \times 18 \text{ г/моль} \div 1000 = 157 \text{ кг}$

$m(\text{фумарової кислоти}) = 8724 \text{ моль} \times 116 \text{ г/моль} \div 1000 = 1012 \text{ кг}$

Допускаємо втрати цільового продукту до 1 %.

Таблиця 2.8

Матеріальний баланс стадії ізомеризації

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Ангідрид	855	Кристали фумарової кислоти	1012
Вода	327	Вода (з залишками малеїнової кислоти)	157
Каталізатор тіомочевина $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$	150	Каталізатор тіомочевина $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$	150
		Втрати	13
Всього	1332	Всього	1332

Втрати на стадії фільтрування становлять 0.5%.

Таблиця 2.9

Матеріальний баланс стадії фільтрування

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса,кг	Речовина	Маса,кг
Вологі кристали в тому числі:			
Фумарова кислота	1012	Вологі кристали	1012
Вода(з залишками малеїнової кислоти)	157	Фільтрат	150
		Втрати	7
Всього	1212	Всього	1212

При розрахунку стадії сушіння втрати цільового продукту складають до 1 %.

Таблиця 2.10

Матеріальний баланс стадії сушіння фумарової кислоти

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса , кг	Речовина	Маса, кг
Вологі кристали в т.ч.:		Осушені кристали	
Фумарова кислота	1012	фумарової кислоти	1000
Вода	135		
		Випарована вода	135
		Втрати	12
Всього	1147	Всього	1147

Матеріальний баланс виробництва фумарової кислоти

Стаття приходу		Стаття витрат	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Бензол	780	Малеїновий ангідрид	980
O ₂	1526		
N ₂	5349	N ₂	5349
Каталізатор V ₂ O ₅ +MoO ₃	1000	Каталізатор V ₂ O ₅ +MoO ₃	1000
H ₂ O	360	H ₂ O	360
CO ₂	880	CO ₂	880
		Органічні домішки	120
Каталізатор CS(NH ₂) ₂	150	Каталізатор CS(NH ₂) ₂	150
		Кристали фумарової кислоти	1012
Вода	327	Вода (з залишками малеїнової кислоти)	157
		Фільтрат	150
Вологі кристали фумарової кислоти	1012	Осушені кристали фумарової кислоти	1000
Вода (з залишками малеїнової кислоти)	157	Випаровувана вода	135
		Втрати	248
Всього	11541	Всього	11541

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.4 Тепловий баланс виробництва

Для розрахунку теплового балансу було обрано стадію сушіння.

Вихідні дані:

1. Продуктивність сушарки по вологому матеріалу : $G_1=500$ кг/год
2. Питома теплоємність абсолютно сухого матеріалу: $c_2=1420$ Дж/(кг $^{\circ}$ С)
3. Вміст води в продукті:
 - початковий: $w_1=15\%$
 - кінцевий : $w_2=2\%$
4. Температура продукту, що надходить в сушильну камеру: $\theta_1=20^{\circ}\text{C}$
5. Температура сухого продукту, що виходить із сушильної камери: $\theta_2=40^{\circ}\text{C}$
6. Температура зовнішнього повітря: $t_0=25^{\circ}\text{C}$
7. Температура повітря після калорифера: $t_1=90^{\circ}\text{C}$
8. Температура відпрацьованого повітря: $t_2=60^{\circ}\text{C}$
9. Відносна вологість свіжого повітря : $f_0=60\%$

Масова витрата видаленої води (W) визначаємо згідно формули 2.1:

$$W = G_1 \times \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} \quad (2.1)$$

$$W = 500 \times 13/98 = 66,3 \text{ кг/год} = 0,0184 \text{ кг/с}$$

Продуктивність сушарки по сухому продукту (G_2) визначаємо з формули 2.2:

$$G_2 = G_1 \times \frac{100 - w_1}{100 - w_2} \quad (2.2)$$

$$G_2 = 500 \times 85/98 = 433,6 \text{ кг/год} = 0,12 \text{ кг/с}$$

Використовуючи h - x діаграму Рамзіна (рис.2.4) для вологого повітря, визначаємо початковий (x_0) і кінцевий (x_1) вологовміст повітря, а також

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характерні ентальпії. На перетині ліній знаходимо точку A , що характеризує початковий стан зовнішнього повітря. З точки A , опустивши перпендикуляр на вісь x , знаходимо значення $x_0=0,009$ пари/кг сухого повітря. Через точку A проходить лінія постійної ентальпії(ізоентальпа) $I_0=11$ кДж/кг. З точки A , піднявшись по перпендикуляру до перетину з ізотермою $t_1=100^\circ\text{C}$, знаходимо точку B , що характеризує стан повітря на виході із калорифера перед подачею в сушильну камеру. Від точки B рухаємося вниз по ізоентальпі $I_1=30$ кДж/кг до перетину з ізотермою 65°C , отримавши точку C . З точки C , опустивши перпендикуляр на вісь x , знаходимо значення $x_1=0,027$.

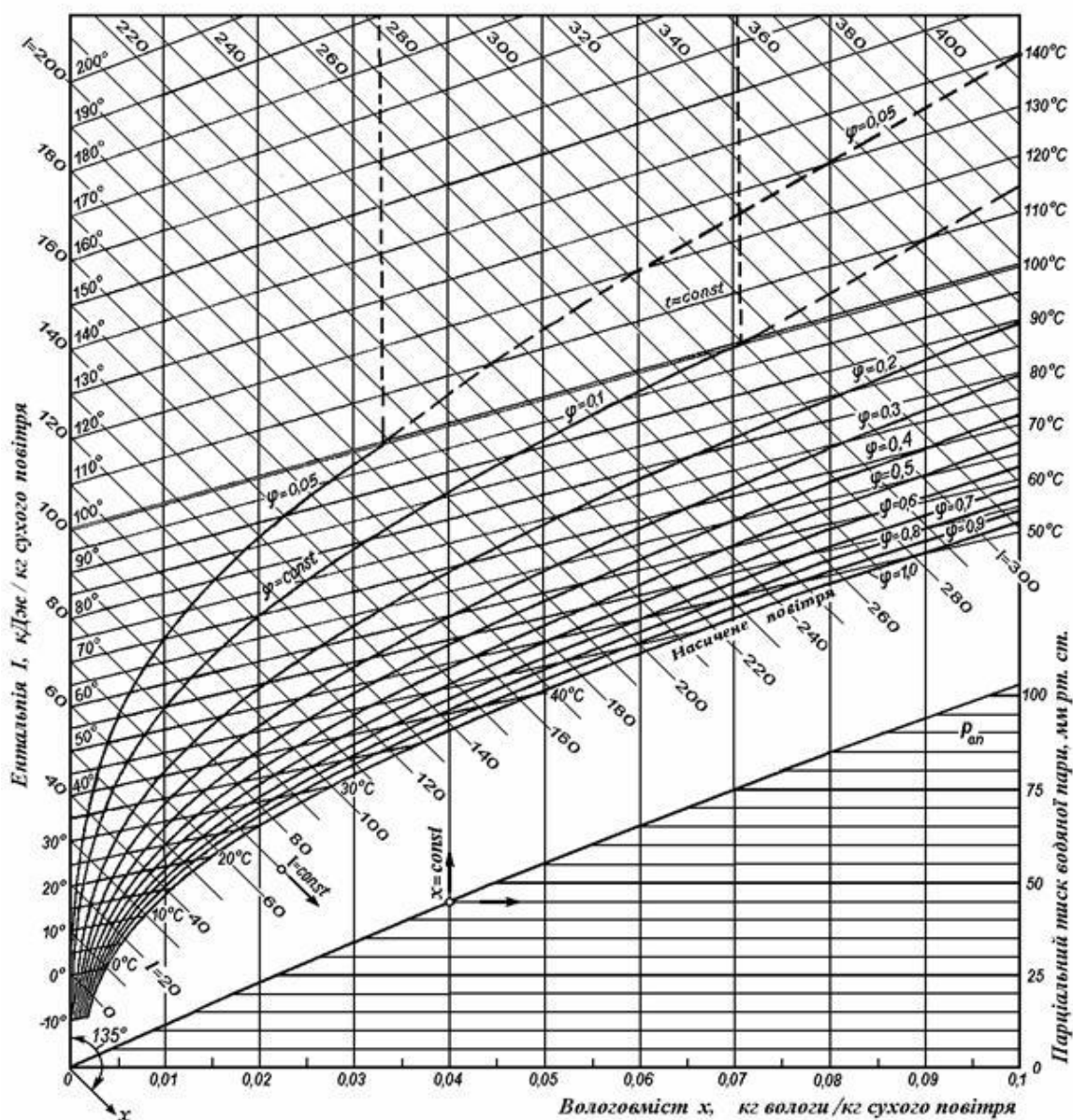


Рис. 2.4 Діаграма Рамзіна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розраховуємо теоретичну питому витрату повітря в сушарці:

$$l_0 = \frac{1}{x_1 - x_0} \quad (2.3)$$

$$l_0 = \frac{1}{0,027 - 0,009} = 55,5$$

Розраховуємо теоретичну абсолютну витрату повітря в сушарці:

$$L = l_0 \times W \quad (2.4)$$

$$L = 55,5 \times 0,055 = 3,05 \text{ кг/с} = 11000 \text{ кг/год}$$

Складаємо рівняння теплового балансу (2.5) для сушильної камери:

$$L \times I_1 + G_1 \times c_1 \times \theta_1 = L \times I_2 + G_2 \times c_2 \times \theta_2 + Q_{\text{п}}, \quad (2.5)$$

Де θ_1 – температура продукту , що надходить в сушильну камеру;

θ_2 – температура продукту , що надходить в сушильну камеру

$Q_{\text{п}}$ – теплові втрати, які з урахуванням правильно накладеної ізоляції приймаємо 5 % від тепла, що надійшло з гарячим повітрям:

$$Q_{\text{п}} = 0,05 \times L \times I_1 = 0,05 \times 3,05 \times 30 = 4,575 \text{ кВт}$$

Визначаємо значення теплоємностей для волого та сухого продукту:

$$c_1 = 1.17 \text{ кДж/(кг} \times \text{°C)}; c_2 = 1.42 \text{ кДж/(кг} \times \text{°C)}.$$

Із рівняння теплового балансу (2.5) визначаємо витрати тепла на сушіння в сушильній камері та теплову поправку:

$$L \times (I_2 - I_1) = G_2 \times c_2 \times \theta_2 - G_1 \times c_1 \times \theta_1 + Q_{\text{п}} \quad (2.6)$$

$$\frac{L \times (I_2 - I_1)}{W} = \frac{[(G_2 \times c_2 \times \theta_2 - G_1 \times c_1 \times \theta_1 + Q_{\text{п}})]}{W}$$

$$\Sigma Q = G_2 \times c_2 \times \theta_2 - G_1 \times c_1 \times \theta_1 + Q_{\text{п}}$$

$$\Delta = \frac{\Sigma Q}{W}$$

$$\Delta = l \times (I_2 - I_1),$$

Де Δ - теплова поправка на дійсний (реальний) сушильний процес, кДж/кг;

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ΣQ - алгебраїчна сума абсолютних теплот в сушильній камері, Вт.

Розраховуємо ΣQ :

$$\Sigma Q = G_2 \times c_2 \times \theta_2 - G_1 \times c_1 \times \theta_1 + Q_{\text{п}}$$

$$\Sigma Q = 12933$$

Розраховуємо теплову поправку Δ :

$$\Delta = (\Sigma Q) / W = 12933 \div 66,3 = 195 \text{ кДж/кг}$$

2.5 Підбір основного технологічного обладнання

1. Пластинчастий теплообмінник марки ET-015 M

Пластинчасті теплообмінники складаються з набору пластин, які ущільнюються між собою гумовими прокладками і стяжками. Такий теплообмінник простий у виготовленні, легко модифікується, його легко чистити [28].

Оптимальним варіантом для даного виробництва являється теплообмінник марки ET-015 M (рис. 2.5). Основні технічні характеристики якого викладені в таблиці 2.12.



Рис. 2.5 Пластинчастий теплообмінник

Таблиця 2.12

Технічні характеристики пластинчастиного теплообміннику марки ET-015 M

Найменування показнику	Значення параметрів
1	2
Максимальна кількість пластин, шт	230

1	2
Максимальна поверхня теплообміну, м ²	50
Товщина пластини, мм	0,4-0,5
Температура робочого середовища, °С	-10...+150°С
Робоче середовище	Вода, етиленгліколь, пропіленгліколь
Матеріал пластин	Нержавіюча сталь AISI 304, AISI 316
Вага, кг	450

2. Контактний апарат

Контактний апарат зі стаціонарним шаром каталізатора являє собою трубчастий теплообмінник, де каталізатор занурюється в труби, а теплоносій циркулює в міжтрубному просторі. Число труб в апаратах може сягати до 10 тисяч. Всередині апарата розміщена велика кількість трубок, в які завантажуються слой каталізатора. В міжтрубному просторі циркулює теплоносій – розплав нітрит-нітратних солей (~53% KNO₃, 40 % NaNO₂, 7 % NaNO₃). Як правило, такі контактні апарати виготовляють під замовлення [30].

Реактор зі стаціонарним шаром каталізатору має такий вигляд (рис.2.6).

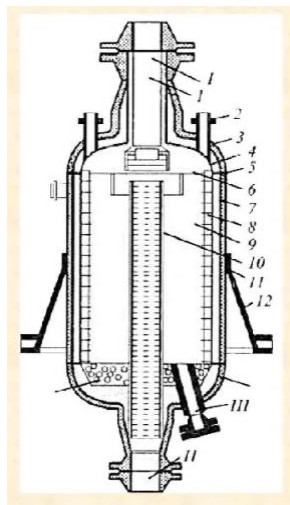


Рис. 2.6 Контактний апарат зі стаціонарним шаром каталізатора

3. *Скрубер Вентурі* використовується для пиле- та газоочищення.

При напрямку газу до скрубера починає розпилюватися рідина через форсунку. Згодом змішаний потік прискорюється за рахунок того, що проходить крізь сопло трубки Вентурі, яке звужується.

Часточки пилу та газу збільшують свою швидкість до 150 м/с. Виникає різниця скорості руху газу та рідини. За рахунок цього рідина розривається на дрібні краплини, на які, в свою чергу, натрапляють частинки пилу та захоплюються ними (табл. 2.13, рис. 2.7) [28, 29].

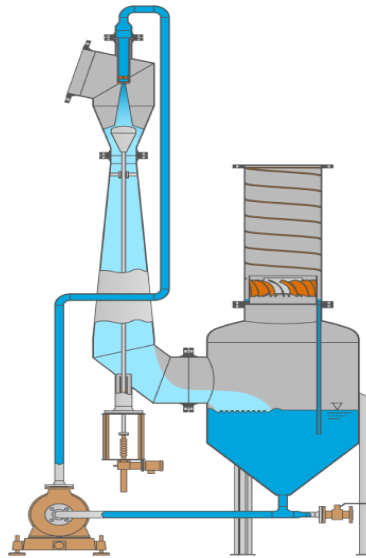


Рис 2.7 Скрубер Вентурі

Таблиця 2.13

Технологічна характеристика камерного скрубера Вентурі

Параметр	Одиниці вимірювання	Показник
1	2	3
Необхідні витрати рідини на 1 м газу	л/м ³	0.5 ... 2
Тиск рідини	бар	2 ... 3
Відносна швидкість	м/с	30 ... 150

4. Реактор-змішувач з нержавіючої сталі

Хімічні реактори з нержавіючої сталі ідеально підходять для харчової та фармацевтичної промисловості, так як їх конструктивні особливості гарантують максимальну чистоту поверхні і забезпечують необхідний потік тепла і речовини, що дозволяє задовольняти жорсткі вимоги стандарту GMP.

Їх використовують для гідролізу, нейтралізації, кристалізації, випаровування та інших процесів, тому важливо, щоб майже всі технологічні з'єднання і різьбові адаптери можна було легко розібрати та замінити [30].

Основними марками нержавіючої сталі, з яких виготовляють реактори, є марки AISI 316 (08X17H13M2), AISI 321 (08X18H10T) і AISI 304 (08X18H10).

Варіації використаних мішалок можуть бути різними: якірні, рамні, шнекові, турбінні, лопатеві, з перегородками.

В даній технології варто зупинити свою увагу на реактор-змішувач марки СВВ з турбінною мішалкою відкритого типу та паровою сорочкою для підігріву реакційної маси [29].

Має такий вигляд (рис. 2.8), основні технічні характеристики апарата наведені в таблиці 2.14.



Рис. 2.8 Реактор-змішувач марки СВВ

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

**Технічні характеристики реактора-змішувача турбінною мішалкою
та сорочкою**

Параметр	Одиниці вимірювання	Показник
Робочий об'єм	м ³	1,3
Робочий тиск	Па	атмосферний
Температура середовища	°С	від -20 до 200
Теплоносій	-	вода
Матеріал зовнішньої сорочки	-	Нержавіюча сталь марки AISI 304
Матеріал внутрішньої сорочки	-	Нержавіюча сталь марки AISI 304
Тип мішалки	-	турбінна
Частота обертання, об/хв	-	180
Вага апарата, кг	-	1000

5. Нутч-фільтр марки НФП-0.7-100 ПП

Фільтри, що працюють під вакуумом – це нутч-фільтри, які виготовляються з товстостінних поліпропіленових труб, внутрішня частина яких поділена перфорованою перегородкою [30].

На перегородці укріплена фільтрувальна тканина з матеріалу «спанбонду», або нетканого поліпропілену. У верхню частину заливається суспензія, фільтрат збирається на дні нижньої частини. Вакуум створюється під перегородкою за допомогою вакуумного насоса, з'єданого з нутч-фільтром через пастку-ресивер.

Зображення фільтра можна побачити на рис. 2.9.



Рис. 2.9 Нутч-фільтр марки НФП-0.7-100 ПП

Основні технічні характеристики нутч-фільтра марки НФП-0.7-100ПП наведено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15

Технічні характеристики фільтра марки НФП-0.7-100 ПП

Параметр	Показник
Площа поверхні фільтрування, м ²	0,8
Приймач суспензії, л	200-300
Приймач фільтрату, л	350-400
Габаритні розміри, мм	1170×1280×1415
Вихід фільтрату, мм	50
Вага апарата, кг	150

6. Стрічкова сушарка моделі СВМ 3-1.2-10

Стрічкові сушарки, які виробляє компанія СІНОВАТТ ГІРМАШ, являють собою камери, всередині яких розташовані конвеєри, які забезпечені вентиляційним обладнанням [29].

Сушка продукту в них здійснюється чистим, нагрітим в парових або вогневих калорифери повітрям, температура якого залежить від виду матеріалу, що висушується продукту і вологості (рис.2.10)

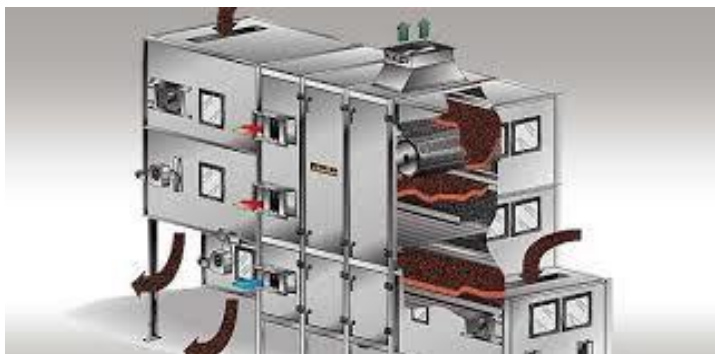


Рис. 2.10 Стрічкова сушарка моделі

Основні характеристики сушарки моделі SVM 3-1.2-10 наведені в наведені в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16

**Основні технічні характеристики стрічкової сушарки моделі
SVM 3-1.2-10**

Найменування параметра	Показник
Кількість камер	5×3
Ширина стрічки, м	1,2
Сушильна довжина, м	10×3
Температура, °С	50-140
Тиск пари, МПа	0,2-0,8
Кількість вентиляторів	17
Загальна потужність, кВт	37,4
Габарити, м	11,77×2,2×4,5
Вага, кг	5780×3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

7. Фасувальна машина НВП «Техноваги»

Досить оптимальним варіантом є фасувальна машина виробництва НВП «Техноваги», яка використовується для фасування сипучих продуктів у мішки від 1 до 50 кг [29].

Складається фасувальна машина з каркаса, вагового та підвісного бункерів, двох пневматичних заслінок, пневматичного притиску і пульта управління. Продукт гравітаційним методом подається у ваговий бункер. При досягненні потрібної дози подача крохмалю припиняється і на пульті управління загоряється відповідна індикація. Оператор встановлює порожній мішок для наповнення на патрубок та закріплює його притискним пристроєм. Кристали фумарової кислоти з вагового бункера пересипаються в мішки. Запаковані мішки падають на приймальний транспортер [31].

Допоміжним обладнанням може слугувати:

- *Шнековий транспортер*

Шнековий транспортер призначений для подачі сипучих продуктів. Шнековий транспортер забезпечує швидку подачу продукту на висоту до 3-х метрів. Шнековий транспортер оснащений бункером з мішалкою з незалежним приводом, яка дозволяє уникнути сводообразовани і зависання продукту. Робота транспортера в базовому виконанні регулюється на пульті управління. Шнековий транспортер може працювати як окреме обладнання або вбудовуватися в лінію. При встановленні в лінію його робота регулюється датчиками рівня. Всі деталі, що контактують з продуктом виготовлені з нержавіючої харчової сталі [28].

Перевагами є: універсальність (шнековий транспортер підходить для подачі широкого спектру продуктів); можливість вбудовування в лінію і автоматизації роботи; наявність сертифіката і санітарно-гігієнічного висновку.

- *Ковшовий транспортер*

Ковшовий транспортер – це вид конвеєрного обладнання, призначеного для безперервного транспортування сипучих, порошкоподібних, дрібнокускових

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

вантажів на певну висоту. Елеватор конвеєр, як його ще називають, має високі показники продуктивності при порівняно невеликій масі і потужності приводу.

Для транспортування вантажу використовуються спеціальні ковші, розмір, форма і конструкція яких залежить від характеристик матеріалів, що транспортуються. Вертикальний ковшовий елеватор може використовуватися як самостійне обладнання або бути складовою ланкою технологічної лінії [28, 30].

- **Вентилі запірні**

Основною задачею запірних вентилів є перекривання потоку рідини в трубопроводі без подальшого просочування. Головним елементом у вентелі виступає кран – це вид запірної арматури, у якому керування потоком здійснюється кутовим змішуванням отвором запірного пристрою навколо осі, що переважно перпендикулярна до осі наскрізного отвору пристрою. Такі вентилі призначені для роботи з газовими чи рідкими середовищами [28, 30].

Основні робочі параметри: матеріал чорний чавун, сталь та ковкий чавун; тиск 4 мПа, діаметр залежно від стадії становить 15-300 мм; межа робочої температури -10 до +450°C; виробник «ZETKAMA» [29].

- **Відцентрові насоси**

В об'ємних гідромашинах взаємообмін енергією між потоком рідини і робочими органами машини відбувається при навіперемінному заповненні робочої камери рідиною і витисненні її з робочої камери. При цій взаємодії відбувається в основному зміна потенціальної енергії рідини. Найбільше поширений із динамічних гідромашин є відцентровий лопатевий насоси.

- **Збірник**

Він являє собою резервуар, який не виконує ніяких технологічних процесів.

Призначення цього обладнання це накопичення певної кількості суміші для повного заповнення наступного апарату та на випадок виникнення аварійної ситуації.

Максимальний об'єм який може потрапити у збірник становить 1-2 тони.

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.6 Розрахунок реактора з паровою сорочкою з перемішуючим пристроєм

Апарати з перемішуючими пристроями є найбільш поширеним видом обладнання, що використовується в хімічній технології для проведення різних фізико-хімічних процесів. Найбільше значення в роботі апарата має тип і конструкція мішалки [28, 30].

Згідно з розрахованим матеріальним балансом виробництва фумарової кислоти для забезпечення технологічної операції каталітичної ізомеризації потрібен реактор з робочим об'ємом $V_p = 1.3 \text{ м}^3$. Реактор буде оснащений паровою сорочкою та турбінною мішалкою відкритого типу.

1. *Конструктивний розрахунок реактора полягає в визначенні розмірів апарата та його конструктивних елементів [32].*

Загальний обсяг апарату періодичної та безперервної дії завжди трішки більше робочого, тому що при перемішуванні на поверхні рідини може виникати воронка або відбуватися спінення реакційної маси.

Найчастіше загальний обсяг апарату приймається на 15 ÷ 30% більше робочого [32].

Тоді, загальний об'єм реактора $V_3 = 1.3 + (1.3 \times 0,3) = 1.69 \text{ м}^3$

Приймаємо діаметр реактора $D = 1100 \text{ мм}$.

За формулою 2.7 визначимо площу поверхні

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3.14 \times (1.1)^2}{4} = 0.94 \text{ м}^2 \quad (2.7)$$

Висота апарата згідно формули 2.8 буде дорівнювати:

$$H = \frac{V}{S} = \frac{1.69 \text{ м}^3}{0.94 \text{ м}^2} = 1.8 \text{ м} \quad (2.8)$$

Висоту стовпа рівня рідини в реакторі знаходимо за співвідношенням:

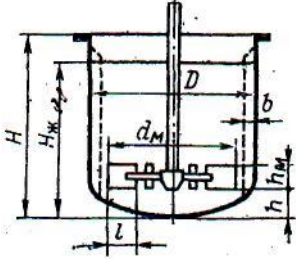
$$\frac{H_p}{H} = 0.75 - 0.85$$

$$H_p = 1800 \times 0.75 = 1350 \text{ мм}$$

Згідно з обраним типом перемішуючого пристрою визначають розміри мішалки за співвідношеннями, що наведені в таблиці 2.17.

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежність розмірів від типу мішалки

Тип мішалки	Основні параметри
<p>Турбінна</p> 	$D/d_M=3\div 4;$ $h_M/d_M=0,2;$ $h/d_M=0,4\div 1;$ $l/d_M=0,25;$ $b/d_M=0,1;$ $\xi_M=8,4$

1. $d_M: 1100 \times 0.3 = 330 \text{ мм}$

2. $h_M: 330 \times 0.2 = 66 \text{ мм}$

3. $l: 330 \times 0.25 = 82.5 \text{ мм}$

4. $h_1: 330 \times 0.5 = 165 \text{ мм}$

5. $d_1: 330 \times 0.65 = 214.5 \text{ мм}$

6. $b: 1100 \times 0.08 = 88 \text{ мм}$

Кількість лопатей z_1 та перегородок z_2 дорівнює 6 та 4 відповідно.

2. Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування

➤ Потужність, що витрачається на перемішування визначають за формулою:

$$N = K_N \cdot \rho_p \cdot n^3 \cdot d_M^5, \text{ Вт} \quad (2.9)$$

де K_N – коефіцієнт потужності, який знаходять за графіком наведеним на рис. 2.12.

ρ - густина реакційного маси, кг/м^3 ;

n - частота обертів мішалки, с^{-1} ;

d_M – діаметр мішалки.

➤ В даному випадку, густина реакційного середовища становить 1350 кг/м^3 , а частота обертів мішалки буде дорівнювати 150 об/хв або 3 с^{-1} .

➤ Визначаємо критерій Рейнольдса:

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

$$N_{\text{ущ}} = 4d_e^2 \cdot n \cdot \delta_H \cdot p \cdot \exp\left(0,2 \cdot \frac{h_H}{\delta_H} - 1\right) \cdot f_{\text{тр}}, \text{ Вт} \quad (2.14)$$

де $f = 0,08 \div 0,12$ – коефіцієнт тертя;

p – надлишковий тиск в апараті, Па;

n – частота обертання мішалки, с^{-1} .

$\delta_H = (0.04 - 0.05)d_B^{0.5}$ товщина сальникової набивки, м;

$h_H = (3 - 5)d_B^{0.5}$ висота сальникової набивки, м.

➤ Товщина сальникової набивки буде дорівнювати:

$$\delta_H = 0.04 \times (0.04)^{0.5} = 0.008 \text{ м} \quad (2.15)$$

➤ Висота сальникової набивки:

$$h_H = 3 \times (0.04)^{0.5} = 0.6 \quad (2.16)$$

$$N_{\text{ущ}} = 4 \times (0.04)^2 \times 3 \times 0.008 \times 10 \times \exp\left(0.2 \times \frac{0.6}{0.008} - 1\right) \times 0.08 = 148 \text{ Вт}$$

Потужність привода мішалки визначають за формулою 2.15

$$N_{\text{ел}} = \frac{k_1 \times k_2 \times N + N_c}{\eta}, \quad (2.17)$$

де $k_1 = H_p/D$ – коефіцієнт, що враховує заповнення ємності перемішувальною рідиною; H_p – висота рідини в ємності, м; D – діаметр ємності, м.

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення потужності при пуску, або підвищенні опору середовища в процесі перемішування, здебільшого приймається $k_2=1$;

N – потужність, що затрачується на перемішування;

N_c – потужність, що втрачається в сальниках;

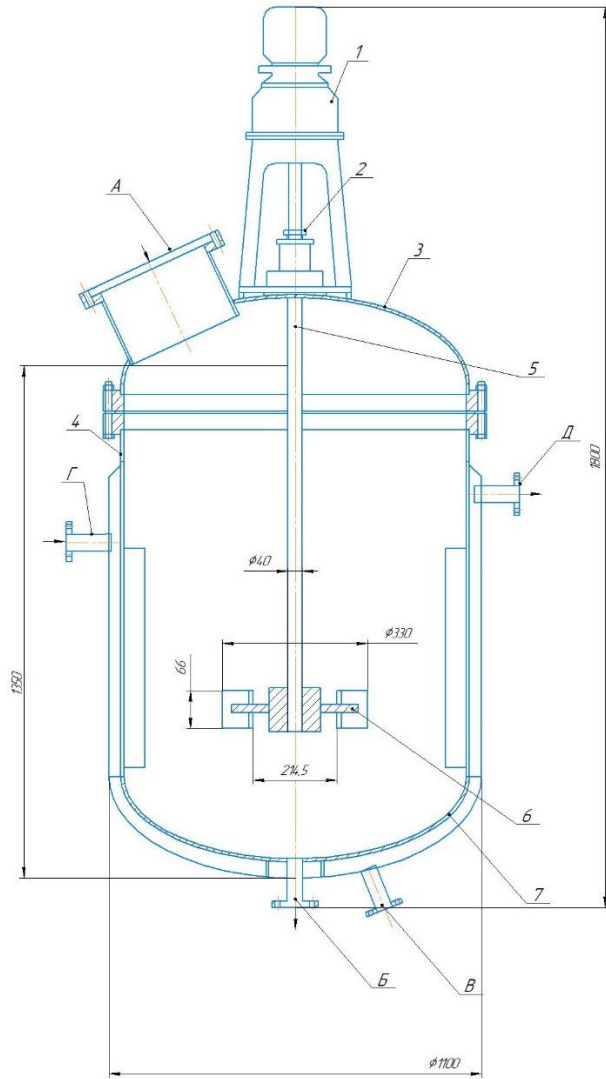
$\eta = 0.85 - 0.9$ – коефіцієнт корисної дії приводу.

Згідно формули 2.15 потужність привода мішалки буде дорівнювати:

$$N_{\text{ел}} = \frac{1,22 \times 1 \times 1279 + 148}{0,85} = 2010 \text{ Вт} = 2,01 \text{ кВт} \quad (2.18)$$

Креслення реактору з турбінною мішалкою відкритого типу за порохованими технічними характеристиками, представлене на рис. 2.12.

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таблиця патрубків

Позн.	Назва	Кіл.	Примітка
А	Забантаження компонентів	1	
Б	Вихід продукту	1	
В	Злив конденсату	1	
Г	Вхід теплоносія	1	
Д	Вихід теплоносія	1	

Технічна характеристика

1	Номінальний об'єм	169 м ³
2	Робочий об'єм	13 м ³
3	Густина робочого середовища	1350 кг/м ³
4	Температура в апараті	100°C
5	Площа теплообміну	5.9 м ²
6	Потужність електродвигуна мішалки	2.01 кВт
7	Частота обертання вала мішалки	3 с ⁻¹
8	Габаритні розміри	2550×2050×4.235

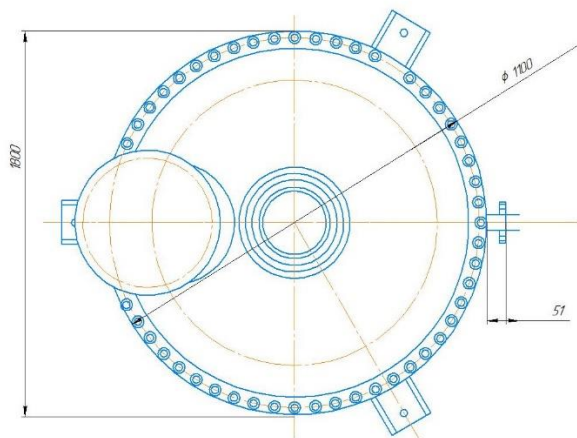


Рис. 2.12 Реактор з турбінною мішалкою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Арк.

61

2.7 Опис апаратурно-технологічної схеми

Апаратурно-технологічну схему зображено на рисунку 2.13.

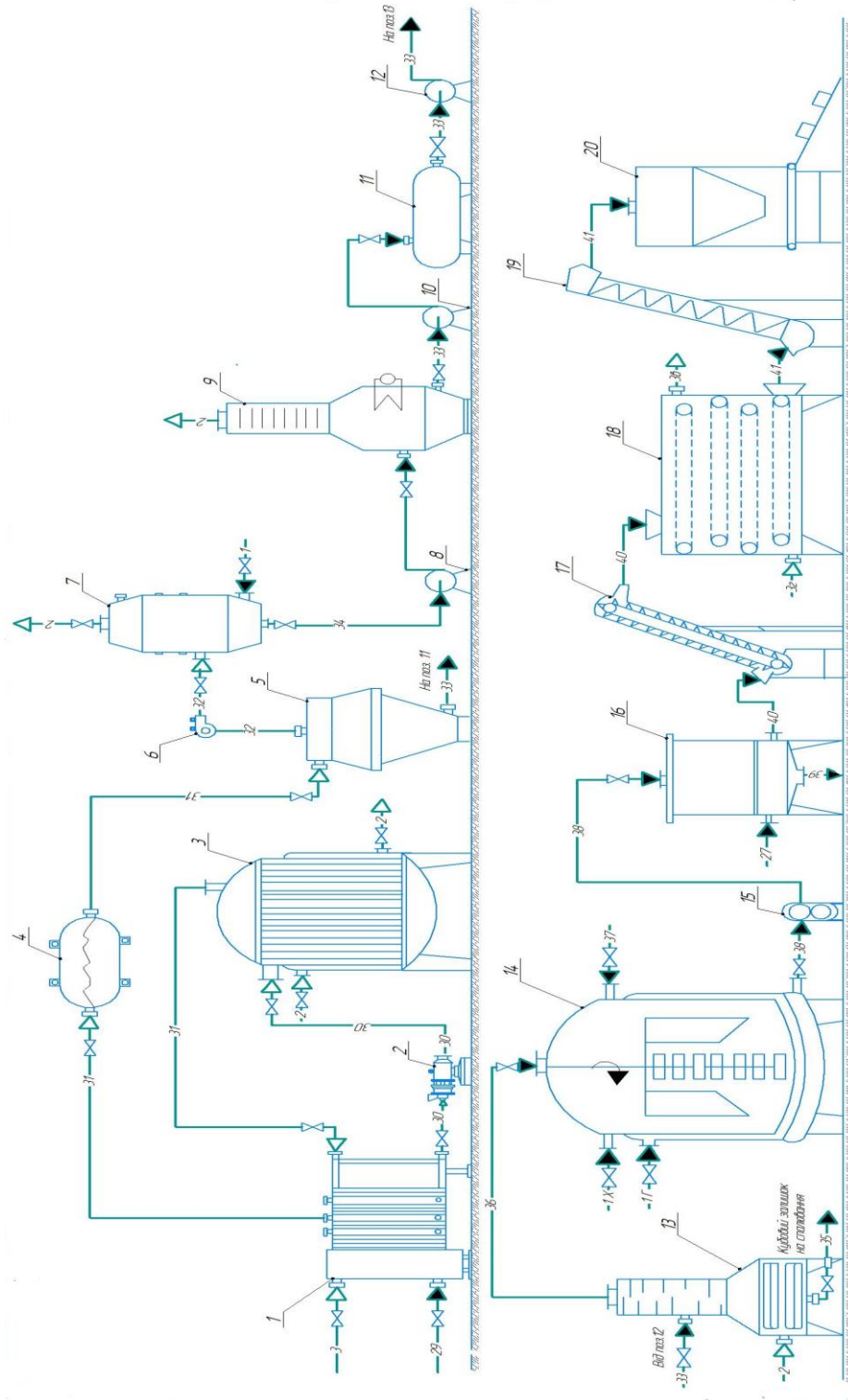


Рис.2.13 Апаратурно-технологічна схема отримання фумарової кислоти

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Бензоло-повітряна суміш подається у теплообмінник **1**, де підігрівається до температури 100°C. За допомогою насосу **2** вона надходить контактного апарату **3**, де піддається каталітичному окисненню за температури 350-400 °C та тиску 0,3-1 МПа. Продукти реакції та контактні газу потрапляють в теплообмінник **1**, холодильник **4** та конденсатор-сепаратор **5**, де відбувається конденсація більшої частини малеїнового ангідриду.

Газу, що містять залишкову кількість малеїнового ангідриду та інші продукти реакції витяжним вентилятором **6** надходять у скруббер Вентурі **7**, де піддаються мокрій очистці. Утворений 40 % розчин малеїнової кислоти насосом **8** подається в дегідратор **9**, де проходить процес дегідратації при 140°C.

Малеїновий ангідрид, отриманий на стадії конденсації насосом **10** подається в збірник **11**, де накопичується разом з ангідридом, утвореним на стадії дегідратації.

Малеїновий ангідрид-сирець подається в ректифікаційну колону **13**, де він піддається процесу ректифікації при температурі 140-160°C. Кубовий залишок видаляється на спалювання.

Отриманий чистий малеїновий ангідрид надходить до реактора-змішувача **14**, де змішується з водою. Відбувається ізомеризація утвореної малеїнової кислоти у фумарову. При цьому утворений білий кристалічний осад фумарової кислоти прямує до фільтру **16**. Фільтрування проводять при температурі 50°C, в результаті чого отримують чисті вологі кристали фумарової кислоти, а фільтрат видаляється.

Відфільтровані кристали за допомогою ковшового транспортера **17** потрапляють до стрічкової сушарки **18**, де відбувається процес сушіння за температури 65-75°C.

Висушені кристали фумарової, які опускаються у нижню частину сушарки потрапляють до шнекового транспортера **19**.

За допомогою нього висушений продукт потрапляє до фасувальної машини **20**, в якій готовий продукт фасується і потрапляє на склад, де чекає подальшої реалізації.

					<i>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ III ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

За допомогою розрахунку калькуляції собівартості виробництва визначається доцільність цього процесу [43].

Таблиця 3.1

Потреба в сировині та матеріалах на 1000 кг виробництва

Сировина та матеріали	Одиниця виміру	Норма витрат на 1000 кг	Ціна одиниці сировини, грн	Сума, грн/1000 кг
Бензол	кг	780	55	42900
Вода очищена	кг	350	0,023	8.05
Ванадієво-молібденовий каталізатор	кг	1000	75	75000
Тіомочевина		150	55	8250
Всього			126158	

Загалом, витрати на сировину та основні матеріали для виготовлення 1000 кг фумарової кислоти становлять 126158 грн.

Транспортно-заготівельні витрати на сировину та основні матеріали приймаємо в розмірі 5 %, що складають:

$$126158 * 0,05 = 6308 / 1000 \text{ кг}$$

Отже, загалом витрати становлять:

$$126158 + 6308 = 132466 / 1000 \text{ кг.}$$

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.064.КР.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	<i>Білим А.О.</i>				ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	<i>Бойчук Т.М.</i>						64	92
Реценз.						<i>НУХТ,</i>		
Н. Контр.	<i>Подобій О.В.</i>					<i>Каф.ТЖХТ</i>		
Затверд.	<i>Носенко Т.Т.</i>							

Енерговитрати на виробництво фумарової кислоти масою 1000 кг складають 1650 кВт. Відповідно постанови Кабінету Міністрів України ціна за електроенергію в 2021 році складає 1,68 грн. (з ПДВ) за 1 кВт/год. незалежно від об'єму споживання.

Отже, вартість витрат за спожиту електроенергію при виробництві сахарину складає:

$$1650 \times 1,68 = 2772 \text{ грн}$$

Фактичний обсяг виробництва розраховується за формулою 3.1:

$$P_{\text{факт}} = P_{\text{доб}} \times K_{\text{вик}} \quad (3.1)$$

де $K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання потужності (нормативне значення 0,8).

Фактичний добовий обсяг виробництва фумарової кислоти дорівнює:

$$P_{\text{факт}} = 1000 \times 0,8 = 800 \text{ кг}$$

Річний обсяг виробництва розраховується за формулою 3.2:

$$O = P_{\text{факт}} \times K_{\text{д.р.}} \quad (3.2)$$

де $K_{\text{д.р.}}$ – кількість робочих днів лінії виробництва

Тоді річний обсяг виробництва фумарової кислоти складе:

$$O = 800 \times 255 = 204000 \text{ кг}$$

Наступним етапом є розрахунок основної заробітної платні працівників.

За одну добу випускають 1000 кг готового продукту фумарової кислоти. Тривалість зміни на виробництві становить 12 год., кількість робочих днів – 255 (враховуючи свята та вихідні дні).

Так як, виробництво працює цілодобово, то деякі робітники працюють в 2 зміни: I зміна – 6³⁰-18³⁰, II зміна – 18³⁰-6³⁰.

За роботу у нічний час (з 22⁰⁰-6⁰⁰) встановлено доплату в розмірі 25% годинної тарифної ставки за кожну годину роботи.

Тарифні ставки для працівників різного розряду розраховують множенням ставки працівника I-го розряду на відповідний тарифний коефіцієнт. Згідно з чинним законодавством про державний бюджет на 2021 рік, мінімальна зарплата

					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

становить 6000 грн. Тарифний коефіцієнт для працівників II розряду складає – 1,09, для III —1,18, для IV – 1,27, для VIII – 1,64.

Заробітна плата для працівника I-го розряду, враховуючи мінімальну заробітну плату, буде становити:

$$6000 / 160 = 37,5 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника IIго розряду I зміни становитиме:

$$37,5 \times 1,09 = 40,88 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника IIIго розряду I зміни складе:

$$37,5 \times 1,18 = 44,25 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника IVго розряду I зміни складе:

$$37,5 \times 1,27 = 47,63 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника VIII-го розряду складе:

$$37,5 \times 1,64 = 61,5 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата працівника I-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе:

$$37,5 \times 1,25 = 46,88 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата працівника II-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе:

$$40,88 \times 1,25 = 51,1 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата працівника III-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну дорівнюватиме:

$$44,25 \times 1,25 = 53,3 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата працівника IV-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе:

$$47,63 \times 1,25 = 59,54 \text{ грн/год}$$

					<i>ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основна заробітна плата працівників, які працюють за погодинною системою оплати праці наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Основна заробітна плата працівників, що працюють за погодинною системою оплати праці

Назва посади	К-ість	Розряд працівника	К-ість год/день	Заробітна плата 1 працівника, грн/зміну	Заробітня плата працівників зміни, грн/зміна
Інженер-технолог	1	VIII	12	700	700
Апаратник 1 зміна	7			551,5	3860,5
II зміна	7	IV	12	711,48	4980,36
Оператор лінії 1 зміна	2 2	II	12	490,56 613,2	981,12 1226,4
Підсобний робітник 1 зміна	3	I	12	430	1290
2 зміна	3			542,56	1627,68
Всього	25				14666

Отже, основна заробітна плата всіх працівників за добу складає 14666 грн.

Необхідно зазначити те, що на підприємстві передбачена додаткова заробітна плата, в якості винагороди за працю понад установлені норми за трудові успіхи та за особливі індивідуальні умови праці. Вона складає 30 % від основної заробітної плати.

Обов'язковий платіє ЄСФ – Єдиний соціальний внесок приймаємо як 22% від основної заробітної плати.

Додаткова заробітна плата та сума ЄСФ наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Додаткова заробітна плата та відрахування до ЄСФ

Показник	Відсоток, %	Сума, грн/зміну
Додаткова заробітна плата	30 %	4399,8
Відрахування до ЄСФ	22 %	3226,5

Отже, витрати на додаткову заробітну плату складають 4399,8 грн/зміну, а відрахування до ЄСФ –3226,5 грн/зміну.

На обслуговування та утримування виробничого обладнання витрати складають 150 % від основної заробітної плати:

$$14666 \times 1,5 = 21999 \text{ грн/зміну}$$

Витрати, що пов'язані з підготовкою та освоєнням виробництва продукції складають 10 % від основної заробітної плати (ОЗП):

$$14666 \times 0,1 = 1466,6 \text{ грн/зміну}$$

Загальновиробничі витрати будуть становити 200 % від ОЗП:

$$14666 \times 2 = 29332 \text{ грн/зміну}$$

Виробнича собівартість буде становити:

$$132466+2772 + 14666 + 4399,8+ 3226,5 + 21999 + 1466,6+ 29332 =210328 \text{ грн}$$

					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сума адміністративних витрат складає 1,5 % від виробничої собівартості:

$$210328 \times 0,015 = 3155 \text{ грн/зміну}$$

Витрати на збут складають 2 % від виробничої собівартості:

$$210328 \times 0,02 = 4206,5 \text{ грн/зміну}$$

Всі інші операційні витрати складають 1% від виробничої собівартості:

$$210328 \times 0,01 = 2103,2 \text{ грн/зміну}$$

Отже, повні втрати складають:

$$210328 + 3155 + 4206,5 + 2103,2 = 219793 \text{ грн/зміну}$$

Повні витрати на виробництво за рік будуть становити:

$$219793 \times 255 = 56047139 \text{ грн}$$

Рентабельність виробництва становить 10%, отже прибуток буде складати:

$$56047139 \times 0,1 = 5604713,8 \text{ грн}$$

Загальна сума, без урахування ПДВ дорівнює:

$$56047139 + 5604713,8 = 61651852,8 \text{ грн}$$

ПДВ складає 20%:

$$61651852,8 \times 0,2 = 12330370,6 \text{ грн}$$

Загальна сума, з урахуванням ПДВ буде складати:

$$61651852,8 + 12330370,6 = 73982223 \text{ грн}$$

Розрахуємо вартість 1 кг товарної фумарової кислоти:

$$73982223 / (1000 \times 255) = 290 \text{ грн}$$

Враховуючи середньоринкову вартість фумарової кислоти, що становить 150-350 грн/кг, можна сказати, що даний отриманий продукт має доволі прийнятну вартість серед представленого цінового сегменту.

Вироблена продукція буде відрізнятися гарантовано високою якістю, досить високим ступенем чистоти та ринковою доступністю.

					<i>ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Фумарова кислота має бути виготовлена відповідно до вимог стандарту ГОСТ 33269-2015 за технологічним регламентом, затвердженим в установленому порядку [33].

Цей стандарт поширюється на харчову добавку E297, що представляє собою фумарову кислоту, яка призначена для використання в харчовій промисловості як регулятор кислотності харчових продуктів.

Показники технічного рівня, встановлені цим стандартом, передбачені для вищої категорії якості. За органолептичними та фізико-технічними показниками повинна відповідати вимогам і нормам, зазначеним у таблиці 4.1

Таблиця 4.1

Органолептичні та фізико-хімічні показники якості фумарової кислоти

№ пок.	Назва показника	Один. вимір	Норма
1	2	3	4
1	Зовнішній вигляд, колір	-	Кристалічний білий порошок або гранули
2	Запах	-	Без запаху
3	Масова частка основної речовини	%	99,0
4	Температура плавлення	°C	286-302

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.070.КР.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Білим А.О.</i>			ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Бойчук Т.М.</i>					70	92
Реценз.						<i>НУХТ, Каф.ТЖХТ</i>		
Н. Контр.		<i>Подобій О.В.</i>						
Затверд.		<i>Носенко Т.Т</i>						

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
6	Масова доля втрат при сушінні	%	0,5
7	Масова частка сульфатної золи	%	0,1
8	Масова частка малеїнової кислоти	%	0,1
9	Тест на 1,2-дикарбонову кислоту	-	Витримує випробування
10	Тест на подвійний зв'язок	-	Витримує випробування

Щоб отримана фумарова кислота ГОСТ 33269-2015 відповідала усім показникам якості зазначених в стандарті проводять відповідні методи аналізу.

Правила взяття проби

Зазначимо правила взяття проб для перевірки фумарової кислоти за ГОСТ 33269-2015 [33].

Для складання сумарної проби харчової фумарової кислоти з різних місць кожної пакувальної одиниці, що потрапила у вибірку, відбирають миттєві проби за допомогою пробовідбірника (щупа), занурюючи його не менше, ніж на 3/4 глибини. Маса миттєвої проби повинна бути не більше 100 г. Миттєві проби поміщають в суху чисту скляну або полімерну ємність і ретельно перемішують.

Рекомендована маса сумарної проби повинна бути не менше 500 г.

При необхідності зменшення сумарної проби може бути використаний метод квартування.

Для цього сумарну пробу висипають на чистий стіл і розрівнюють тонким шаром у вигляді квадрата. Потім її дерев'яними планками зі скошеними ребрами зсипають з двох протилежних сторін на середину так, щоб утворився валик.

Сумарну пробу з кінців валика також зсипають на середину, знову розрівнюють у вигляді квадрата товщиною шару від 1 до 1,5 см і планкою ділять по діагоналі на чотири трикутника. Дві протилежні частини проби відкидають, а дві залишилися з'єднують, перемішують і знову ділять на чотири трикутники. Операцію повторюють стільки разів, скільки, при цьому тривалість процедури квартування повинна бути мінімальною. Підготовлену сумарну пробу ділять на дві рівні частини, які поміщають в чисті, сухі скляні або полімерні ємності.

Ємність з першою частиною сумарної проби направляють в лабораторію для проведення аналізів. Ємність з другою частиною проби опечатують, пломбують і зберігають для повторного контролю в разі виникнення розбіжностей в оцінці якості та безпеки харчової фумарової кислоти.

Рекомендований термін зберігання проби при температурі від 18°C до 25°C та відносній вологості 70% - два роки.

Перевірка показників якості:

1) Визначення органолептичних показників

Метод заснований на органолептичному аналізі зовнішнього вигляду, кольору і запаху харчової фумарової кислоти [28].

2) Визначення масової частки основної речовини

Метод заснований на нейтралізації кислоти розчином гідроксиду натрію в присутності фенолфталеїну.

У попередньо зваженому скляному стакані місткістю 100 см зважують аналізовану пробу харчової фумарової кислоти масою 1 г із записом до третього десяткового знака, потім кількісно переносять в конічну колбу місткістю 250 см і розчиняють в 50 см метанолу і нагрівають на водяній бані до повного розчинення. Охолоджують, додають дві-три краплі розчину фенолфталеїну і титрують розчином гідроксиду натрію до появи слабкого рожевого забарвлення, яке не зникає протягом 1 хв [33].

					<i>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ</i>	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Масову частку фумарової кислоти X_1 , %, обчислюють за формулою 4.1:

$$X_1 = \frac{V \times K \times 0,002902 \times 100}{m} \quad (4.1)$$

де V – об'єм розчину гідроксиду натрію молярної концентрації c (NaOH) = 0,5 моль/дм, витрачений на титрування, см;

K – коефіцієнт поправки розчину гідроксиду натрію молярної концентрації c (NaOH) = 0,5 моль/дм;

0,002902 – еквівалентна маса фумарової кислоти, що відповідає 1 см розчину гідроксиду натрію молярної концентрації c (NaOH) = 0,5 моль / дм, г;

100 – коефіцієнт перерахунку на відсотки;

m – маса аналізованої проби, г.

Обчислення проводять до другого десяткового знака.

3) Визначення рН 3,3% -ного водного розчину

Метод заснований на визначенні показника активності іонів водню розчинів харчової фумарової кислоти з масовою часткою 3,3% шляхом вимірювання рН за допомогою рН-метра зі скляним електродом.

Пробу харчової фумарової кислоти масою ($1,000 \pm 0,001$) г, поміщають в стакан місткістю 100 см і розчиняють в 30 см дистильованої води температурою (90 ± 5) °С, яка не містить вуглекислоти, ретельно перемішують, охолоджують, занурюють електроди рН-метра в розчин і вимірюють рН розчину при температурі (20 ± 2) °С [33].

Показання рН-метра визначають відповідно до інструкції до приладу.

Результати записують до другого десяткового знака.

4) Визначення масової частки втрат при висушуванні

Метод заснований на здатності фумарової кислоти звільнитися від летких речовин при температурі (120 ± 1) °С. Масову частку втрат визначають по різниці в масі харчової фумарової кислоти до та після висушування [33].

Чистий порожній стаканчик для зважування сушать разом з кришкою у відкритому вигляді при температурі (105 ± 1) °С в сушильній шафі до постійної маси. Маса вважають постійною, якщо різниця між двома послідовними

					<i>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

зважуваннями не перевищує 0,0005 г. У разі збільшення маси беруть дані попередніх зважувань.

Аналізовану пробу харчової фумарової кислоти масою 2 г із записом результату зважування до четвертого десяткового знака поміщають у відкритому вигляді разом з кришкою в сушильну шафу і сушать при температурі $(120 \pm 1)^\circ \text{C}$ протягом 4 год. Після цього стаканчик швидко закривають кришкою і охолоджують в ексікаторі до кімнатної температури та зважують [33].

Масову частку втрат при висушуванні харчової фумарової кислоти X_2 , %, обчислюють за формулою 4.2:

$$X_2 = \frac{(m-m_1) \times 100}{m-m_2} \quad (4.2)$$

де m – маса сухого стаканчика з аналізованою пробою до висушування, г;

m_1 – маса стаканчика з аналізованою пробою після висушування, г;

m_2 – маса сухого стаканчика, г;

100 – коефіцієнт перерахунку результату в відсотки.

Обчислення проводять із записом результату до третього десяткового знака.

5) Визначення масової частки сульфатної золи

Метод заснований на визначенні вогнетривкого залишку у вигляді сульфатів після прожарювання фумарової кислоти при температурі $(750 \pm 50)^\circ \text{C}$, попередньо обробленою сірчаною кислотою.

Фарфоровий тигель прожарюють в муфельній печі при температурі $(750 \pm 50)^\circ \text{C}$ протягом 2-3 год. Після цього тигель охолоджують в ексікаторі над хлористим кальцієм протягом 30 хв і зважують із записом результату до четвертого десяткового знака. Прожарювання повторюють до постійної маси, поки розбіжність між двома повторними зважуваннями тигля (після охолодження) складе не більше 0,0005 г.

У попередньо прожарений до постійної маси тигель зважують 3 г аналізованої проби харчової фумарової кислоти. Пробу фумарової кислоти в тиглі змочують від 0,5 до 1,0 см сірчаної кислоти і, обережно нагріваючи на

					<i>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ</i>	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроплитці, обзолують до білого з сіро-рожевим відтінком кольору. Потім прокалюють при температурі $(750 \pm 50)^\circ \text{C}$ в муфельній печі протягом 2 годин [33].

Після прожарювання тигель охолоджують в ексикаторі над хлористим кальцієм протягом 30 хв і зважують із записом результату до четвертого десяткового знака. Прожарювання повторюють до тих пір, поки розбіжність між двома повторними зважуваннями складе не більше 0,0005 г [33].

Масову частку сульфатної золи $X_3, \%$, обчислюють за формулою 4.3

$$X_3 = \frac{(m_2 - m_1) \times 100}{m} \quad (4.3)$$

де m – маса аналізованої проби фумарової кислоти, г;

m_1 – маса порожнього тигля, г;

m_2 – маса тигля із золою, г;

100 – коефіцієнт перерахунку масової частки сульфатної золи в відсотки.

Обчислення проводять до третього десяткового знака.

За остаточний результат аналізу приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, округлене до другого десяткового знака.

б) Визначення масової частки малеїнової кислоти полярографічним методом

Метод заснований на різній здатності ненасичених карбонових кислот відновлюватися на ртутному катоді при електролізі. Зміна потенціалу ртутно-крапельного електрода в залежності від проходить через розчин електричного струму реєструється у вигляді вольтамперних кривих, які називаються полярограмами.

Електролітичний осередок (електролізер) промивають 2-3 порціями аналізованого розчину, а потім заповнюють його цим розчином і доводять температуру до значення в діапазоні від $24,5^\circ \text{C}$ до $25,5^\circ \text{C}$, додають дві краплі розчину желатину, видаляють повітря шляхом пропускання азоту через розчин не менше 5 хв.

					<i>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ</i>	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поміщають в електролітичний осередок ртутно-крапельний електрод, що підходить для полярографа, регулюють чутливість струму в міру необхідності, записують полярограму при потенціалі від мінус 1,05 до мінус 1,70 В зі швидкістю 0,1 В / хв, з використанням насиченого каломелевого електрода як електроду порівняння.

Полярограму розчину порівняння отримують аналогічно процедурі отримання полярограми аналізованого розчину. На зареєстрованих самописцем полярограмах, лінійкою вимірюють висоту піку, відповідного потенціалу полярографічної хвилі відновлення малеїнової кислоти, що дорівнює мінус 1,33 В.

Масову частку малеїнової кислоти в пробі X_4 , %, обчислюють за формулою:

$$X_4 = \frac{V C [i_u - i_5]}{1000m} \times 100 \quad (4.4)$$

де V – об'єм аналізованого розчину, поміщений в електролізер, см;

C – масова концентрація малеїнової кислоти в розчині порівняння, г/дм;

i_u – висота хвилі відновлення малеїнової кислоти в уже згадуваному розчині по полярограмі, мм;

i_5 – висота хвилі відновлення малеїнової кислоти в розчині порівняння по полярограмі, мм;

1000 – коефіцієнт перерахунку в см;

m – маса аналізованої проби по 6.8.5.7, г;

100 – коефіцієнт перерахунку на відсотки [28].

7) Тест на 1,2-дикарбонову кислоту

Метод заснований на флюоресценції розчину в ультрафіолетовому випромінюванні при взаємодії (реакції) дикарбонових кислот з азобарвниками.

Аналізовану пробу харчової фумарової кислоти масою $(0,050 \pm 0,001)$ г і резорцин масою $(0,0025 \pm 0,0005)$ г поміщають в пробірку, додають 1 см сірчаної кислоти, нагрівають в сушильній шафі при (130 ± 2) °С протягом 5 хв і охолоджують до температури (20 ± 2) °С.

					<i>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Додають піпетками 5 см дистильованої води, 2-3 краплі розчину фенолфталеїну і по краплях розчин гідроксиду натрію до появи слабкого рожевого забарвлення, яке не зникає протягом 1 хв. Розчин охолоджують до температури повітря (20 ± 2) ° С, доводять об'єм розчину до 10 см та поміщають під ультрафіолетову лампу. Розчин повинен флюоресціонувати синьо-зеленим кольором, що підтверджує наявність в аналізованій пробі 1,2-дикарбонової кислоти [33].

8) Тест на подвійний зв'язок

Метод заснований на знебарвленні бромну речовинами, що містять подвійні зв'язки.

Аналізовану пробу харчової фумарової кислоти масою ($0,020 \pm 0,001$) г поміщають в пробірку та додають піпеткою 1 см бромної води. Зникнення такого забарвлення після збовтування вмісту пробірки підтверджує наявність подвійних зв'язків [33].

					<i>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Охорона праці на підприємстві

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [34].

Прийнятий постановою Верховної Ради України закон «Про охорону праці» від 21 листопада 2002 року визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону праці, їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності. Також регулює за участю відповідних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні [35].

Охорона праці водночас вирішує два основних завдання.

Одне з них – інженерно-технічне – передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом [24].

- заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними,
- переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання,
- проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці,
- розробки засобів індивідуального та колективного захисту.

Друге – соціальне, пов'язане з відшкодуванням матеріальної, моральної чи соціальної шкоди, завданої внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання, тобто це захист працівника та його прав [34].

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.078.КР.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Білим А.О.</i>			<i>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Бойчук Т.М.</i>					78	92
Реценз.						<i>НУХТ,</i>		
Н. Контр.		<i>Подобій О.В.</i>				<i>Каф.ТЖХТ</i>		
Затверд.		<i>Носенко Т.Т.</i>						

Виходячи з поставлених перед нею завдань, охорона праці, ґрунтуючись на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки.

Структурно охорона праці включає у себе:

- правові та організаційні основи охорони праці;
- фізіологію, гігієну праці та виробничу санітарію;
- виробничу безпеку;
- пожежну безпеку та профілактику на виробництві.

З наведеної на рисунку 5.1 структурної схеми охорони праці зрозуміло, що правові та організаційні основи охорони праці є тією базою, яка забезпечує соціальний захист працівників і на яких будуються санітарно-гігієнічна та інженерно-технічна складова охорони праці.



Рис. 5.1 Структурна схема охорони праці

Процеси виробництв хімічної промисловості часто є вибухо- та пожежонебезпечними, що відбуваються при високих температурах та тиску; а речовини, що використовуються та супровідні продукти, що потрапляють в робочу зону можуть бути шкідливими та високотоксичними [36].

Тому доцільно проаналізувати небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час реалізації технологічного процесу виробництва фумарової кислоти, а також визначимо та обґрунтуємо заходи щодо охорони та захисту обслуговуючого персоналу, які будуть гарантувати безпечні умови та достатньо високу продуктивність праці.

Основні небезпечні та особливо шкідливі виробничі фактори : незадовільний мікроклімат в приміщенні; барометричний тиск; постійні електричні поля і випромінювання; небезпечні іонізуючі випромінювання; високий рівень промислових шумів та вібрацій (місцева або загальна); недостатнє природне або технічне освітлення в робочих приміщеннях [38].

Було здійснено аналіз і оцінку небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що зустрічаються в умовах технологічного процесу, які представлені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

№ поз.	Шкідливі та небезпечні фактори	Ризики	Тяжкі наслідки	Нормативний регламент
1	2	3	4	5
1	Підвищена температура робочої зони	Негативно впливає на загальне самопочуття та здоров'я людини	Втрата свідомості, серцево-судинні захворювання	Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99
2	Понижена температура робочої зони	Переохолодження, застуда та інший негативний вплив на самопочуття та здоров'я людини	Бронхіти, пневмонія	Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
3	Недостатня освітленість робочого місця	Втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці	Небезпека помилкових дій, нещасних випадків, порушення роботи органів зору	ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
4	Надмірна освітленість робочого місця	Втомлює очі; сприяє відблискам	Може спричинити головні болі, розлад гостроти зору	ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
5	Підвищені значення напруги в електричній мережі	Призводить до пошкоджень організму людини.	Термічна дія: опіки окремих ділянок тіла, кровоносних судин, нервів	НПАОП 40.1-1.3201. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

Загальні вимоги до виробничих процесів регламентуються ДСТУ 3273-95 [40].

Вони передбачають:

- усунення безпосереднього контакту працівників з вихідними матеріалами, заготовками, напівфабрикатами, готовою продукцією та відходами виробництва, котрі справляють небезпечну дію;
- заміну технологічних процесів та операцій, пов'язаних з виникненням небезпечних та шкідливих виробничих факторів, операціями при виконанні яких ці фактори відсутні або мають меншу інтенсивність;
- комплексну механізацію та автоматизацію виробництва;
- застосування дистанційного керування технологічними процесами та операціями за наявності небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- герметизацію обладнання;
- застосування засобів колективного захисту працівників;
- раціональну організацію праці та відпочинку з метою профілактики монотонності або гіподинамії, а також зниження важкості праці;
- своєчасне отримання інформації про виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів на окремих технологічних операціях;
- запровадження систем керування технологічними процесами, котрі забезпечують захист працівників та аварійне вимкнення;
- своєчасне видалення та знешкодження відходів виробництва, котрі є джерелами небезпечних і шкідливих виробничих факторів;
- забезпечення пожежо- та вибухобезпеки.

Тобто, дане підприємство має задовольняти всі вимоги ДСТУ.

На підприємстві має проводитися планування заходів по охороні праці, розроблятися питання соціального характеру, які використовуються при заключенні трудових договорів. Крім цього, впроваджуються системи управління охорони праці та оперативного контролю [35].

Власник підприємства на основі актів по формі Н-1 організує складання звіту про потерпілих по формі, що затверджена Мінстатом та направляє його у

					<i>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановленому порядку у відповідні організації. Керівник зобов'язаний проаналізувати причини нещасних випадків, розробляти і здійснювати заходи по попередженню виробничого травматизму і професійних захворювань [35].

Працівники, які працюють на роботах зі шкідливими та небезпечними умовами праці, а також на роботах пов'язаних з забрудненням або здійснюваних у несприятливих температурних умовах, безкоштовно забезпечуються спеціальним одягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту за встановленими нормами [38].

Для підтримання необхідної температури, вологості і швидкості переміщення повітря, ступені його чистоти у відповідності з санітарними нормами застосовують витяжну вентиляцію.

Стан освітлення виробничих приміщень відіграє важливу роль і для попередження виробничого травматизму. Освітлення на підприємстві виробництва фумарової кислоти має бути раціональним і відповідати нормам чинного законодавства [37].

На підприємстві застосовується природне та штучне комбіноване освітлення, яке складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а якщо необхідно створити певний або змінний в процесі роботи напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

На даному виробництві слід дотримуватися головних технічних засобів і заходів забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок:

- ізоляцію струмовідних частин;
- недоступність струмовідних частин;
- засоби орієнтації в електроустановках;
- захисне розділення електричних мереж;
- компенсацію ємнісних струмів замикання на землю.

Чинниками виробничого середовища, які впливають на небезпеку ураження людини електричним струмом, є температура повітря в приміщенні, вологість повітря, запиленість повітря, наявність в повітрі хімічно-активних домішок тощо [34, 39].

Основні організаційно-технічні заходи та засоби щодо попередження електротравм регламентуються ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, за якими відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладається на власника [35].

Згідно з чинними вимогами, власник підприємства зобов'язується:

- призначити відповідального за справний стан і безпечну експлуатацію електроустановок;
- створити і укомплектувати відповідно до потреб електротехнічну службу;
- розробити і затвердити посадові інструкції працівників електротехнічної служби та інструкції з безпечного виконання робіт в електроустановках з урахуванням їх особливостей;
- створити на підприємстві такі умови, щоб працівники, на яких покладено обов'язки з обслуговування електроустановок, відповідно до чинних вимог, своєчасно здійснювали їх огляд, профілактичні, протиаварійні та приймально-здавальні випробування;
- забезпечити своєчасне навчання і перевірку знань працівників з питань електробезпеки.

В процесі роботи доцільно використовувати сучасне технологічне обладнання нової конструкції та незначну кількість старого. Для попередження пожежі на стелі повинна бути розміщена пожежна сигналізація [40].

Виробниче приміщення підприємства за небезпекою виникнення пожежі згідно НАПББ.03.002-2007 можна віднести до категорії В.

Можливими причинами пожежі можуть бути:

- коротке замикання в електричній мережі, що може спричинити запалення наявних легкозаймистих речовин;

					<i>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- необережне поводження з вогнем;
- розповсюдження вогню з сусідніх приміщень.

Попередити пожежу можна шляхом розробки правил безпечної поведінки із вогнем, усуненням можливості виникнення короткого замикання. У разі виникнення пожежі своєчасно та з мінімальними наслідками дають можливість загасити її наявні пожежна сигналізація та вогнегасники [41].

Безпека виробничого обладнання на даному підприємстві забезпечується:

- вибором безпечних принципів дії, конструктивних схем, елементів конструкції;
- використанням засобів механізації, автоматизації та герметизації обладнання;
- дотриманням ергономічних вимог;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту та транспортування і зберігання обладнання;
- застосуванням відповідних конструкційних матеріалів.

5.2 Заходи з охорони навколишнього середовища на виробництві

Основними несприятливими аспектами впливу виробництва фумарової кислоти на навколишнє середовище є викиди забруднюючих речовин в атмосферу, скиди їх зі стічними водами та розміщення відходів виробництва на майданчиках тимчасового зберігання [41].

При технологічному оформленні виробничого процесу, з огляду на його високу шкідливість, не слід допускати попадання продуктів реакції в атмосферу виробничих приміщень. Це досягається герметизацією виробничого обладнання та комунікацією, механізацією ряду операцій, встановлення апаратів на відкритих майданчиках. Особливо важливо передбачити санітарну очистку газів реакції, які викидаються в атмосферу.

Смоли, що накопичуються в апаратурі також являють пожежну небезпеку. При організації виробництва фумарової кислоти слід звернути велику увагу на виключення умов утворення вибухонебезпечних вуглеводневих сумішей.

					<i>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пожежну небезпеку також становить робота з розплавом нітрат-нітритних солей, які використовуються в якості теплоносія. Потрапляння води та органічних речовин в розплав солей призводить до бурхливого тепловиділення і викиду солей. Тому необхідно забезпечити повну герметичність апаратів сольового розплаву, а також герметичність по трубній решітці контактного апарата. Попадання розплаву солей на шкіру викликає сильні як теплові, так і хімічні опіки [39].

При реалізації виробничого процесу слід враховувати також температури самозаймання речовин.

Основне та допоміжне обладнання повинно бути забезпечено запобіжними вибуховими мембранами.

Широке впровадження автоматичного контролю виробництва та регулювання температурного режиму, висока якість використовуваного обладнання дозволяють виключити можливість загоряння та вибуху та зробити процес безпечним в пожежному відношенні.

Головними цілями екологічної політики виробництва фумарової кислоти є:

- забезпечення такого рівня безпеки виробничої діяльності, при якому вплив на навколишнє середовище, персонал і населення не перевищує встановлених нормативів, а ризик виникнення аварійних ситуацій) зведений до мінімуму;
- здійснення планового аналітичного контролю викидів в атмосферу за затвердженими графіками відповідно до діючого законодавства;
- впровадження нових природоохоронних технологій з урахуванням екологічної обстановки на підприємстві;
- попередження екологічних аварій і організація плану заходів в разі їх виникнення;
- здійснення виробничої діяльності відповідно до природоохоронного законодавства та іншими нормативними вимогами;
- раціональне використання ресурсів;

- дотримання встановлених нормативів допустимого впливу на навколишнє середовище;
- поступове скорочення обсягів скидання шкідливих хімічних речовин у водні об'єкти;
- розробка та реалізація нових економічно ефективних енергозберігаючих та екологічно безпечних технологій;
- скорочення обсягів утворення відходів виробництва та споживання.

Успішне досягнення поставлених цілей при виробництві фумарової кислоти забезпечується:

- дотриманням законодавства та інших нормативних правових актів, міжнародних договорів та угод, національних галузевих стандартів та правил у сфері природокористування;
- прийняттям та реалізацією управлінських рішень з урахуванням екологічних аспектів;
- удосконаленням системи забезпечення запобіжних дій і готовності до дій у разі виникнення надзвичайної ситуації;
- впровадженням екологічного моніторингу, методів і засобів радіаційного та виробничого екологічного контролю;
- використанням системи відбору, підготовки, атестації та допуску персоналу до проведення природоохоронних робіт, а також підвищення рівня екологічної освіти та культури безпеки персоналу;
- забезпеченням екологічної безпеки та охорони навколишнього середовища необхідними ресурсами, включаючи кадри, фінанси, технології, обладнання та робочий час.

					<i>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проведено пошук та аналіз вітчизняних та закордонних літературних джерел стосовно методів отримання фумарової кислоти, її фізико-хімічних властивостей та сфер застосування.
2. На підставі аналізу науково-технічної літератури було обрано удосконалення технології отримання фумарової кислоти методом парофазного окиснення бензолу над стаціонарним ванадієво-молібденовим каталізатором та подальшою каталітичною ізомеризацією з використанням тіомочевини.
3. Розроблено принципово-технологічну схему виробництва фумарової кислоти.
4. Розраховано матеріальний баланс виробництва фумарової кислоти потужністю 1000 кг/добу. Проведено розрахунок теплового балансу. Виконано підбір оптимального обладнання згідно отриманих даних.
5. Розроблено апаратурно-технологічну схему виробництва фумарової кислоти на основі принципово-технологічної схеми.
6. Проведено конструктивний та технологічний розрахунок основних характеристик реактору з турбінною відкритою мішалкою з робочим об'ємом 1.3 м³: діаметр – 1100 мм, висота – 1800 мм, діаметр мішалки – 330 мм.
7. Описано показники якості та безпечності харчової фумарової кислоти.
8. Було проведено розрахунок основних техніко-економічних показників виробництва. Ціна за 1кг фумарової кислоти становить 290 грн, що є досить виправданим за продукт гарантовано високої якості.
9. Показано, що застосування каталізатора тіомочевини на стадії ізомеризації робить технологію більш енергоощадною.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.088.КР.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ВИСНОВКИ</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		<i>Білим А.О.</i>						
Перевір.		<i>Бойчук Т.М.</i>					88	92
Реценз.						<i>НУХТ, Каф.ТЖХТ</i>		
Н. Контр.		<i>Подобій О.В.</i>						
Затверд.		<i>Носенко Т.Т.</i>						

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сарафанова Л. А. Пищевые добавки: энциклопедия. Изд. 2-е. С.Пб.: ГИОРД, 2004. 808 с.
2. Нечаев А.П., Пищевые добавки: учебники и учебн. пособия для студентов высших учебных заведений. Москва: Колос, 2002. 256с.
3. Codex Alimentarius.
4. Пищевые добавки. Большая российская энциклопедия. Том 26. Москва, 2014. 309с.
5. Сарафанова Л.А., Применение пищевых добавок: энциклопедия. С.Пб.: ГИОРД, 2005. 200 с.
6. Ластухін Ю.О. Харчові добавки. Е-коди. Будова. Одержання. Властивості: навч. посіб. Львів: Центр Європи, 2009. 836 с.
7. Воронов С. А. Токсикологічна хімія харчових продуктів та косметичних засобів: підруч. Л.: Видавництво Львівської політехніки, 2010. 316 с.
8. Подобій О.В. Хімія та технологія харчових добавок: конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічна технологія», денної та заочної форм навчання/ О.В.Подобій. – К.: НУХТ, 2019. 131 с.
9. ДСТУ 192:2014. Харчові добавки. Номенклатура та загальні вимоги.
10. Булдаков А.С. Пищевые добавки. М.: ДеЛи принт, 2003. 436 с.
11. Молдавский Б.Л., Ю.Д. Кернос Малеиновый ангидрид и малеиновая кислота. Москва: Химия, 1976. 88с.
12. Абрамян Р.К., Химия и химическая технология. Синтез и исследование пленкообразующих веществ. Ярославль, 1973. С. 10.

					<i>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.089.КР.ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Білим А.О.</i>			<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Бойчук Т.М.</i>					89	92
Реценз.						<i>НУХТ,</i>		
Н. Контр.		<i>Подобій О.В.</i>				<i>Каф.ТЖХТ</i>		
Затверд.		<i>Носенко Т.Т.</i>						

13. Реакции и методы исследования органических соединений. Т.21. М.: Химия, 1970. 85 с.
14. Milas, N. A. «Fumaric Acid» Organic Synthesis 1943, Collective Volume 2, page 302.
15. British Patent No. 775,912, published on the May 29, 1957, by Monsanto Chemical Company.
16. Lohbeck K., Haferkorn H., Fuhrmann W. Maleic and Fumaric Acids // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. — 6th. — Weinheim: Wiley-VCH, 2005. — P. 1—2.
17. I. Матек L., Hahn D. The Catalytic oxidation of organic compounds in the vapore phase. J. Am. Chem. Soc. Monograph Series, 1932. p.378 – 384.
18. Глосарій термінів з хімії / уклад. Й. Опейда, О. Швайка; Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. — Донецьк: Вебер, 2008. 738 с.
19. Фармацевтична енциклопедія / голова ред. ради та автор передмови В. П. Черних; Нац. фармац. ун-т України. — 2-ге вид., переробл. і доповн. — Київ: МОРІОН, 2010.
20. Франц.пат. 1347935, 1964 ; С.А.,1954, v.60, 11903.
21. Пат.США 3106569, 1963; РЖХим,1965, 22Н71.
22. Яп. пат19108,1963; РЖХИМ, 1965, 20Н41.
23. Франц.пат. 1262809, 1961; С.А., 1962, v.56, 9975.
24. Arnold D., Plank C., Erickson E., Pike F. (1958). Solubility of Benzene in Water. Industrial & Engineering Chemistry Chemical & Engineering Data Series 3 (2): 253.
25. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія. Львів: Центр Європи, 2006. 864с.
26. Victor Meyer (1870) "Untersuchungen über die Constitution der zweifach-substituirten Benzole" (Investigations into the structure of di-substituted benzenes), Annalen der Chemie und Pharmacie, 156: 265–301; see especially pp. 299–300.

					<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. ГОСТ 9572-93 Бензол нефтяной. Технические условия.
28. Дубинін А.І. Процеси і апарати хімічної технології: Навчальний посібник / А.І. Дубинін, Р.І. Гаврилів, І.О. Гузьова; за ред. проф. А.І. Дубиніна. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 360 с.
29. Каталог товарів [Електронний ресурс] // ООО "Промвест Групп". URL: <https://pwg.in.u> (дата звернення 20.04.2021).
30. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / За ред. проф. І.Ф. Малежека. – К.: НУХТ, 2003. 400 с.
31. Гавва О.М., Безпалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання. Обладнання для пакування продукції у споживчу і транспортну тару. Київ.: ІАЦ «Упаковка», 2005. 304 с.
32. Мирончук В.Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навчальний посібник / В.Г. Мирончук, Л.О. Орлов, А.І. Українець [та ін.]. – Вінниця: Нова книга, 2004. 288 с.
33. ГОСТ 33269-2015. Добавки пищевые. КИСЛОТА ФУМАРОВАЯ Е297. Технические условия; МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. – Москва: Стандартинформ. 2016.
34. Ярошевська В.М., Чабан В.Й. Охорона праці в галузі: Навчальний посібник. - К.: ВД "Професіонал", 2004. 288 с.
35. Про охорону праці. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення 30.05.2021).
36. Козловський В.О. Організація виробництва: навч. посібник / Козловський В. О. – Частина 1. Видання 2-е, доповн. і перероб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 154 с.
37. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.
38. Бельдеева Л.Н. Минимизация воздействия опасных бытовых отходов на окружающую среду. Ползуновский вестник. 2006. – № 2. – С. 372-375.

					<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

39. Охорона праці та професійні захворювання: рішення актуальних проблем: рекомендаційний бібліографічний покажчик / укладач А. В. Крамарева. Запоріжжя : НБ ЗНТУ, 2015. 102 с.

40. ДСТУ 3273-95. Безпека промислових підприємств. Загальні положення та вимоги.

41. Свояк Н. І. Екологічне інспектування. Черкаси: Вертикаль, 2008. – 464 с.

42. Методичні рекомендації до складання матеріального та енергетичного балансу в хімічній технології для студентів напряму підготовки 6.051301 «Хімічна технологія» денної форми навчання/уклад. О. Г. Макаренко, І.В.Житнецький – К .:НУХТ, 2015. – 21с.

43. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічна технологія» денної та заочної форм навчання /уклад.: О.Г Макаренко, О.В Подобій, Т.М. Бойчук та ін. - К.: НУХТ, 2020. - 66 с.

					<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</i>	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		