

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

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

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту ННІХТ  
Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО  
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» червня 2023 р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри ТЖХТ  
Тамара НОСЕНКО  
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» червня 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми Хімічна технологія  
на тему: Удосконалення технології ніацинаміду

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

ГУЛЕНКО Крістіна Вячеславівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Керівник САБАДАШ Наталія Іванівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти Ігор ЖИТНЕЦЬКИЙ  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент Анастасія ПУХЛЯК  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

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

Здобувач(ка) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2023 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічна технологія

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

“ ” 2023 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Гуленко Крістіна Вячеславівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології ніацинамідну

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

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

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

2. Строк подання здобувачем роботи 05.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, аналітичний огляд науково-технічної літератури, технологічна частина, техніко-економічне обґрунтування, організація контролю якості продукції, екологічна безпека, охорона праці, висновки, список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

## 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	20. 05.2023	09.06.2023

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 20 травня 2023 р. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	20.05.2023	
2	РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	20.05.2023-23. 05.2023	
3	РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	22. 05.2023-25. 05.2022	
4	РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	25. 05.2023-28. 05.2023	
5	РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	29. 05.2023-30. 05.2023	
6	РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	31.05.2023-01.06.2023	
7	РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	02.06.2023-04.06.2023	
8	ВИСНОВКИ	04.06.2023-05. 06.2023	
9	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	15. 05.2023-05. 06.2023	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	15. 05.2023-30. 05.2023	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	18. 05.2023-31. 05.2023	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	05.06.2023-16.06.2023	

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Крістіна ГУЛЕНКО \_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

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

## РЕФЕРАТ

Гуленко К.В. Удосконалення технології ніацинамід

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА: 121 С., 20 РИС., 30 ТАБЛ., 9 СХЕМ, 58 ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.**

У кваліфікаційній роботі представлено аналітичний огляд науково-технічної літератури про ніацинамід (вітамін В<sub>3</sub>), його фізико-хімічну характеристику, аналіз ринку, застосування у різних галузях промисловості. Описано сировину для отримання ніацинамід. Розглянуто способи отримання ніацинамід та обрано екологічний (зелений) метод отримання ніацинамід. Представлено хімізм процесу отримання ніацинамід.

Накреслено принципову технологічну схему технології отримання ніацинамід. Розраховано матеріальний баланс, згідно якого за добу з 185 кг 3-піколіну отримують 100 кг ніацинамід. Проведено підбір основного технологічного обладнання за всіма стадіями технологічного процесу.

Розраховано реактор з мішалкою. Відповідно до розрахованих даних матеріального балансу та проведеного підбору обладнання накреслено апаратурно-технологічну схему виробництва ніацинамід з 3-піколіну.

Розраховано техніко-економічну ефективність технології виробництва ніацинамід та показано, що рентабельність виробництва складає 35%, а прибуток – 136072,81 грн на 100 кг виробленої продукції. Наведено заходи з організації контролю якості ніацинамід відповідно до нормативних документів: сертифікати GMP, ISO, HACCP, FDA.

Наведено основні заходи з охорони праці, техніки безпеки на виробництві ніацинамід та заходи з охорони навколишнього середовища та обґрунтовано екологічну безпеку запропонованої технології, а саме збереження ресурсів, переробку сировини, газодимових викидів та стічних вод, утилізація відходів виробництва; раціональне використання енергоресурсів та енергозбереження.

**Ключові слова:** НІАЦИНАМІД, НІКОТИНАМІД, ВІТАМІН В<sub>3</sub>, ДОБАВКА, 3-ПІКОЛІН, БІОКАТАЛІЗАТОР, RHODOCOCUS RHODOCHROS P-34, РЕАКТОР, ЛОПАТЕВА МІШАЛКА, «ЗЕЛЕНИЙ» МЕТОД.

## ABSTRACT

**Hulenko Kristina** Improvement of niacinamide technology

**EXPLANATORY NOTE: 121 p., 20 FIG., 30 TABLES, 9 Scheme, 58 REFERENCES .**

The qualification work presents an analytical review of the scientific and technical literature on niacinamide (vitamin B<sub>3</sub>), its physical and chemical characteristics, market analysis, and application in various industries. Raw materials for obtaining niacinamide are described. Methods of obtaining niacinamide were considered and an ecological (green) method of obtaining niacinamide was chosen. The chemistry of the process of obtaining niacinamide is presented.

The principle-technological scheme of the technology for obtaining niacinamide is drawn. The material balance was calculated, according to which 100 kg of niacinamide is obtained from 185 kg of 3-picoline per day. Selection of the main technological equipment for all stages of the technological process was carried out.

A reactor with a stirrer is calculated. According to the calculated data of the material balance and the selected equipment, the equipment and technological scheme for the production of niacinamide from 3-picoline is drawn.

The technical and economic efficiency of the niacinamide production technology was calculated and it was shown that the profitability of production is 35%, and the profit is UAH 136,072.81 per 100 kg of produced products. The following measures are taken to organize niacinamide quality control in accordance with regulatory documents: GMP, ISO, HACCP, FDA certificates.

The main measures for labour protection, safety techniques in the production of niacinamide and measures for environmental protection are given. The environmental safety of the proposed technology is substantiated, such as the conservation of resources, processing of raw materials, gas fume emissions and wastewater, disposal of production waste; rational use of energy resources and energy conservation.

**Keywords:** NIACINAMIDE, NICOTINAMIDE, VITAMIN B<sub>3</sub>, ADDITIVE, 3-PICOLINE, BIOCATALYST, RHODOCCOCUS RHODOCHROS P-34, REACTOR, PADDLE MIXER, «GREEN» METHOD

## ЗМІСТ

РОЗДІЛ I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	11
1.1 Характеристика та властивості ніацинамідру .....	11
1.2 Аналіз ринку ніацинамідру .....	16
1.3 Галузі використання ніацинамідру .....	20
1.4 Сировина для виробництва ніацинамідру .....	22
1.5 Аналіз існуючих технологій виробництва ніацинамідру та вплив на навколишнє середовище .....	24
1.6 Характеристика нітрилгідратази та каталізатора .....	30
1.7 Хімічні основи процесу отримання ніацинамідру .....	34
1.8 Обґрунтування напрямку удосконалення .....	36
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	39
2.1 Характеристика вихідної сировини для виробництва ніацинамідру ...	39
2.1 Принципова технологічна схема .....	42
2.2 Матеріальний баланс виробництва .....	46
2.3 Тепловий баланс виробництва .....	57
2.4 Підбір основного технологічного обладнання .....	61
2.5 Розрахунок реактора .....	80
2.6 Опис реактора та принцип його дії .....	88
РОЗДІЛ III ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ .....	97
РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ .....	104
ПРОДУКЦІЇ .....	104
РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	109
РОЗДІЛ VI ОХОРОНА ПРАЦІ .....	114
ВИСНОВКИ .....	117
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	119

					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.006.КР.ПЗ</b>			
Змн.	Арк.А	№ докум.№	ПідписПі	Дата				
Розроб.		Гуленко К.В.			<b>ЗМІСТ</b>	Літ.	Арк.	Аркушіє
Перевір.		Сабадаш Н.І.					6	
Н. Контр..		Полобій О.В.			НУХТ Каф. ТЖХТ			
Затверд.		Носенко Т.Т.						

## ВСТУП

Виробництво ніацинамідів з кожним роком набуває більших масштабів, тому розробляють нові методи виробництва. Ніацинамід широко використовують в якості вітаміну та харчової при виробництві продуктів харчування, кормів для тварин, як компонент різних косметичних засобів. Найбільшими виробниками ніацинамідів є Швейцарія, Китай, Південно-Східна Азія та США.

Вітамін В<sub>3</sub> (ніацин або ніацинамід) в організмі відіграє вирішальну роль у вивільненні 35% енергії з їжі, входить до складу близько 200 ферментів і кофакторів НАД і НАДФ. Кофермент I (нікотинамід-аденін динуклеотид NAD) і кофермент II (нікотинамід-аденін динуклеотид фосфат NADP) необхідні всім живим клітинам. Вони дозволяють перетворювати вуглеводи в енергію і сприяють метаболізму білків і жирів. НАДФ використовується в метаболізмі фолатів і синтезі жирних кислот, холестерину, стероїдних гормонів і важливих попередників ДНК [1].

Оскільки людський організм не виробляє ні нікотинової кислоти, ні амідів, тому вони надходять в організм з їжею. Хоча ніацин міститься у зв'язаному вигляді, природньо утворюється в пшениці, дріжджах і свинині і яловичій печінці. Тому як тільки ніацин був визнаний джерелом вітамінів, вчені почали пошуки його синтетичного виробництва. Промислове виробництво ніацину почалося в 1956 році. Процес базувався на прямому перетворенні 5-етил-2-метилпіридину в автоклавах. У 1963 році було впроваджено перший безперервний процес.

Постійне вдосконалення процесу та якості продукції допомогли компанії Лонза зайняти лідируючу позицію на світовому ринку. Сьогодні компанія Лонза виробляє 60% від світового ринку цього важливого та необхідного вітаміну. Близько 10% виготовленого ніацину перетворюється

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

на ніацинамід. Обидві форми використовують як добавки в їжу і напої, у полівітамінних препаратах та медицині [2].

Нині більшість ніацину виробляється синтетично, шляхом хімічного окиснення алкілпіридинів. Але виробники зацікавлені у пошуку безпечних та нешкідливих для навколишнього середовища методів [3].

Каталізатор відіграє вирішальну роль у доцільності, екологічній ефективності та економічності понад 90% хімічних процесів. У хімічних і нафтопереробних виробництвах каталізатори є не просто функціональними компонентами для отримання позитивних економічних показників, наприклад, які дозволяють збільшити продуктивність і знизити витрати на виробництво. У майбутньому буде важливою не тільки якість хімічного продукту, але також якість їхнього виробничого процесу. Нестача енергії та природних ресурсів є двома основними факторами, які змінили пріоритети у хімічному виробництві за останні кілька років.

**Актуальність.** Індустріалізація світу призводить до зростання екологічних проблем, таких як забруднення, глобальне потепління та можливі незворотні наслідки для стратосфери Землі.

Інноваційні хімічні технології спрямовані зменшити або уникнути використання та утворення небезпечних речовин у виробництві хімічних продуктів. Основними принципами є мінімізація відходів виробництва, висока вуглецева ефективність (низькі відходи вуглекислого газу) і низька енергія споживання.

Вибір каталізатора відіграє важливу роль у виробництві ніацинаміду. Наявність у продукті допоміжних речовин від каталізатора, які є супутніми при використанні каталізатора (хрому), може бути шкідливим. Тому важливо обрати каталізатор для технологічного процесу, щоб він мав високу ефективність та був не шкідливим. Зараз ніацинамід отримують за допомогою біокаталізатора, який дозволяє отримати продукт високого ступеня чистоти та перетворення. Тому виробництво ніацинаміду

					<b>ВСТУП</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

екологічним (зеленим) методом з використанням біокатализатора *Rhodococcus Rhodochros P-34* (мутант 4D) є **актуальним**.

**Мета роботи** – удосконалити технологію виробництва ніацинамідру екологічно чистим методом з 3-піколіну, шляхом заміни катализатора *Rhodococcus rhodochrous J1* на *Rhodococcus rhodochrous PA-34* (мутант 4D), який прискорює процес виробництва ніацинамідру та дозволяє працювати за вищої температури, що дає змогу економити воду для охолодження.

**Об’єкт дослідження** – технологія ніацинамідру.

**Предмет дослідження** – ніацинамід.

**Методи дослідження:** аналіз, синтез, узагальнення, обчислення, графічний.

**Завдання дослідження:**

1. дати загальну характеристику ніацинамідру;
2. проаналізувати ринок ніацинамідру, дослідити галузі його використання у різних галузях промисловості;
3. описати сировину для отримання ніацинамідру;
4. розглянути способи отримання ніацинамідру та проаналізувати хімічні основи процесу отримання ніацинамідру;
5. охарактеризувати екологічний (зелений) метод отримання ніацинамідру, обґрунтувати удосконалення технології виробництва ніацинамідру з 3-піколіну;
6. накреслити принципово технологічну схему виробництва ніацинамідру;
7. розрахувати матеріальний баланс продуктивністю 100 кг/добу;
8. розрахувати тепловий баланс;
9. підібрати основне обладнання;
10. накреслити схему основного обладнання (реактора) та виконати розрахунок (тепловий, конструктивний, гідравлічний розрахунки);
11. накреслити апаратурно-технологічну схему виробництва ніацинамідру;

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

- 12.навести техніко-економічний розрахунок виробництва ніацинаміду;
- 13.описати контроль якості продукції на даному виробництві;
- 14.охарактеризувати охорону праці на підприємстві та заходи з охорони навколишнього середовища на виробництві.

					<b>ВСТУП</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>10</b>

# РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Характеристика та властивості ніацинамід

Термін «ніацин» використовується як загальний опис нікотинової кислоти та нікотинамід (ніацинамід), в основі структури є піридин.

У природній сировині зустрічається не сама нікотинова кислота, а нікотинамід, який входить до складу багатьох ферментів. Таким чином, нікотинова кислота є провітаміном нікотинамід [4].

Оскільки людський організм не виробляє ні нікотинової кислоти, ні амід, він надходить з їжею. Після визнання важливості ніацину зменшилась кількість смертей від вітамінної недостатності пелагри у США з 1929 по 1956 роки. Хоча ніацин міститься у зв'язаному вигляді і природно утворюється в пшениці, дріжджах і свинині і яловичої печінки, більшість ніацину сьогодні виробляється синтетично, шляхом хімічного окислення алкілпіридинів. [3].

Речовина належить до групи ніацину (вітамін В), який набув значного поширення в рослинному і тваринному світі, головним чином у вигляді складних сполук – нуклеотидів. Нікотинамід та його форми коферментів значно поширені у клітинах рослин та тварин. Джерелами нікотинамід є:

- продукти рослинного походження: хліб, висівки, дріжджі, рис, горох, боби, горіхи, картопля, морква, зелені овочі, кава, чай. Засвоєння вітаміну з рослинних продуктів набагато нижче, оскільки в них, крім бобових, він міститься у зв'язаній формі;
- продукти тваринного походження: печінка, нирки, м'ясо, риба, яйця, молоко;
- хімічні: «Аеровіт», «Пентовіт», «Гептавіт», «Тетравіт», «Компливіт», «Нікотинова кислота (вітамін РР)», «Нікотинамід»,

					<b>ННІХТ.ХТ-4-14.023.161.011.КР.ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Гуленко К.В.			<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушіє</b>
Перевір.		Сабадаш Н.І.					11	
Н. Контр.		Подобій О.В.			НУХТ Каф. ТЖХТ			
Затверд.		Носенко Т.Т.						

«Нікогіпан», «Пікамілон», «Ксантінола нікотинат», «Ніковерин ».

В організмі людини нікотинова кислота утворюється в печінці з триптофану через кінуреніновий шлях, тобто триптофан може замінювати ніацин у дієті. Коли у раціоні значне місце займає кукурудза (наприклад, у країнах Південної Америки), потреба у вітаміні підвищується, оскільки ендogenous синтез із триптофану припиняється. Білок кукурудзи – зеїн, не містить триптофану. Як наслідок, розвиваються ознаки вітамінної недостатності. Дефіцит вітамінів В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub> пригнічує ендogenous утворення вітаміну РР.

Нікотинамід синтезується мікрофлорою кишечника з амінокислот.

Добова потреба становить у середньому 18 мг/добу. Еквівалентними 1 мг ніацину є 60 мг триптофану.

Рекомендоване добове споживання:

- дорослі: 17 – 21 мг;
- новонароджені: 6 мг;
- діти: 17 мг.

Потреба у вітаміні підвищується при висококалорійній дієті, значних фізичних навантаженнях, вагітності, лактації, опіках, видужанні після хвороби, при гострих інфекційних, ендокринних захворюваннях, нервово-психічних розладах, раціоні з переважним вмістом кукурудзи, або недостатньому білковому харчуванні [5,6].

Дефіцит вітаміну РР проявляються у вигляді пелагри (pellagra (італ.) – шершава шкіра). Це захворювання ще має назву «Три Д»:

- 1 дерматит – ураження шкіри;
- 2 діарея – патологія ШКТ (шлунково-кишковий тракт);
- 3 деменція – порушення нервової діяльності.

Дерматити симетрично вражають відкриті ділянки шкіри – лице, шию, кисті рук, лікті, на які потрапляє пряме сонячне випромінювання (фотодерматити). Шкіра стає червоною, потім коричневою та шершавою.

При ураженні кишечника розвиваються проноси, анорексія, нудота,

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

блювання, болі у животі, стоматити, гінгівіти, запалення та болючість язика. Спостерігається запалення слизової оболонки товстої кишки, виразки, крововиливи впродовж усього ШКТ. Через порушення функцій кишечника припиняється всмоктування триптофану, ніацину та інших речовин. Діарея призводить до зневоднення організму. При гострій формі пелагри внаслідок дегідратації дуже швидко настає смерть.

Порушення нервової діяльності проявляється у вигляді головної болі, запаморочення, галюцинацій, підвищеної дратівливості, депресії, неврозів, психозів, розумового відставання, дегенеративних змін спинного мозку, паралічу та ін.

Загальними проявами вітамінної недостатності є: припинення росту, втрата ваги, анемія, дегідратація та зневалення організму [5,6].

Ніацинамід (назва IUPAC: 3-піридинкарбоксамід, синоніми: нікотинамід, вітамін B<sub>3</sub>). Індекс нікотинамід у базі даних CAS (Chemical Abstracts Service) 98-92-0 та реєстраційний номер у EINECS (European Inventory of Existing Chemical Substances) №202-713-4 [7].

Структурну формулу ніацинамід у показано на рис 1.1.

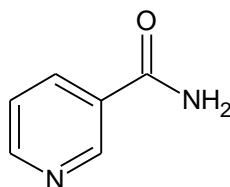


Рисунок 1.1. Структурна формула ніацинамід у

Властивості ніацинамід у наведені у таблиці 1.1 [7].

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

## Властивості ніацинамідру

Властивості	Показники
Хімічна формула	$C_6H_6N_2O$
Молекулярна маса	122,11
Температура плавлення	128–131 °С
Температура кипіння	224 °С
Температура займання	>150°С
Густина	1,4 г/см <sup>3</sup>
Насипна густина	приблизно 0,50–0,70 г/см <sup>3</sup>
Розчинність	у воді (6,91 г / 100 мл води при 20 °С) і етанолі (6,60 г/мл при 20 °С)
Тиск	31,4 кПа (при 25 °С)
pK <sub>a</sub>	3,35-3,65
log p <sub>ow</sub>	0,38

Ніацинамід (нікотинамід) – це білий кристалічний порошок (або безбарвні кристали), без запаху, гіркий на смак. Він легкорозчинний у воді, спирті, гліцерині та в органічних розчинниках. 5%-ий водний розчин має рН 6.0 – 7.5.

Нікотинамід дуже стійкий на повітрі та світлі, та витримує нагрівання у водних розчинах при 120°С. У розчинах кислот і лугів він перетворюється на нікотинову кислоту. Малочутливий до змін температури, нечутливий до іонів металів.

Ніацинамід зберігають при кімнатній температурі в сухому, захищеному від світла місці, у герметичних контейнерах. Зазначено, що строк зберігання нікотинамідру (в пакеті з алюмінієвої фольги) при температурі 25°С становить 36 місяців, при температурі 40 °С – 24 місяці [8].

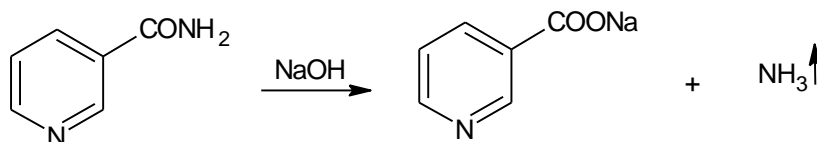
Нікотинамід описано в Європейській фармакопеї (PhEur 7.0, 0047) з чистотою 99,0–101,0 % піридин-3-карбоксамідру у висушеній речовині, менше

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

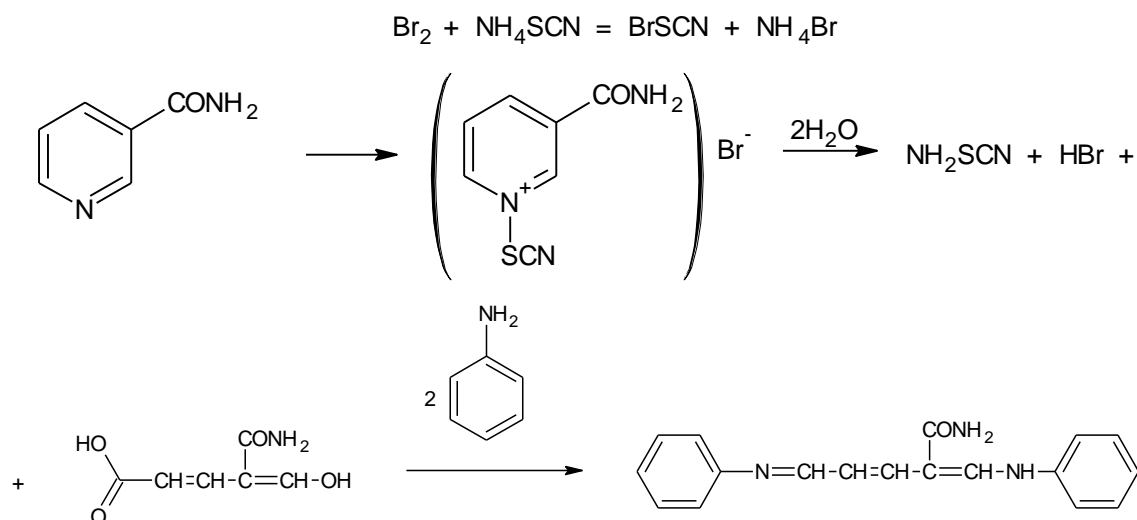
0,25 % споріднених речовин, втрати на висихання < 0,5 %, сульфатна зола < 0,1 % і важкі метали (у розрахунку на Pb) < 30 мг/кг. Добавка містить щонайменше 99,0 % нікотинамід у за специфікацією [9].

Нікотинамід взаємодіє:

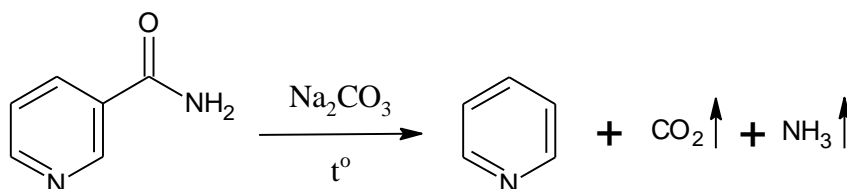
- з розчином натрію гідроксиду:



- з основами Шиффа – взаємодія із ціанбромідним реактивом і аніліном (реакція на піридиновий цикл):



- з 2,4-динітрохлорбензолом у лужному середовищі (реакція на піридиновий цикл). Нікотинамід розкладається при нагріванні з кристалічним  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – з'являється запах піридину:



Нікотинамід отримують шляхом хімічного синтезу. Нікотинамід синтезується з 3-піколіну, який перетворюється в каталітичній газовій реакції (реакція аммоокислення) в 3-ціанопіридин. 3-ціанопіридин далі гідролізується до нікотинамід у присутності іммобілізованого біокаталізатора [8].

## 1.2 Аналіз ринку ніацинамід

Ніацинамід, широко відомий як нікотинамід, є формою вітаміну В<sub>3</sub>, який необхідний для здоров'я. Ніацинамід є органічною хімічною речовиною, яка входить до числа від 20 до 80 важливих для людини поживних речовин, входить до складу ніацинового комплексу [10].

Ніацинамід широко застосовують у фармацевтичних препаратах, нутрицевтиці та косметичній галузі. Дефіциту вітаміну В<sub>3</sub> можна уникнути, застосовуючи ніацинамід у різних лікарських формах, включаючи порошки, рідини, ін'єкції, таблетки та капсули.

За даними компанії Data Bridge ринок ніацинамід у 2021 році становив 695,86 мільйонів доларів США, до 2029 року зросте до 934,17 мільйонів доларів США, і очікується, що щорічне зростання становитиме 3,75% протягом цього періоду [10].

За даними Американської академії дерматології, кожний четвертий американець, страждає від шкірних захворювань. Зростання кількості цих захворювань змусило дослідників звернути увагу на продукти з ніацинамідом, і тим самим збільшити продаж ніацинамід.

Національний центр біотехнологічних досліджень (NCBI) стверджує, що під час епідемії COVID-19, 56,2% населення перейшли до більш здорового способу життя. Люди почали обирати товари, які змінюють спосіб життя, включаючи продукти харчування, косметику, ліки та органічні продукти. Крім того, люди стали приймати харчові добавки, щоб підвищити свій імунітет під час пандемії. Це додатково створило можливість для зростання частки ринку ніацинамід.

Крім того, вітамін В<sub>3</sub> покращує травлення у молочної великої рогатої худоби, що допомагає запобігти метаболічним захворюванням. В подальшому це призведе до збільшення потреби тварин у ніацинаміді.

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Наприклад, Niacin RP – це ніацинамідний корм, розроблений компанією Jubilant Ingrevia, – корм для тварин, що містить ніацинамід [11].

Очікується, що протягом 2022-2030 років ринок ніацинаміду в 2022 році зросте з 543,92 мільйонів доларів до 744,39 мільйонів доларів у 2030 році, річний темп зростання складає 4%.

Очікується підвищення попиту на косметичні засоби та засоби особистої гігієни на основі ніацинаміду. Соціальні медіа-платформи, такі як YouTube та Instagram, стали ключовими джерелами інформації для багатьох споживачів про різні тенденції та продукти догляду за шкірою. Велика кількість блогерів і відеоблогерів почали ділитися своїм досвідом використання різних засобів по догляду за шкірою. Нижче на рис. 1.2 наведено ринок ніацинаміду з 2022-2030 роки.

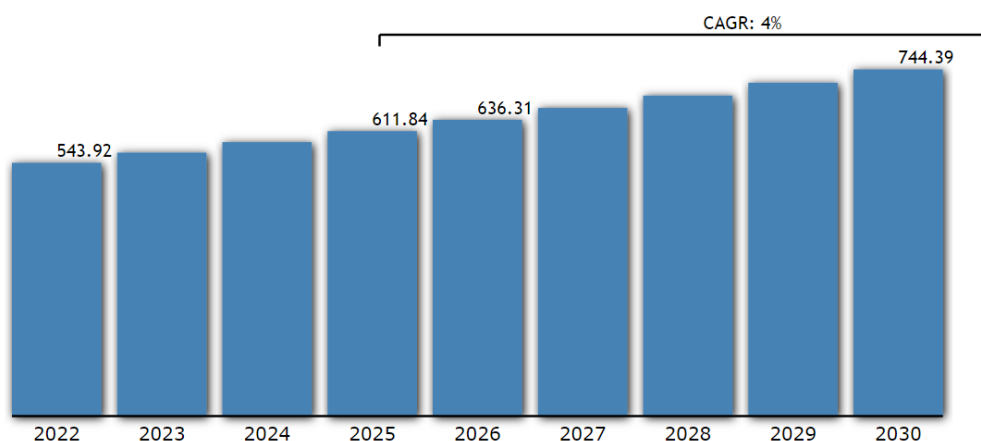


Рисунок 1.2. Ринок ніацинаміду в період з 2022-2030 (млн. дол. США)

Перевагами ніацинаміду для здоров'я є його здатність контролювати рівень холестерину та вітаміну B<sub>3</sub> в організмі, прискорювати енергетичний обмін в організмі. Зростання використання в косметиці по догляду за шкірою, через ефективність боротьби з різними проблемами шкіри. Можливості для зростання ринку ніацинаміду збільшуватимуться в міру розвитку індустрії косметики та охорони здоров'я у майбутньому.

Одним із основних обмежень ринку є висока вартість ніацинамідів. До того ж невелика кількість клінічних досліджень, що підтверджують ефективність ніацинамідів. У великих дозах ніацинамід може викликати такі побічні ефекти, як сухість, подразнення та почервоніння, тому важливо використовувати його помірно та лише за вказівками медичного працівника.

У Сполучених Штатах продукти на основі ніацинамідів регулюються Управлінням з харчових продуктів і медикаментів (FDA). FDA схвалює продукти на основі ніацинамідів та випустило низку вказівок, які підтримують використання ніацинамідів в косметичці. Крім того, клінічні дослідження показали ефективність продуктів на основі ніацинамідів, що сприятиме подальшому зростанню ринку.

У Європі Косметичний регламент (ЄС) № 1223/2009 вимагає перевірки безпеки всіх інгредієнтів, які використовуються в косметичних продуктах, перш ніж вони можуть бути розміщені на ринку. Науковий комітет Європейської комісії з питань безпеки споживачів (SCCS) опублікував кілька висновків щодо ніацинамідів, а саме про його безпечне використання в косметичних продуктах з максимальною концентрацією 5%.

Ринок ніацинамідів класифікується за сортом, формою, кінцевим використанням та регіоном:

- за сортом ринок поділяється на фармацевтичний і кормовий;
- за формою ринок поділяється на гранульований, порошкоподібний і рідкий;
- за кінцевим використанням ринок сегментований на фармацевтичні препарати, косметику, харчування для людей і харчування для тварин;
- за регіоном ринок поділено на Північну Америку, Європу, Азіатсько-Тихоокеанський регіон, Латинську Америку, Близький Схід і Африку.

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

Гранульований ніацинамід є найпопулярнішою формою добавки. Його легко приймати, він має тривалий термін зберігання і відносно доступний. Однак гранульований ніацинамід важко розчинити у воді, і він може спричинити розлад шлунка, якщо приймати його у великих дозах. Порошок ніацинамід у більш потужною формою добавки. Його також легко приймати, він має тривалий термін зберігання, але він дорожчий, ніж гранульований ніацинамід. Порошок ніацинамід може викликати розлад шлунка, якщо приймати його у великих дозах. Рідкий ніацинамід є найдорожчою формою добавки. Він швидше засвоюється організмом, ніж гранульований або порошкоподібний ніацинамід, але він має короткий термін придатності і повинен зберігатися в холодильнику. Рідкий ніацинамід викликає розлад шлунку, якщо приймати його у великих дозах. Найбільш поширена доза – 500 мг на добу. Гранульований ніацинамід є найбільш широко використовуваною формою на ринку завдяки своїм властивостям легкого використання та зберігання. Порошок ніацинамід також широко використовують у їжі та напоях, косметиці та фармацевтиці. Рідкий ніацинамід поширений у косметичній промисловості у виробництві кількох засобів по догляду за шкірою.

Зростаючий попит на косметику та харчові добавки сприяє зростанню ринку ніацинамід у Північній Америці. Великобританія, Німеччина, Франція, Італія та Іспанія є основними країнами, які сприяють зростанню ринку ніацинамід у Європі.

Ключовими виробниками ніацинамід на світовому ринку є компанії: Lonza (Швейцарія), Vertellus (Великобританія), Vanetta, Zhejiang Lanbo Biotechnology (Китай), Foodchem International Corporation (Китай), Merck KGaA (Німеччина), Koninklijke DSM NV (Нідерланди), Bactolac Pharmaceutical Inc. (США), BASF SE (Німеччина), Lasons India (Індія), Jubilant Life Sciences Limited (Індія), Brother Enterprises Holding Co., Ltd

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

(Китай), Zhejiang Lanbo Biotechnology Co.Ltd (Китай), Tianjin Zhongrui Pharmaceutical (Китай та інші) [12].

### 1.3 Галузі використання ніацинамід

Ніацинамід використовують як харчову добавку, яка є необхідною для збагачення продуктів вітамінами; як антиоксидант, регулятор кислотності, нутрієнт, стабілізатор забарвлення. У вітамінізованих продуктах може бути від 20% до 40% щоденної необхідної норми вітаміну В. В основному збагачують борошно, зернові продукти, борошняні вироби (хліб, макарони) дієтичні продукти харчування, рис. Після цього продукти набувають більш насиченого жовтого забарвлення. Використовується в харчовій промисловості для поліпшення кольору (наприклад, фаршу, в різних енергетичних напоях) [13].

У харчуванні людини ніацинамід міститься у вітамінних преміксах, дієтичних харчових добавках, збагачених сухих сніданках і борошні, напоях та енергетичних напоях, дитячих сумішах, випічці та кондитерських виробах. Як добавку ніацинамід приймають всередину для профілактики і лікування хвороби пелагри, яка зумовлена недостатністю нікотинової кислоти /вітаміну РР/, триптофану і рибофлавіну /вітаміну В), гастритів зі зниженою кислотністю (запалення слизової оболонки шлунка, що супроводжується зниженим виділенням соляної кислоти), хронічних колітів (запалення товстої запалення тканини печінки). Також його вживають для лікування діабету та зниження рівня холестерину [14].

Виробники енергетичних напоїв і дієтичних добавок включають ніацинамід до їх складу для сприяння метаболізму білка, цукру та жиру для перетворення енергії.

Ніацинамід дозволено використовувати в продуктах харчування в багатьох країнах, в тому числі і в країнах ЄС. Речовина вважається безпечною, але при вживанні вітамінних добавок, що містять вітамін В<sub>3</sub>, слід бути обережним людям, які страждають на цукровий діабет, глаукому,

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

знижений тиск, підвищену кровоточивість, людям із захворюваннями печінки, жовчного міхура і виразкою [15].

Ніацинамід використовують як:

- інгредієнт вітамінних комплексів (присутній в невеликій процентній кількості у багатьох полівітамінах);
- дієтичну добавку для зниження рівня холестерину;
- самостійний лікарський засіб (наприклад, для профілактики і лікування пелагри, одного з видів авітамінозу);
- інгредієнт косметичних засобів;
- добавка для годівлі тварин. Він створює більш повноцінний раціон, що покращує ріст і ефективність корму та загальний стан здоров'я тварин. Активність ніацинамиду, вітаміну В<sub>3</sub> необхідна для здорового метаболізму тварин.

У косметичних засобах ніацинамід входить до складу кремів для шкіри, лосьйонів для волосся та інших засобів особистої гігієни, зокрема до складу препаратів, які використовуються для запобігання і зменшення гіперпігментації шкіри. Часто його використовують для чутливої, пігментованої, запаленої і жирної шкіри, а також в антивікових кремах. Було відзначено, що він добре переноситься усіма типами шкіри і не викликає алергічної реакції.

Нікотинамід – за твердженням дерматологів, добре переноситься, це безпечний і гіпоалергенний продукт. За правильного використання не подразнює шкіру, а також дає можливість зробити її кращою і здоровішою [16].

Нікотинова кислота у формі нікотинової кислоти (ніацину) та аміду нікотинової кислоти (ніацинамід, NA) була дозволена для використання для тварин, як харчову добавку без обмеження відповідно до Директиви Ради 70/524/ЕЕС8. У ЄС не встановлений максимальний рівень вмісту нікотинової кислоти в кормах.

Ніацин у вигляді нікотинової кислоти та нікотинамиду дозволено

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

використовувати в харчових продуктах Регламент (ЄС) №1925/2006,10 для додавання до харчових продуктів для спеціальних харчових цілей і для додавання до оброблених харчових продуктів на основі злаків і дитячого харчування для немовлят і дітей раннього віку.

Доза для нікотинаміду становить 12,5 мг/кг маси тіла на добу для дорослих. Відсутні побічні ефекти у дозах до 25 мг/кг маси тіла на день [9].

Ніацинамід і ніацин дозволені для використання в косметиці в Японії та Європейському Союзі. Вони є прямими харчовими добавками GRAS, поживними речовинами та дієтичними добавками. Обидва інгредієнти легко всмоктуються зі шкіри, крові, і кишечника і широко поширюються по всьому тілу [17].

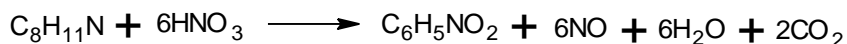
#### **1.4 Сировина для виробництва ніацинаміду**

Сировиною для виробництва ніацинаміду слугують 3-піколін та 2-метил-5-етил-піридин. Піридинові основи, такі як 3-піколін і 2-метил-5-етил-піридин, отримують за реакцією циклоконденсації альдегідів з амоніаком (реакція Чичибабіна). Таким чином формальдегід, ацетальдегід і аміак реагують в газовій фазі з утворенням суміші піридину і 3-піколіну. В газовій фазі часто використовують алюмооксидні каталізатори, а в рідкій фазі – кислотні каталізатори на основі фосфорної або оцтової кислоти. У 1990-х роках Рейлі запатентував склад MFI- і BEA цеолітних каталізаторів для перетворення аміак–альдегіду в піридин, піколіни та алкіл піридини.

2-метил-5-етилпіридин (MEP) є також сировиною для виробництва ніацинаміду. MEP можна отримати окисленням ацетальдегіду і аміаку нітратною кислотою при високій температурі та тиску в рідкій фазі, вихід близько 70% (порівняно з піколіном 20–40%). Такий спосіб виробництва значно дешевший, ніж отримання MEP з піколіну. Реакція MEP з нітратною кислотою також селективна (більше 80%). Оксид азоту, що утворюється, реагує з повітрям і водою, відновлюючись до нітратної кислоти. Цей спосіб виробництва нікотинаміду використовувала компанія Лонза протягом 40

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

років.



До недоліків процесу можна віднести проблеми, пов'язані з обробкою нітратної кислоти при підвищених температурах і тиску. З екологічної точки зору, суттєва втрата двох атомів карбону у вигляді вуглекислого газу робить використання МЕР у майбутньому неактуальним.

Невисока селективність цієї реакції означає, що затрати на виробництво основного продукту (піридину) визначають ціну та доступність піколіну. Таким чином виробники піридину можуть контролювати кількість і ціну піколіну на ринку. Така ситуація призвела до пошуку альтернативної сировини і виробництва піколіну.

З хімічної точки зору найкращим вихідним матеріалом для отримання нікотинової кислоти або аміду є 3-піколін: метильна група окислюється до карбоксильної групи з невеликою кількістю побічних продуктів або домішок.

Висока селективність та низька молекулярна маса, співвідношення (1:1,3) відповідно до кінцевих продуктів, роблять піколін основною промисловою сировиною для виробництва нікотинової кислоти та її похідних [18].

Реакція альдегідів або кетонів з аміаком є найбільш загальною синтетичною реакцією для виробництва піридинових основ і дозволяє отримати різні похідні піридину.

Формальдегід з аміаком є найбільш широко використовуваним методом для виробництва піридину. Піридин також можна отримати з циклопентадієну шляхом амоксидування, або з 2-пентенітрилу шляхом циклізації та дегідрування. Фурфуриловий спирт або фурфурол реагує з аміаком у газовій фазі, утворюючи піридин. Піридин і 3-піколін займають майже 80% споживання піридинів за останні роки.

Синтез піридину та піколінів з етанолу, формальдегіду та аміаку в присутності каталізатора HZSM-5 за відсутності кисню (схема 1.1) за

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

температури 420 °С.

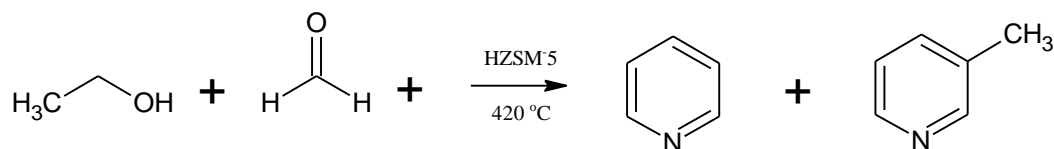


Схема 1.1. Синтез піридину і піколіну в присутності цеолітного каталізатора HZSM-5

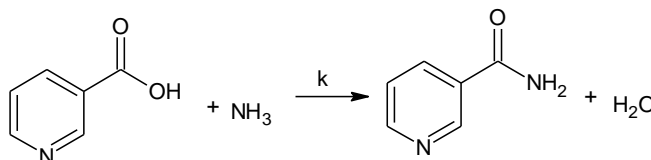
Реакція етанолу і аміаку без формальдегіду з Pb-ZSM-5 призвела лише до 6% виходу піридину та 55% 2-піколіну та 3-піколіну. Тому формальдегід є важливим для утворення піридину [19].

Як було сказано вище, на сьогоднішній день основну масу піколіну і піридину виробляють шляхом конденсації ацетальдегіду, формальдегіду і аміаку в газовій фазі. Альтернативні методи, включаючи наведені або подібні прості речовини, ще належить розробити.

### 1.5 Аналіз існуючих технологій виробництва ніацинамідру та вплив на навколишнє середовище

У промисловості ніацинамід можна синтезувати декількома способами: з ніотинової кислоти, 3-піколіну, 3-ціанопіридину, 3-нікотин нітрилу, нікотинідхлориду.

Синтез нікотинамідру з ніотинової кислоти. Ніотинову кислоту нагрівають і вона вступає в реакцію з газоподібним аміаком (схема 1.2), утворюючи нікотинамід. Реакція проходить за участі каталізатора солей амонію. Після дистиляції нікотинамід розчиняють у воді, очищають додаванням активованого вугілля, фільтрують, перекристалізують і центрифугують. Нікотинамід, що міститься в початковому розчині, відновлюють за допомогою процесу відновлення. Вологий чистий нікотинамід сушать за допомогою вакууму у роторній вакуумній сушарці [20].



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### Схема 1.2. Реакція одержання ніацинамід у з нікотинової кислоти

Також значну кількість амід у отримують при обробці нітрилу в слабо лужному розчині за температури 40-45°C розведеним розчином пероксиду водню. Відома є методика гідролізу 3-ціанопіридину в амід нікотинової кислоти, за участі аніону в ОН-формі обробка нітрилу у водному розчині протягом 2 годин за температурі 60-65°C, що дозволяє одержати нікотинамід з виходом 87,5%.

Не менш відомим способом одержання нікотинамід у з 3-нікотин нітрилу є нагрівання з розведеним водним розчином амоніаку під тиском [21]. При цьому, крім нікотинамід у, утворюються й солі нікотинової кислоти, що призводить до втрат продуктів реакції і необхідності їх поділу. Вихід нікотинамід у при цьому способі складає 75%.

Метод отримання нікотинамід у з нітрилу нікотинової кислоти за допомогою нерозчинного у воді каталізатора – синтетичної смоли АВ-17. При кип'ятінні нітрилу нікотинової кислоти у водному розчині за участі аніоніту, він перетворюється на нікотинамід з високим виходом (97%) [21].

Нікотинамід хімічно синтезується або дією аміаку на нікотинілхлорид, або нагріванням нікотинової кислоти з сечовиною в присутності молібдену, або реакцією 3-ціанопіридину з перекисом водню в лужному розчині. Він також може бути синтезований кип'ятінням нікотинової кислоти з етанолом, сірчаною кислотою та аміаком. Однак ці процеси вимагають високої температури та тиску, суворих кислотних і лужних умов і дають небажані побічні продукти, такі як нікотинову кислоту та HCN. Щоб подолати ці обмеження, було запропоновано перетворення 3-ціанопіридину на нікотинамід нітрилгідратазою.

Технологія отримання ніацинамід у з 3-метилпіридину, який перетворюється в 3-ціанопіридин. У багатотрубчастому реакторі 3-метилпіридин, повітря, аміак і водень реагують при температурі 350°C і помірному тиску з утворенням 3-ціанопіридину. Високоєфективними є гетерогенні каталізатори, що містять оксиди сурми, ванадію, титану, урану

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

або сурм'яно-ванадієво-титановий каталізатор. Наприклад, з ванадієвим, титановим, цирконієвим, молібденовим каталізатором, температурою реактора 340°C і молярним співвідношенням 3-метилпіридин:аміак:кисень 1:1,3:40 утворюється 95% 3-ціанопіридину. 3-ціанопіридин перетворюється на нікотинамід шляхом лужного гідролізу. Ця реакція має перевагу в тому, що омилення до аміду відбувається швидше порівняно з повним гідролізом до нікотинової кислоти. Гідроліз до аміду зазвичай проводять з додаванням каталітичних основ (гідроксиду натрію) при температурі 130-150°C [18].

Практично всі каталізатори, що використовуються для амоксидування містять ванадій як головний компонент. Вже давно доведено, що оксид ванадію є найефективнішим оксидом металу як для амооксидування, так і для окислення в газовій фазі. Найчастіше використовують оксиди кремнію, алюмінію, титану і цирконію [18].

Рідкофазне окислення 3-піколіну з киснем. Піколін можна селективно окислювати повітрям у рідкій фазі до ніацину. Каталізатор ацетат кобальту та марганцю та/або бромід зазвичай використовують у середовищі оцтової кислоти, і відбувається окислення повітрям при підвищених температурах і тиску. Недоліки цього процесу є наступні:

- продукт повинен бути ефективним і відокремлюватись від реакційного розчину. На практиці ці дві цілі суперечать одна одній;
- на практиці додаткові етапи очищення необхідні для забезпечення чистоти продукту;
- матковий розчин містить метали від каталізатора, які повинні бути перероблені, якщо процес має бути ефективним. Переробка реакційного розчину (маткового розчину) зазвичай вимагає значних зусиль для очищення (відпрацьований розчин містить воду, смоли та/або висококиплячі речовини, крім того, солі металевого каталізатора до оцтової кислоти).

Газофазне амооксидування до ціанопіридину з наступним гідролізом також до нікотинаміду або нікотинової кислоти є промисловим процесом, а

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

виробництво нікотинаміду представляє найбільш логічний і прямий шлях через 3-піколін [18].

При отриманні ніацинаміду використовують різні каталізатори, які впливають на вихід ніацинаміду та навколишнє середовище.

Синтезують нікотинамід з 3-ціанопіридину. Для цього водний розчин 3-ціанопіридину нагрівають в присутності амоніаку або інших слабких основ, наприклад  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  чи  $\text{CaCO}_3$ .

Буферний водний розчин 3-ціанопіридину гідролізується до нікотинаміду в присутності каталізатора (схема 1.3). Отриманий розчин очищають активованим вугіллям, фільтрують і потім концентрують у випарнику. Концентрований розчин нікотинаміду сушать під вакуумом [21].

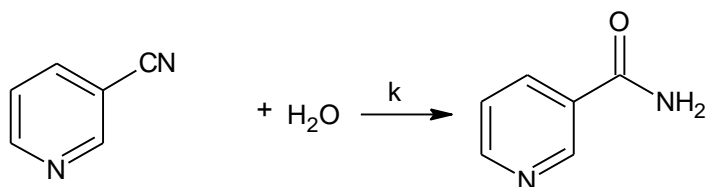


Схема 1.3. Реакція одержання ніацинаміду з 3-ціанопіридину

Каталітична гідратація 3-ціанопіридину до ніацинаміду. У круглодонну 4-горлову колбу, обладнану термогільзою, мішалкою та зворотним холодильником, поміщають 3-ціанопіридин (500 г), демінералізовану воду (560 г; рН 7,5), етиловий спирт (56 г) і 40 г свіжого каталізатора. Суміш нагрівають до температури 85-90°C протягом 4-6 годин. Завершення реакції контролюють за допомогою високоефективної рідинної хроматографії. Після завершення реакції неочищений продукт охолоджують до температури 50-60°C і фільтрують для відділення ніацинаміду від шару каталізатора. Шар каталізатора промивають демінералізованою водою, щоб звільнити каталізатор від гідролізованої маси 3-ціанопіридину. Отриманий вологий каталізатор повертають назад для наступного етапу гідролізу. Безбарвний водний розчин концентрують і сушать, отримуючи 561,5 г ніацинаміду. Чистота: 99,6%; вміст ніацину <0,23%. Відновлений водний шар, що містить 3-ціанопіридин і спирт, повертають назад для наступного етапу гідролізу [22].

При розробці процесу виробництва ніацинамід велика увага приділялася його нешкідливому впливу на навколишнє середовище.

У технологічному процесі компанії Лонза 3-ціанопіридин перетворюється на нікотинамід за допомогою мікроорганізму роду *Rhodococcus*. Також застосовуються гетерогенні каталізатори. При використанні каталізаторів мідь-хром оксид, діоксид марганцю або діоксид марганцю з оксидом хрому-нікелю, оксид хрому-кобальту або діоксид марганцю з діоксидом титану та кремнію дають досить високий вихід нікотинамід [18].

У минулому 3-піколін окислювався перманганатом, азотною кислотою або хромовою кислотою.

Нікотинамід було отримано, використовуючи нітрилгідратазу з *R. Rhodochrous* J1. Дослідження використання *Rhodococcus rhodochrous* J1 показало досить високу конверсію 3-ціанопіридину в нікотинамід [23]. Нітрил гідратази гідролізують 3-ціанопіридин з утворенням нікотинамід (Схема 1.4).

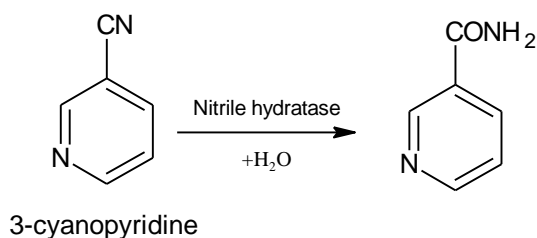


Схема 1.4 Біоконверсія 3-ціанопіридину ферментами, що гідролізують нітрил. 3-ціанопіридин перетворюється нітрилгідратазою в нікотинамід.

Під час використання *Rhodococcus rhodochrous* PA-34 («мутант 4D») спостерігалася висока активність щодо перетворення 3-ціанопіридину в нікотинамід.

Беручи до уваги здатність *R. Rhodochrous* PA-34 до біотрансформації, було згенеровано мутантний штам, тобто мутант 4D, що має гіперактивність NH-ази за допомогою хімічного мутагену. Цей мутантний штам (мутант 4D) *R. Rhodochrous* PA-34 продукує гіперактивні нітрилгідратази, яка має вдвічі вищу активність NH-ази. Нітрил гідратаза мутантного штаму термостабільна.

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Він забезпечує активність нітрилгідратази при 55°C та стабільний при низькому рН розчину.

Продуктивність мутантних спочиваючих клітин значно вища, ніж дикого штаму. Отже, цей мутант може діяти як ефективний біокаталізатор для біотрансформації 3-ціанопіридину в нікотинамід в промислових масштабах.

Таблиця 1.2

Вплив мутанту *Rhodococcus rhodochrous* PA-34 на час та перетворення 3-ціанопіридину в ніацинамід за температури 55°C.

3-ціанопіридин (М)	Спочиваючі клітини (мг/мл dcw )	Час і концентрація перетворення 3-ціанопіридину в нікотинамід при 55°C	
		Час (год)	Перетворення (%)
4	4	3	100
5	5	3	100
6	6	3	100
7	7	3	100
8	8	3	75
		6	94
		9	87
9	9	Реакція не проходить тому, що суміш стала густою через велику кількість 3-ціанопіридину	
10	10		

Мутант 4D показав дуже хороший потенціал для виробництва нікотинамиду з 3-ціанопіридину. Порівняння каталітичної продуктивності різних Nhase показує, що Nhase мутантного 4D досить ефективний у перетворенні 3-ціанопіридину на нікотинамід.

Отже, *Rhodococcus rhodochrous* PA-34 («мутант 4D») має набагато більший потенціал гідратації; стабільний при високій температурі (55°C), високій іонній силі (0,3 М) буфера та у кислому середовищі (рН 5,5); здатний

біотрансформувати вищу концентрацію (7 М) субстрат (3-ціанопіридин), ніж інші штами за менший період часу, тобто 3 год. Отже мутантний штам може бути кращим варіантом для виробництва нікотинаміду в промислових масштабах [24].

## 1.6 Характеристика нітрилгідратази та каталізатора

Нітрилові сполуки (R-CN) містять ціанідну групу (-CN), тому раніше, зазвичай, називали органічними ціанідами. Вони широко поширені в природі, де вони в основному присутні у вигляді ціаноглікозидів, ціаноліпідів, рициніну та фенілацетонітрилу, що виробляють рослини. Синтетично нітрили можуть бути отримані одним із кількох шляхів, включаючи дегідратацію амідів або приєднання ціаністого водню до карбонільних груп (альдегідів і кетонів). Нітрили є важливими та універсальними проміжними продуктами в органічному синтезі, широко використовуються в промисловості для виробництва полімерів і хімікатів. Нітрили також використовуються як розчинники, екстрагенти, фармацевтичні препарати, вихідна сировина, лікарські проміжні продукти і пестициди, а також в органічному синтезі амінів, амідів, амідинів, складних ефірів, карбонових кислот, альдегідів, кетонів та гетероциклічних сполук.

Нітрили є важливими джерелами (як прекурсори) карбоксиамідів і карбонових кислот шляхом гідролізу (схема 1.5).

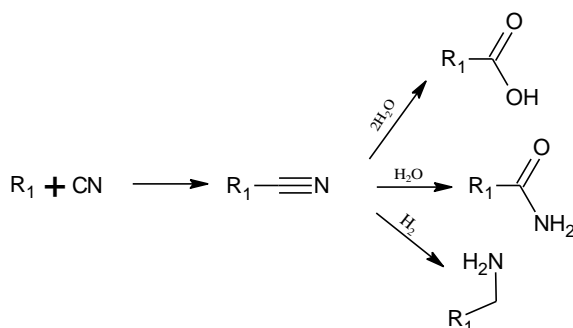


Схема 1.5: Схематичне зображення перетворення ціаніду в інші функціональні групи.

Нітрили можуть бути гідролізовані до карбонових кислот та амідів,

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

відновлені до первинних амінів або вибірково перетворюватися специфічними каталізаторами [25].

Традиційно використовується кислотний або лужний гідроліз нітрилів для утворення відповідної кислоти або аміду.

Альтернативою є використання біокаталізу. Біокаталізатори можуть працювати при різних умовах, кислому рН і температури. Вони також демонструють хемо-, регіо- та стереоселективність, завдяки своїй специфічності, що дозволяє уникнути втрати лабільних груп, яка може виникнути з реакції кислотного або основного гідролізу нітрилу.

Біологічно є перевага у наявності двох різних ферментних систем, одна з яких перетворює нітрили безпосередньо в карбонову кислоту, а інший утворює проміжний амід (схема 1.6). Серед аеробних ґрунтових бактерій – види *Rhodococcus*, *Bacillus* і *Pseudomonas* є найпоширенішою культурою, яка може гідролізувати нітрили.

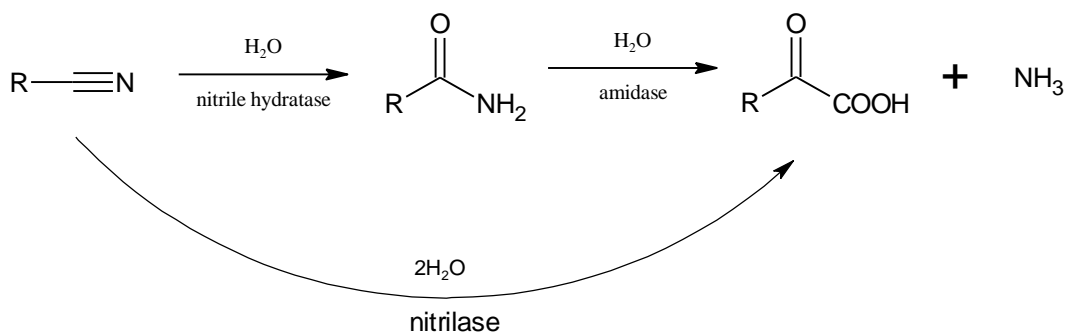


Схема 1.6 Гідроліз нітрилу, каталізований прямим перетворенням нітрилази у відповідну кислоту або за допомогою реакції двох ферментів нітрилгідратази/амідази.

Хімічні перетворення нітрилів вимагають жорстких умов (підвищених температур і тиску) і часто утворюють токсичні побічні продукти. Ферменти нітрилаза і нітрилгідратаза здатні перетворювати широкий спектр нітрилів у більш м'яких умовах. З використанням нітрилгідратази, виробляють ніацинамід з 3-ціанопіридину [25].

Зокрема, було визнано, що родококи є чудовими нітрильними біокаталізаторами.

Рід *Rhodococcus* належить до типу *Actinobacteria* і його члени є

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД          НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
						<b>31</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аеробними, грампозитивними та малорухливими бактеріями. Великі групи бактерій містяться в ґрунті, ґрунтових водах, морських відкладеннях, внутрішніх органах комах, підземних водах, свердловинах, гної тварин, хворих та здорових тваринах або рослинах (лише деякі). Вважається, що переважна більшість є нешкідливими. Починаючи з 1980-х років, їх застосування як (цільноклітинного) біокаталізатора вийшло на перший план, і з того часу було опубліковано численні звіти про успішні біоконверсії із тенденцією до зростання.

*Rhodococcus* є каталізаторами, які розкладають різноманітні як природні органічні, так і ксенобіотичні сполуки. Також види *Rhodococcus* демонструють здатність до біодеградації проти коротко- та довголанцюгових алканів, галогенованих та нітрозаміщених ароматичних, гетероциклічних, та поліциклічних сполук. Поруч із фізіологічними ознаками, такими як висока загальна толерантність до субстратів і розчинників можна пояснити метаболічну різноманітність роду *Rhodococcus* через наявність і рухливість великих лінійних плазмід; множинність катаболічних генів; високу надмірність біосинтетичних шляхів та їх складні регуляторні мережі геномів.

Він слугує найсучаснішим біокаталізатором, який можливий з *Rhodococcus*, зосереджуючись на різноманітності реакцій і відповідному субстратному діапазоні кожного ферменту [26].

Родококові нітрилази та нітрилгідратази можна використовувати для виробництва акрилової кислоти, різних високоцінних амідів, вітаміну – нікотинаміду і п-амінобензойної кислоти, антимікобактеріальних агентів гідразиду і піразинаміду ізонікотинової кислоти та -гідроксикислоти.

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

## Механізм реакції нітрилгідратази:

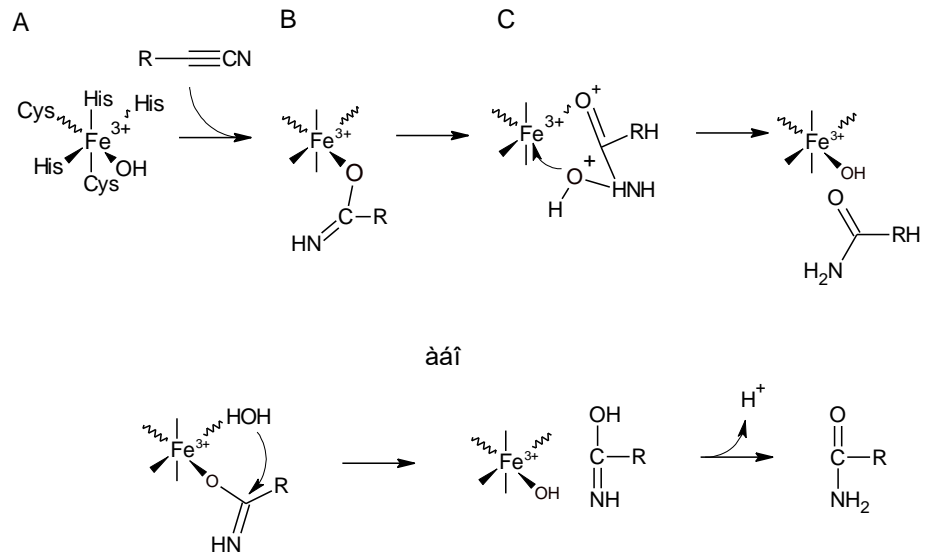
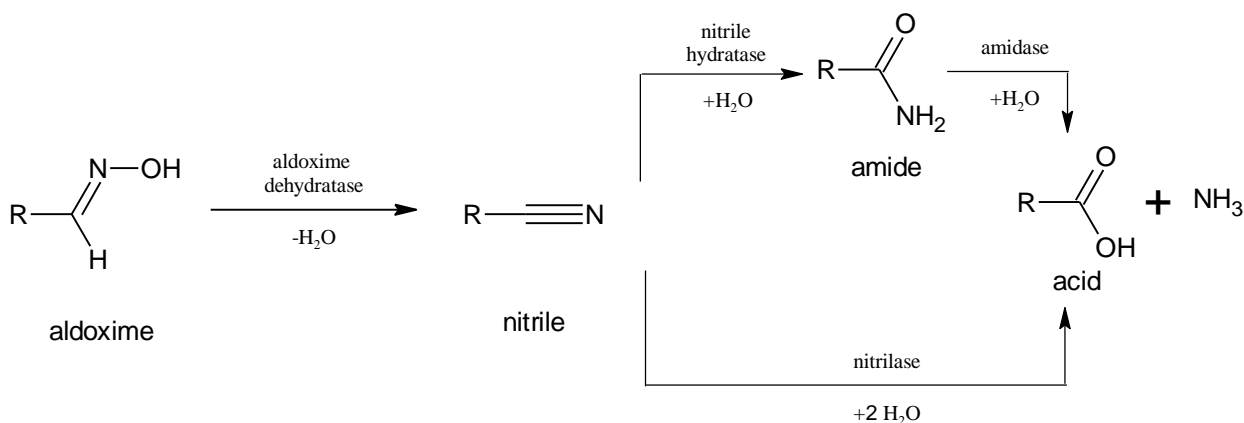


Схема 1.7: Координація заліза в активному центрі, запропонована для нітрилгідратази, і можливий механізм реакції за участю координованої гідроксильної групи.

Перший запропонований механізм реакції для NH-ази заліза, показаний на схемі 1.7, включає атаку металозв'язаного гідроксиду на нітрильну групу, що призводить до нестабільної таутомерії амиду, який направлений до активного центру металу. Перегрупування амиду і подальша дисоціація продукту передбачає тимчасове утворення п'ятикоординатного комплексу заліза при перенесенні зв'язаного гідроксиду. Повторна координація розчинного гідроксиду, отримана із розчинника, завершує каталітичний цикл і показує продукти перетворення з NH-ази. Можливий альтернативний механізм, в якому зв'язаний проміжний продукт активується для атаки молекулою розчинника. Цей механізм реакції нітрилгідратази досі широко не застосовується [25].

Ферменти, присутні в альдоксим-нітрильному шляху, каталізують як синтез, так і розкладання азотовмісних органічних сполук. Шляхом окислення і декарбоксилювання амінокислот утворюються альдоксими, які згодом дегідратуються та отримують нітрили. Ці нітрили можна перетворити на карбонові кислоти за допомогою двох можливих шляхів: одностадійна реакція, що каталізується нітрилазами, або через амідний проміжний

продукт, що каталізується нітрилгідратазою та амідазою.



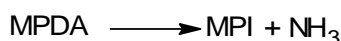
Різні види *Rhodococcus* використовують альдоксим-нітрильний шлях і, отже, відповідні ферменти (альдоксимдегідратаза, нітрилаза, нітрилгідратаза та амідаза) присутні в багатьох штаммах.

Універсальне використання цих ферментів у синтетичній органічній хімії з лабораторного до багатотонного масштабу для промислового застосування демонструє силу *Rhodococcus* як біокаталізатора [26].

### 1.7 Хімічні основи процесу отримання ніацинамідру

Метод компанії Лонза (патент US5719045) виробництва ніацинамідру включає два етапи з двома реакціями на кожному. На першому етапі виробляють вихідний матеріал для виробництва ніацинамідру 3-піколін. На другому етапі піколін окислюється, в результаті утворюється ніацинамід і нікотинова кислота.

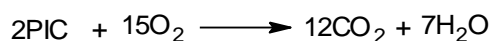
Процес починається з MPDA, як вихідної сировини, яка є побічним продуктом нейлону-6,6. Рідкий MPDA спочатку випаровується і перетворюється на 3-метилпіперидин (MPI) через дезамінування, що призводить до замикання кільця. Ця екзотермічна реакція відбувається в присутності цеолітного каталізатора H-ZSM-5 (Zeolite Socony Mobil-5 (ZSM-5) – пентасиловий цеоліт із високим вмістом діоксиду кремнію, розроблений компанією Mobil Oil у 1972 році. H-ZSM-5 – це H-форма, або протонний тип ZSM-5):



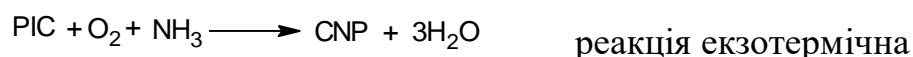
Потім відбувається дегідрування метилпіперидину до 3-піколіну (PIC) за присутності каталізатора Pd-SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:



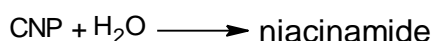
Під час побічної реакції близько 10% піколіну перетворюється в різні побічні продукти:



Залишок піколіну вступає в реакцію амоксидування в присутності каталізатора V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/TiO<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub>/MoO<sub>3</sub> з утворенням 3-ціанопіридину (CNP):



Біокаталізатор, що виробляється бактеріями *Rhodococcus rhodochrous* PA-34 (мутант PA-34 (мутант 4D)) допомагає перетворити 3-ціанопіридин в ніацинамід за допомогою ферментативного гідролізу:



Вихід ніацинаміду визначається шляхом регулювання рН (кисле середовище) у четвертому реакторі, який складається з трьох реакторів з постійним перемішуванням. Потім продукти проходять через деколоризатор, нейтралізатор, випарник та сушарку для отримання чистого порошку ніацинаміду [27].

#### Етапи реакцій

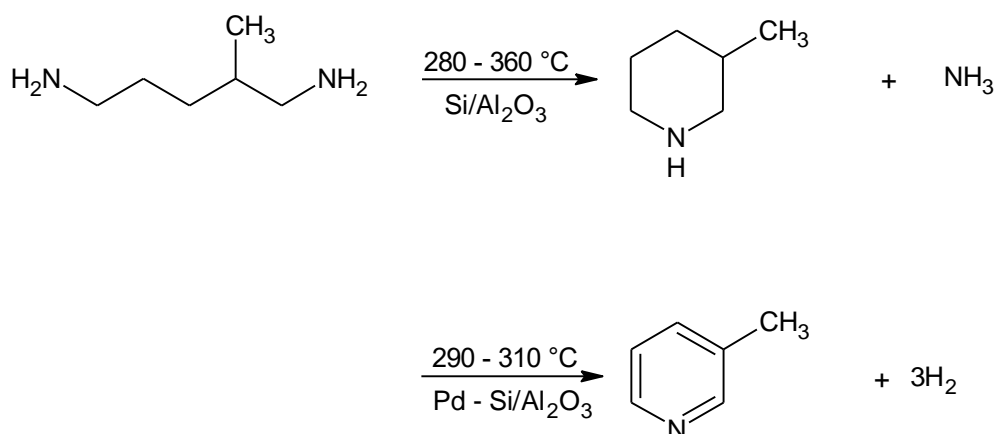


Схема 1.8. Перетворення MPDA в MPI та MPI в PIC

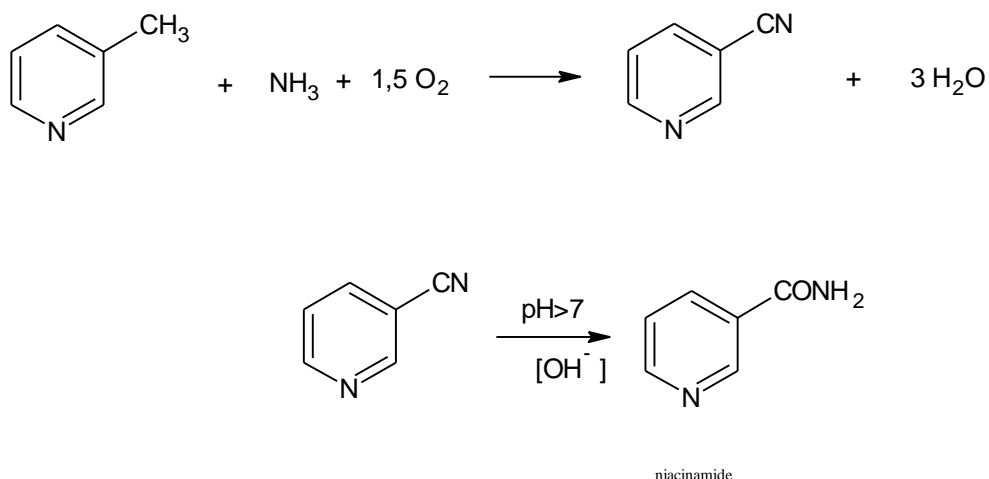


Схема 1.9. Перетворення РІС (3-піколіну) в CNP і потім гідроліз CNP (ціанопіридину) в ніацинамід

### 1.8 Обґрунтування напрямку удосконалення

Нестача енергії та природних ресурсів є двома основними факторами, які визначили кардинальну зміну пріоритетів суспільства і, відповідно, хімії за останні кілька років.

Зелена хімія представляє інноваційний підхід у хімії, спрямований для надання розуміння до ефективного використання сировини, оптимізації потоків відходів і видалення небезпечних реагентів і розчинників у виробництві та застосуванні хімічних продуктів. Зелена хімія конкретизована у 12 принципах.

Основні з них спрямовані на:

- перетворення максимальної кількості реагентів на корисні продукти;
- мінімізацію утворення відходів завдяки складанню реакцій;
- використання нешкідливої сировини та виробництво безпечних продуктів;
- безпечність процесів;
- використання відновлюваної сировини;
- розробку енергоефективних процесів.

Концепція екологічної хімії визначається як використання принципів, що зменшують або усувають використання чи утворення небезпечних речовин у розробці, виробництві та використанні хімічної продукції.

Виходячи з цього розробка процесу включає проектування, виробництво та використання каталізаторів, які зменшують шкідливі викиди в атмосферу, кількість використаних ресурсів, енергії.

Таким чином, рекомендації для виробництва повинні включати:

- вибір сировини (витрати мають значення, але також загальні ресурси, енергія, відходи тощо у виробництві даної сировини є важливими факторами)
- вибір протікання реакції (мінімізувати потреби в енергії за допомогою селективного каталізатора)
- вибір каталізатора (ефективність, відокремлення від продукту, переробка каталізатора, необхідно продуманої та постійно реалізованої концепції безпеки з використанням передової технології реакції)
- операції з переробки/одиниці (зведення до мінімуму кількості етапів, необхідних для отримання продукту)
- мінімізація не тільки кількості забруднювачів, а й обсяг потоків відходів (стоки, відхідні гази та тверді відходи)
- переробка допоміжних, побічних і проміжних продуктів у технологічний процес [28].

Беручи до уваги рекомендації до виробництва з використанням зелених технологій у кваліфікаційній роботі досліджується спосіб отримання ніацинамід у з використанням біокаталізатора *Rhodococcus Rhodochros* P-34.

Переваги процесу отримання ніацинамід у можна підсумувати таким чином:

- використання каталізаторів для прискорення реакції;
- для перебігу реакцій використовують атмосферний тиск;
- реакція у газовій фазі (реакція амооксидування) не потребує відновлення каталізатора з розчину;

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

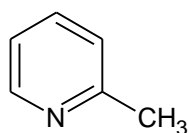
- як розчинник використовується вода;
- аміак очищають, переробляють та повторно використовують у процесі;
- завдяки високоселективній реакції мінімізується кількість відходів;
- ефективне використання обладнання, енергії, сировини.

Отже, процес відповідає багатьом критеріям екологічної хімії: є ефективним щодо викиду вуглецю, використання біокаталізатора і як розчинника – води, аміак очищають та переробляють. Дане виробництво не містить токсичних, корозійних та небезпечних речовин, використовуються окислювачі та каталізатори для пришвидшення процесу.

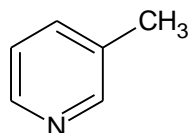
## РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика вихідної сировини для виробництва ніацинаміду

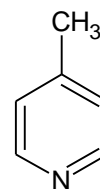
Основною сировиною для виробництва ніацинаміду є піколін. Піколінами називають монометильні похідні піридину. Розрізняють  $\alpha$ -піколін (2-метилпіридин),  $\beta$ -піколін (3-метилпіридин) і  $\gamma$ -піколін (4-метилпіридин).



$\alpha$ -піколін



$\beta$ -піколін



$\gamma$ -піколін

Піколіни – безбарвні рідини з неприємним запахом, добре розчиняються у воді та органічних розчинниках. Температура кипіння  $\alpha$ -піколіну – 129,5°C,  $\beta$ -піколіну – 144°C,  $\gamma$ -піколіну – 154,5°C. Основні властивості піколіну наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Властивості піколіну

Молекулярна формула	$C_6H_7N$
Молярна маса	93,13
Густина	0,957 г/мл при 25 °С
Температура плавлення	-19 °С
Температура кипіння	144 °С
Розчинність у воді	розчинний
Зовнішній вигляд	рідина
Колір	прозорий жовтий
Запах	неприємний
pKa	5,68 (при 20 °С)
pH	10 (100 г/л, $H_2O$ , 20 °С)

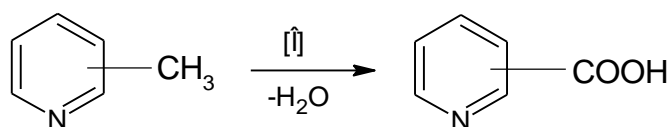
					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.039.КР.ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гуленко К.В.			<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Сабадаш Н.І.					39	
Н. Контр.		Подобій О. В.				НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.						

Бета-піколін, який також називають 3-піколіном або 3-метилпіридином, є прозорою органічною рідиною. Він повністю розчинний у воді, спирті та ефірі. Найбільше бета-піколін застосовують у виробництві вітаміну В<sub>3</sub> (ніацинамід). Бета-піколін є важливим проміжним продуктом для таких агрохімікатів, як хлорпірифос, галоксифоп, флуазіфоп бутил, а також для фармацевтичних проміжних продуктів.

Використовується у фармацевтичній промисловості, як проміжний продукт для барвників, смол, пестицидів та гідроізоляційних агентів, є важливим проміжним продуктом для синтезу ліків.

#### Хімічні властивості піколінів

Метил піридини утворюють солі із сильними кислотами та алкілгалогенідами, окислюються пероксикислотами до N-оксидів, відновлюють воднем у присутності Pt або Pd з утворенням похідних піперидину. Під дією окисників –  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  або піридин карбонових кислот – піколінової, нікотинової та ізонікотинової кислот.



Піколіни використовують в органічному синтезі [29].

Сьогодні основна частина піколіну виробляється шляхом конденсації ацетальдегіду або формальдегіду з аміаком у газовій фазі. Альтернативний метод отримання 3-піколіну полягає у конденсації молекули 2-метил-5-пентандіаміну (MPDA) до метилпіперидину, потім шляхом дегідрування до 3-піколіну. 2-метил-глутаронітрил є основним побічним продуктом у процесі отримання 3-піколіну. Він легко піддається гідрогенізації MPDA. Хоча цей спосіб має також недоліки, але використання у майбутньому 2-метил-глутаронітрил для виробництва нейлону 6,6 є перевагою. У цьому процесі є кілька переваг:

- вироблений 3-піколін має дуже високу ізомерну чистоту;

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

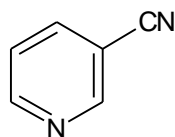
- піколін виробляється в двостадійному каталітичному процесі, який є практично енергетично нейтральним: ендотермічний (кільцевий закриття) і екзотермічна реакція (дегідрування);
- виділяється аміак, який може бути використаний в наступному процесі (амоксидація або розчинення нікотинової кислоти);
- утилізація відходів (2- метил-глутаронітрил може бути використаний як со-мономер у виробництві інших поліамідів, але кінцевий продукт ніацин має значно вищу цінність) [18].

Проміжною сировиною для виробництва ніацинаміду є 3-ціанопіридин. 3-ціанопіридин також називають нікотинаміном, це білі тверді кристали або безбарвна рідина.

Молекулярна формула  $C_6H_4N_2$

Маса=104,11

Структурна формула



Фізичні властивості:

Точка плавлення: 50 ~ 52 °C

Точка кипіння: 222 ~ 227 °C (сублімований)

Температура спалаху: 84 °C

Відносна щільність (вода=1)=1,08 (25°C)

Розчинність: розчинний у воді, етанолі, етиловому ефірі, хлороформі, бензолі та петролейний ефір [30].

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

## 2.1 Принципова технологічна схема

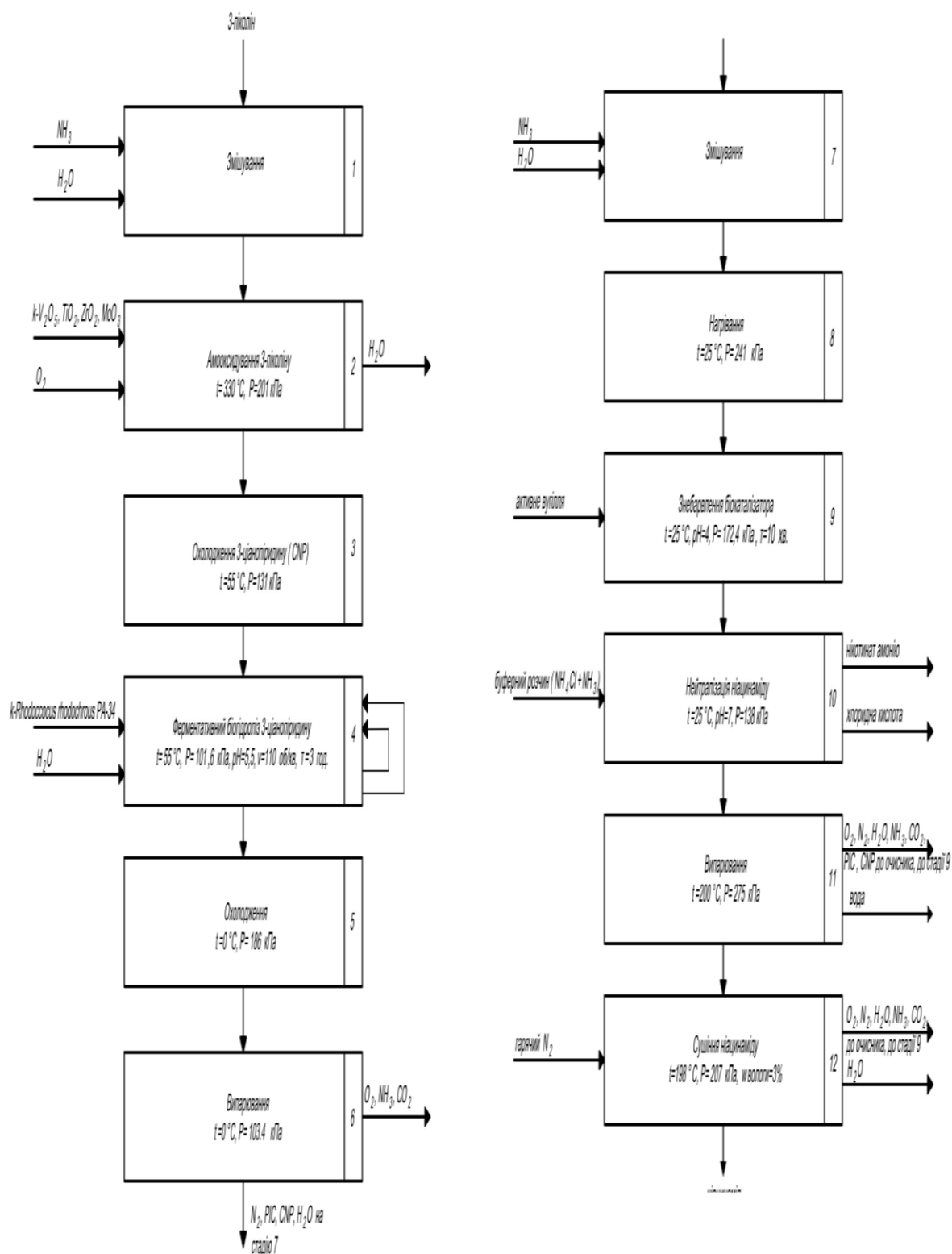


Рисунок 2.1 Принципова технологічна схема отримання ніацинамідом

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

На принциповій технологічній схемі описано процес одержання ніацинаміду. Попередньо з 2-метил-1,5-пентандіаміну (MPDA), який за допомогою каталізаторів перетворюється на метилпіперидин (MPI). Тоді метилпіперидин перетворюють на 3-піколін (PIC). 3-піколін використовують як вихідну речовину для отримання ніацинаміду. Нижче наведено опис процесу одержання ніацинаміду з 3-піколіну.

#### 1. Змішування

Вихідну сировину – 3-піколін, амоніак та холодну воду змішують між собою. У результаті отримують розчин 3-піколіну, який необхідний для отримання 3-ціанопіридину.

#### 2. Амооксидування PIC

Розчин 3-піколіну за рахунок екзотермічного амооксидування у присутності кисню отримують 3-ціанопіридин. Вода є побічним продуктом реакції. Реакція відбувається при температурах 280 – 400°C у присутності каталізатора, що складається з оксидів ванадію, титану, цирконію і молібдену. Оптимальними умовами процесу є температура 330°C, тиск 201 кПа, каталізатор  $V_2O_5$ ,  $TiO_2$  і  $ZrO_2$ , в молярному співвідношенні 1:3:8 і  $MoO_3$ . Молярний склад сировини для реакції амооксидування є ідеальним  $PIC:O_2:NH_3 = 1:40:1,3$ .

Під час побічних реакцій, які відбуваються паралельно з основним процесом, органічні речовини перетворюються на азот, вуглекислий газ і воду. Одержаний розчин 3-ціанопіридину з сумішшю газів та води надходять на наступну стадію.

#### 3. Охолодження 3-ціанопіридину (CNP)

Одержаний розчин 3-ціанопіридину охолоджують за допомогою теплообмінника до температури 55°C. Отримуємо охолоджений 3-ціанопіридин, який необхідний для стадії біогідролізу.

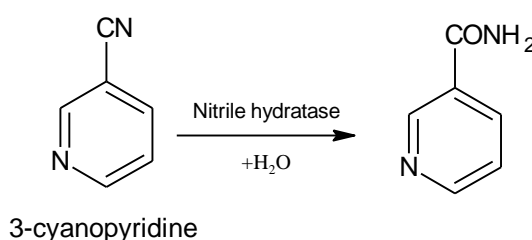
#### 4. Ферментативний біогідроліз

Наступна стадія полягає у тому, що 3-ціанопіридин піддається ферментативному гідролізу в присутності біокаталізатора

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

(нітрилгідратази, що виробляється мікроорганізмами роду *Rhodococcus rhodocrous* PA-34) для перетворення 3-ціанопіридину в ніацинамід за температури 55°C, тиску 101,6 кПа та у слабо кислому середовищі протягом 3 годин з концентрацією 3-ціанопіридину 99,96 кг/м<sup>3</sup>. Конверсія становить 100%. Даний процес відбувається в каскадному реакторі, який складається з трьох реакторів, з'єднаних між собою. Загальна тривалість процесу складає 9 годин, в кожному реакторі по 3 години. В результаті одержуємо розчин ніацинаміду.

Хімічний процес, що відбувається можна схематично зобразити:



#### 5. Охолодження

Розчин ніацинаміду охолоджують у теплообміннику до температури 0°C, тиск 186 кПа для того, щоб випарувати суміш газів та інших речовин.

#### 6. Випарювання

У випарнику відділяють розчин ніацинаміду від кисню, водню, аміаку, вуглекислого газу, залишків PIS, CNP. Залишки O<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, та CO<sub>2</sub> відправляють до скрубера на очистку. Залишки N<sub>2</sub>, PIS, CNP та H<sub>2</sub>O надходять до змішувача.

#### 7. Змішування

До розчину ніацинаміду, який надійшов з попередньої стадії, додають амоніак та воду. Змішування проводять до повного об'єднання речовин.

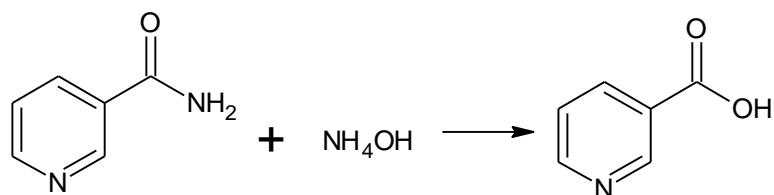
#### 8. Нагрівання

Змішаний розчин підігрівають до температури 25°C за допомогою теплообмінника.

#### 9. Знебарвлення біокаталізатора

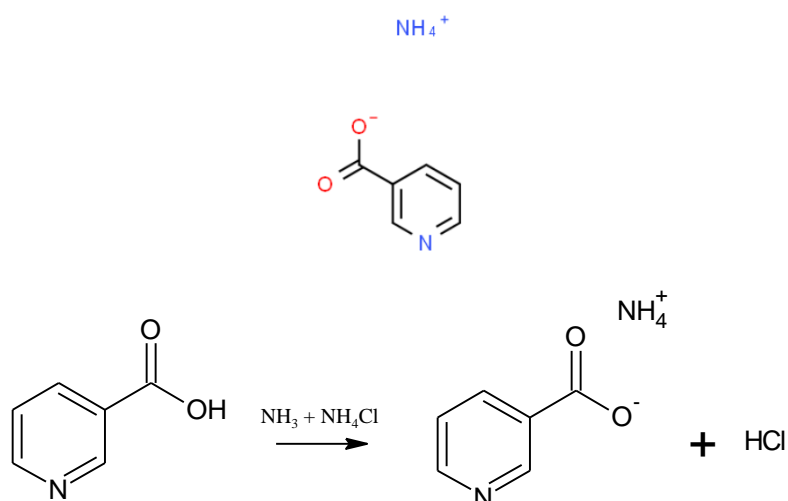
					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Каталізатор *Rhodococcus rhodochrous* PA-34, який має червоне (малинове) забарвлення, піддається деколоризації у адсорбційній колоні. Метод очищення амідних сполук полягає у взаємодії з активним вугіллям. Активоване вугілля є адсорбентом. Температура процесу становить 25°C, тиск – 172,4 кПа, тривалість процесу 10 хв. Реакцію проводять у слабо лужному середовищі. У результаті частково утворюється нікотинова кислота.

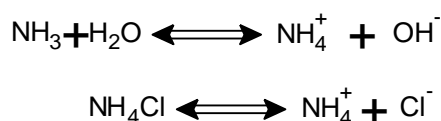


#### 10. Нейтралізація ніацинамідну

Нікотинова кислота нейтралізується у форму солі ніацину, утворюється сіль нікотинат амонію.



Для нейтралізації продукту використовують аміачний буферний розчин, що складається з слабкої основи  $\text{NH}_3$  (амоніак) і її сполученої основи  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (хлорид амонію). Амоній хлорид повністю дисоціює, утворюючи іони амонію, які виконують роль зв'язаної кислоти для молекул амоніаку.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Буферний розчин запобігає змінам рН, коли до нього додають невелику кількість кислоти або основи. Процес відбувається у нейтралізаційній колоні за температури 25°C.

#### 11. Випарювання

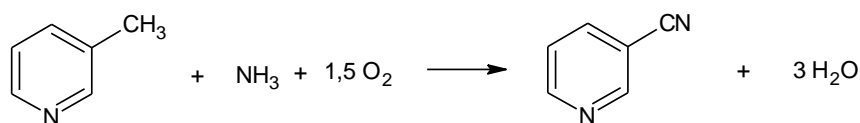
Нейтралізований розчин ніацинамід у випарюють у випарній колоні за температури 200°C. У результаті випарювання отримується вологий порошок ніацинамід, який далі відправляють на сушіння. Кисень, аміак відправляють до газоочисника, потім на стадію змішування.

#### 12. Сушіння ніацинамід

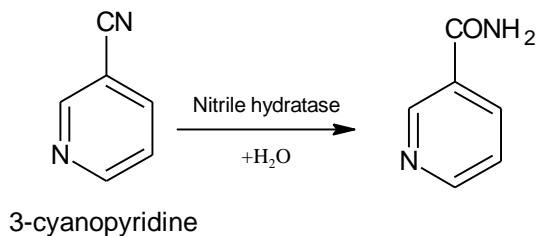
На цій стадії відбувається процес сушіння розчину ніацинамід за температури 198°C у турбо сушарці. У якості сушильного агента подається гаряча азотна суміш, яка випаровує воду, аміак і азот, в результаті отримуємо дрібний порошок ніацинамід. Залишки аміаку, азоту та води очищаються та повторно надходять до стадії змішування. Після сушіння ніацинамід відправляють на фасування, потім – на склад на зберігання. Зберігають його в резервуарах, у прохолодному, сухому місці без попадання на нього прямого світла, у щільно закупореній тарі. Термін придатності складає 36 місяців, при температурі <25°C. У незакритій оригінальній тарі його використання обмежено до дати, яка зазначена на етикетці. Пакувальні матеріали повинні щільно закриватися. Це може бути скло, алюміній, харчові пластмаси тощо.

### 2.2 Матеріальний баланс виробництва

Даний розрахунок проводиться на 100 кг/добу готової продукції ніацинамід. Ступінь перетворення 99%. Витрати на кожній стадії становлять 0,2-5%. Реакції процесу:



					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



Молекулярна маса (кг/кмоль):

3-піколін=94

3-ціанопіридин=104,11

Ніацинамід=122

### Матеріальний баланс стадії змішування

Першою стадією є змішування 3-піколіну, амоніаку та води. Втрати складають 0,5%. Дані наведені у таблиці 2.2.

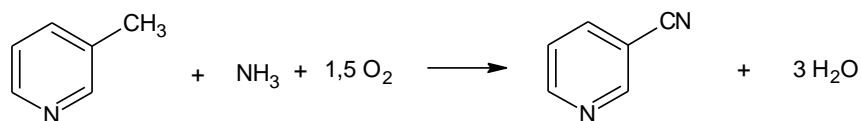
Таблиця 2.2

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
РІС	185	Одержаний розчин 3-піколіну	582,1
NH <sub>3</sub>	150		
H <sub>2</sub> O	250		
		Втрати	2,9
<b>Всього</b>	<b>585</b>	<b>Всього</b>	<b>585</b>

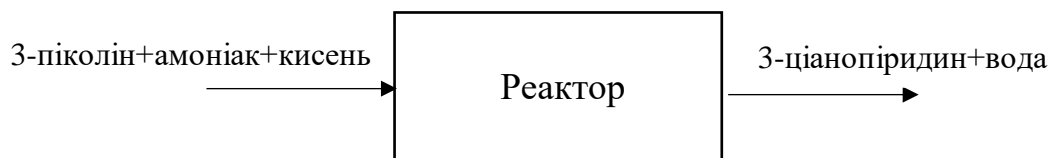
Втрати складають:  $585 \cdot 0,005 = 2,9$  кг

### Матеріальний баланс стадії амооксидування

Наступна реакція відбувається в реакторі:



Конверсія складає 99%.



$$M(3\text{-піколіну}) = 94 \text{ г/моль}$$

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

$$M(3\text{-ціанопіридину}) = 104,1 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{води}) = 18 \text{ г/моль}$$

Виходячи з рівняння, кількості речовин дорівнюють:

$$v(3\text{-піколіну}) = v(3\text{-ціанопіридину}) = \frac{582,1 \cdot 1000}{94,1} = 6186 \text{ моль}$$

$$m(3\text{-ціанопіридину}) = \frac{6186 \cdot 104}{1000} = 643,3 \text{ кг}$$

$$v(3\text{-піколіну}) = 3(\text{H}_2\text{O}) = 18558 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{18558 \cdot 18}{1000} = 334 \text{ кг}$$

Дані наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Розчин 3-піколіну	582,1	3-ціанопіридин (CNP)	643,3
O <sub>2</sub>	396,1		
		H <sub>2</sub> O	334
Каталізатор	100	Каталізатор	100
		Втрати	0,9
<b>Всього</b>	<b>1078,2</b>	<b>Всього</b>	<b>1078,2</b>

### Матеріальний баланс стадії охолодження

Втрати на стадії охолодження становлять 0,2%. Дані наведені у таблиці

2.4.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

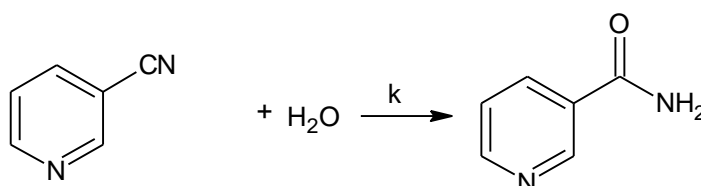
Таблиця 2.4

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
3-ціанопіридин (CNP)	643,3	Охолоджений 3- ціанопіридин (CNP)	642
		Втрати	1,3
<b>Всього</b>	<b>643,3</b>	<b>Всього</b>	<b>643,3</b>

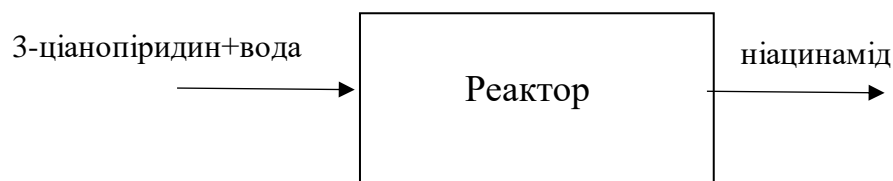
Втрати складають:  $643,3 \cdot 0,002 = 1,3$  кг

### Матеріальний баланс стадії ферментативного біогідролізу

Наступна реакція відбувається в реакторі:



Конверсія складає 99%.



$M(\text{3-ціанопіридину}) = 104,1$  г/моль

$M(\text{води}) = 18$  г/моль

$M(\text{ніацинаміду}) = 122$  г/моль

Виходячи з рівняння, кількості речовин дорівнюють:

$v(\text{3-ціанопіридину}) = v(\text{H}_2\text{O}) = v(\text{ніацинаміду}) = \frac{642 \cdot 1000}{104,1} = 6167,1$  моль

$m(\text{3-ціанопіридину}) = \frac{6167,1 \cdot 122}{1000} = 752,4$  кг

$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{6167,1 \cdot 18}{1000} = 111$  кг

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Втрати складають 5%. Дані наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
CNP	642	Ніацинамід	752,4
H <sub>2</sub> O	425	H <sub>2</sub> O (з залишками 3-ціанопіридину)	111
Каталізатор	10	Каталізатор	10
		Втрати	203,6
<b>Всього</b>	<b>1077</b>	<b>Всього</b>	<b>1077</b>

#### Матеріальний баланс стадії охолодження

П'ята стадія – охолодження. Втрати складають 1%. Дані наведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Ніацинамід	752,4	охолоджений розчин ніацинаміду	744,9
		Втрати	7,5
<b>Всього</b>	<b>752,4</b>	<b>Всього</b>	<b>752,4</b>

#### Матеріальний баланс стадії випарювання

Втрати на стадії випарювання складають 4%. Дані наведені у таблиці 2.7.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						<b>50</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
охолоджений розчин ніацинамід	744,9	ніацинамід	499,2
		домішки	215,7
		Втрати	30
<b>Всього</b>	<b>744,9</b>	<b>Всього</b>	<b>744,9</b>

### Матеріальний баланс другої стадії змішування

Втрати на II стадії змішування складають 1%. Дані наведені у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
ніацинамід	499,2	Розчин ніацинамід	707,1
NH <sub>3</sub>	95		
H <sub>2</sub> O	120		
		Втрати	7,1
<b>Всього</b>	<b>714,2</b>	<b>Всього</b>	<b>714,2</b>

### Матеріальний баланс стадії нагрівання

Восьма стадія – нагрівання. Втрати складають 0,5%. Дані наведені у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Розчин ніацинаміду	707,1	Розчин ніацинаміду	703,1
		Втрати	4
<b>Всього</b>	707,1	<b>Всього</b>	707,1

### Матеріальний баланс стадії знебарвлення

Втрати на стадії знебарвлення каталізатора складають 1%. Дані наведені у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Розчин ніацинаміду	703,1	Безбарвний розчин ніацинаміду з вмістом нікотинової кислоти	695,8
активоване вугілля	10	активоване вугілля	10
		Втрати	7,3
<b>Всього</b>	713,1	<b>Всього</b>	713,1

### Матеріальний баланс стадії нейтралізації

Десята стадія – нейтралізації. Втрати складають 3%. Дані наведені у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Безбарвний розчин ніацинамідру з вмістом нікотинової кислоти	695,8	Нейтралізований розчин ніацинамідру	668,8
NH <sub>3</sub>	75	HCl	75
NH <sub>4</sub> Cl	100	NH <sub>4</sub> OH	100
		Втрати	27
<b>Всього</b>	<b>870,8</b>	<b>Всього</b>	<b>870,8</b>

### Матеріальний баланс стадії випарювання

Вологість ніацинамідру складає 15%. Втрати сировини на стадії сушіння складають 3%. Дані наведені у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Нейтралізований розчин ніацинамідру	688,5	Нейтралізований розчин ніацинамідру	288,5
		вода	195
		домішки	139
		Втрати	66
<b>Всього</b>	<b>688,5</b>	<b>Всього</b>	<b>688,5</b>

### Матеріальний баланс стадії сушіння

Вологість ніацинаміду складає 3%. Втрати сировини на стадії сушіння складають 5%. Дані наведені у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Нейтралізований розчин ніацинаміду	288,5	Нейтралізований розчин ніацинаміду	28,5
висушений порошок ніацинаміду	-	висушений порошок ніацинаміду	100
гарячий N <sub>2</sub>	69	гарячий N <sub>2</sub>	69
		домішки	85
		Втрати	75
<b>Всього</b>	<b>357,5</b>	<b>Всього</b>	<b>357,5</b>

### Матеріальний баланс виробництва ніацинаміду

Для виробництва 100 кг ніацинаміду необхідно 185 кг 3-піколіну.

Таблиця 2.14

Прихід речовини		Витрата речовини	
1	2	3	4
Речовина	Маса	Речовина	Маса
РІС	185	Одержаний розчин 3-піколіну	582,1
NH <sub>3</sub>	150		
H <sub>2</sub> O	250		

Розчин 3-піколіну	582,1	3-ціанопіридин (CNP)	643,3
O <sub>2</sub>	396,1		
		H <sub>2</sub> O	334
Каталізатор	100	Каталізатор	100
3-ціанопіридин (CNP)	643,3	Охолоджений 3-ціанопіридин (CNP)	642
CNP	642	Ніацинамід	752,4
H <sub>2</sub> O	425	H <sub>2</sub> O (з залишками 3-ціанопіридину)	111
Каталізатор	10	Каталізатор	10
Ніацинамід	752,4	охолоджений розчин ніацинаміду	744,9
охолоджений розчин ніацинаміду	744,9	ніацинамід	499,2
		домішки	215,7
ніацинамід	499,2	Розчин ніацинаміду	707,1
NH <sub>3</sub>	95		
H <sub>2</sub> O	120		
Розчин ніацинаміду	707,1	Розчин ніацинаміду	703,1
Розчин ніацинаміду	703,1	Безбарвний розчин ніацинаміду з вмістом нікотинової кислоти	695,8

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Продовження таблиці 2.14

активоване вугілля	10	активоване вугілля	10
Безбарвний розчин ніацінамідру з вмістом нікотинової кислоти	695,8	Нейтралізований розчин ніацінамідру	668,8
NH <sub>3</sub>	75	HCl	75
NH <sub>4</sub> Cl	100	NH <sub>4</sub> OH	100
Нейтралізований розчин ніацінамідру	688,5	Нейтралізований розчин ніацінамідру	288,5
Нейтралізований розчин ніацінамідру	288,5	вода	195
висушений порошок ніацінамідру	-	домішки	139
гарячий N <sub>2</sub>	69	Нейтралізований розчин ніацінамідру	28,5
		висушений порошок ніацінамідру	100
		гарячий N <sub>2</sub>	69
		домішки	85
		Втрати	432,6
<b>Разом</b>	<b>8932</b>	<b>Разом</b>	<b>8932</b>

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Арк.

56

### 2.3 Тепловий баланс виробництва

Розрахунок теплового балансу кожухотрубного теплообмінника.

Для нагрівання ніацинаміду від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $25^{\circ}\text{C}$  вибираємо найбільш економічний теплоносій – гріюча водяна пара низького тиску (0,3-0,5 Мпа). У розрахунку приймаємо температуру конденсації  $53^{\circ}\text{C}$ . Розчин ніацинаміду, що нагрівається направляємо в трубки, а пару, що конденсується – в міжтрубний простір. За областю застосування підходить теплообмінник типу Т (ТН або ТК). Продуктивність теплообмінника 12,5 кг/год.

Температурна схема:

$0^{\circ}\text{C} \longrightarrow 25^{\circ}\text{C}$  – розчин ніацинаміду в трубках

$53^{\circ}\text{C} \longrightarrow 53^{\circ}\text{C}$  – пара в міжтрубному просторі

Температура конденсації насиченої пари за тиску 0,1 Мпа  $t_k=53^{\circ}\text{C}$ ; питома теплота конденсації  $r = 2153 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$ .

Розраховуємо різниці температур теплоносіїв на кінцях теплообмінника і середню рушійну силу  $\Delta t_{cp}$ .

$$\Delta t_{\delta} = t_k - t_{2n} = 53 - 0 = 53^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_m = t_k - t_{2k} = 53 - 25 = 48^{\circ}\text{C}$$

Середню різницю температур теплоносіїв визначаємо, як середньо логарифмічну величину між більшою  $\Delta t_{\delta}$  і меншою  $\Delta t_m$  різницями температур теплоносіїв на кінцях теплообмінного апарата

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}}$$

Оскільки  $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} < 2$ , то середню різницю температур визначаємо, як середньоарифметичну:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(\Delta t_{\delta} + \Delta t_m)}{2} = \frac{53 + 48}{2} = 50,5^{\circ}\text{C}$$

Середні температури теплоносіїв:

- температура конденсату дорівнює температурі граючої пари  $t_k=53^{\circ}\text{C}$
- середня температура розчину ніацинаміду

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

$$\Delta t_{cp} = t_k - \Delta t_{cp} = 53 - 50,5 = 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

За середніх температур теплоносіїв їх теплофізичні характеристики:  
ніацинамід:

- питома теплоємність  $c_2 = 1,3 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C}) = 1,3 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_2 = 0,65 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
- коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu_2 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$
- питома густина  $\rho_2 = 1,4 \text{ г}/\text{см}^3 = 1400 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- критерій Прандтля  $Pr = 4,8$

конденсат:

- теплоємність  $c_1 = 4,175 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;
- питома густина  $\rho_1 = 988 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu_1 = 0,54 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_1 = 0,647 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

пара:

- густина  $= 0,094 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

#### 1. Теплове навантаження теплообмінника

Теплове навантаження визначаємо з рівняння теплового балансу, яке має вигляд(без врахування втрат теплоти в навколишнє середовище):

$$Q = Q_1 = Q_2$$

де  $Q_1$  – кількість теплоти, яку віддає гарячий теплоносій, Вт

$Q_2$  – кількість теплоти, яку сприймає холодний теплоносій, Вт.

Якщо теплообмін відбувається без змін агрегатного стану теплоносіїв,  
то

$$Q_1 = G_1 c_1 (t_{1п} - t_{2к});$$

де  $G_1, G_2$  – витрати теплоносіїв, кг/с,

$c_1, c_2$  – питомі теплоємності теплоносіїв,  $^\circ\text{C}$

Тоді рівняння теплового балансу набуває вигляду:

$$Q = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{1п}) = 9,72 \cdot 1,3 \cdot 10^3 (25 - 0) = 3,159 \cdot 10^5 \text{ Вт}$$

$$G_2 = \frac{12,5}{3600} = 9,72 \text{ кг}/\text{с}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Витрата грючої пари

$$G_1 = \frac{Q}{r(t_{2k} - t_{1п})} = \frac{3,159 \cdot 10^5}{2153(25 - 0)} = 5,87 \text{ кг/с}$$

2. Орієнтовний вибір теплообмінника. Приймаємо такі умови роботи теплообмінника:

- Грюча пара конденсується у між трубному просторі, а ніацинамід рухається по трубах теплообмінника;

- Орієнтовне число Рейнольдса для холодного теплоносія  $Re_{op}=800$ , що відповідає розвиненому турбулентному режиму і, відповідно, найкращим умовам теплообміну;

- Діаметр труб апарата  $20 \times 2$ .

Розрахункове число труб в одному ході знаходиться із рівняння об'ємної витрати потоку в трубному просторі

$$n = \frac{V_B}{w_B \cdot 0,785 \cdot d_B^2} = \frac{0,006}{1 \cdot 0,785 \cdot 0,021^2} = 17 \text{ шт}$$

де  $d_B$  – внутрішній діаметр теплообмінних труб,  $d_B = 0,021$  м

$w_B$  – приймаємо приблизно 1 м/с

$V_B$  – об'ємна витрата ( $V_B = G_1/\rho_B = 5,87 / 998 = 0,006$  м<sup>3</sup>/с)

де  $\rho_B = 988$  кг/м<sup>3</sup> – в'язкість води при  $t_{cp}$ .

Орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі в конденсаторах парів органічних речовин  $K=550$  Вт/м<sup>2</sup>·К. Тоді, необхідна площа поверхні конденсатора:

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_{cp}} = \frac{3,159 \cdot 10^5}{550 \cdot 50,5} = 11,4 \text{ м}^2$$

За ГОСТ 15122 – 79 візьмемо вертикальний двоходовий теплообмінник з діаметром кожуху  $D = 325$  мм та загальним числом труб  $n_{заг} = 36$  шт..

Маркування: Теплообмінник 325 ТКГ-1,6-М1 20-4-2

Тоді фактичні швидкості холодного теплоносія в трубах  $w_x$  та гарячого теплоносія в міжтрубному просторі  $w_r$  визначаються за формулами

$$w_B = \frac{V_B}{f_{тр}}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $f_{mp}$  – прохідний переріз, одного ходу по трубах =  $0,022\text{м}^2$

$$w_B = \frac{0,006}{0,022} = 0,27 \text{ м/с}$$

$$w_B = V_r / f_{mp}$$

де  $f_{mmp}$  – прохідний переріз, між перегородками =  $0,007\text{м}^2$

$V_r$  – об'ємна витрата ( $V_r = 9,72/1400 = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ )

$$w_r = \frac{0,01}{0,007} = 1,43 \text{ м/с}$$

Режим течії рідини в трубах та газу в міжтрубному просторі визначаються за зазначеннями критеріїв Рейнольдса :

$$Re_B = \frac{w_B \cdot d_B \cdot \rho_B}{\mu_B} = \frac{0,27 \cdot 0,021 \cdot 998}{0,54 \cdot 10^{-3}} = 10479$$

$$Re_r = \frac{w_r \cdot d_n \cdot \rho_r}{\mu_r} = \frac{1,43 \cdot 0,025 \cdot 1400}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 20854,16$$

де,  $d_n$  – зовнішній діаметр теплообмінних труб,  $d_n = 0.025 \text{ м}$

Якщо  $Re < 2300$  – режим руху ламінарний; якщо  $2300 \leq Re \leq 10000$  – режим руху перехідний; якщо  $Re > 10000$  – режим руху турбулентний.

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі через рівняння:

$$Nu_B = 0,023 \cdot Re^{0,8}_r \cdot Pr^{0,4}$$

де  $Pr$  – Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія

$$Pr = (\mu \cdot c) / \lambda = \frac{0,54 \cdot 10^{-3} \cdot 4,175 \cdot 10^3}{0,647} = 3,48$$

$c$  – питома теплоємність води;

$\lambda$  – теплопровідність води;

$$Nu_B = 0,023 \cdot 10479^{0,8} \cdot 3,48^{0,4} = 62,32$$

Після визначення критерія  $Nu_x$  розраховується коефіцієнт тепловіддачі для холодного теплоносія з формули:

$$\alpha_B = Nu_B \cdot \frac{\lambda_B}{d_B}$$

$$\alpha_B = 62,32 \cdot \frac{0,647}{0,021} = 1920 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

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

Коефіцієнт тепловіддачі при течії газу в міжтрубному просторі з перегородками визначається за таким критеріальним рівнянням

$$Nu_r = 0,2 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,33}_r$$

де  $Pr$  – Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія

$$Pr = (\mu \cdot c) / \lambda = \frac{0,48 \cdot 10^{-3} \cdot 1,36 \cdot 10^3}{0,65} = 1$$

$c$  – питома теплоємність ніацинамідю;

$\lambda$  – теплопровідність ніацинамідю;

$$Nu_r = 0,2 \cdot 20781,3^{0,6} \cdot 1^{0,33} = 77,92$$

$$\alpha_r = Nu_r \cdot \frac{\lambda_r}{d_H} = 77,92 \cdot \frac{0,65}{0,025} = 2026 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_b}} = \frac{1}{\frac{1}{2026} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{1920}} = 886 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

де  $\delta_{ст}$  - товщина стінки теплообмінних труб,  $\delta_{ст} = 0.002$  м;

$\lambda_{ст}$  – теплопровідність матеріалу теплообмінних труб, для нержавіючої сталі  $\lambda_{ст} = 17.5$  Вт/(м · К).

Після розрахунку фактичного коефіцієнта теплопередачі знову визначається розрахункова поверхня теплообміну із основного рівняння теплопередачі:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{ср}} = \frac{3,159 \cdot 10^5}{886 \cdot 50,5} = 7,06 \text{ м}^2$$

Поверхня теплообміну  $\approx 7,5$  м<sup>2</sup> при довжині труб 1500 мм, товщина стінок труб 2 мм.

## 2.4 Підбір основного технологічного обладнання

### *Каскадний реактор*

CSTR (резервуарний реактор безперервної дії) – це трубчастий реактор, оснащений мішалкою. В змішаному CSTR склад продуктів однорідний по всьому об'єму [31]. Реактор складається з 2-х –5-ти з'єднаних реакторів, оснащених мішалками (рис.2.1).

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

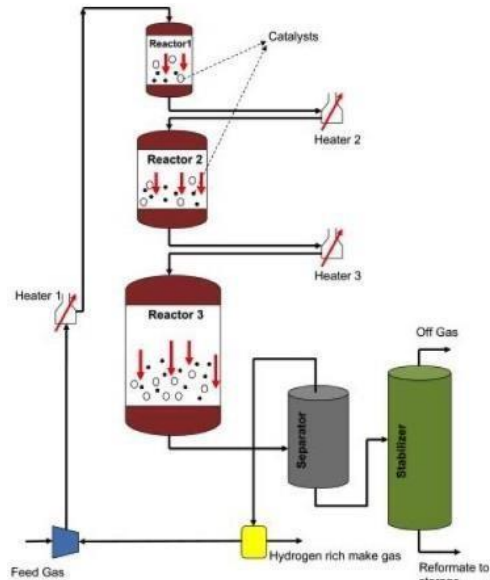


Рисунок 2.2 Каскадний реактор CSTR

Каскадний реактор CSTR складається з трьох основних компонентів, включаючи блок реактора з політетрафторетилену, кришку з термостійкого скла (розмірами 30 мм × 30 мм × 4,8 мм) та кришку з нержавіючої сталі (це суперстійка до корозії нержавіюча сталь 316 із розмірами 30 мм × 30 мм × 3,2 мм).

Таблиця 2.15

Технічна характеристика

Параметри	Показники
1	2
Робочий об'єм (л)	1000
Повний об'єм (л)	1300
Потужність нагріву (кВт)	4
Внутрішній діаметр (мм)	1200
Зовнішній діаметр (мм)	1400
Потужність двигуна (кВт)	4
Швидкість перемішування (об/с)	1,05
Матеріал скляної кришки	термостійке боросилікатне скло (Pyrex)
Матеріал кришки	нержавіюча сталь

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Об'єм	1000 л
Тиск	0,1 Мпа
Температура	55 °С
Швидкість потоку	500 л/год
Час перебування	9 годин (по 3 год. В кожному реакторі)
Вага (кг)	1610

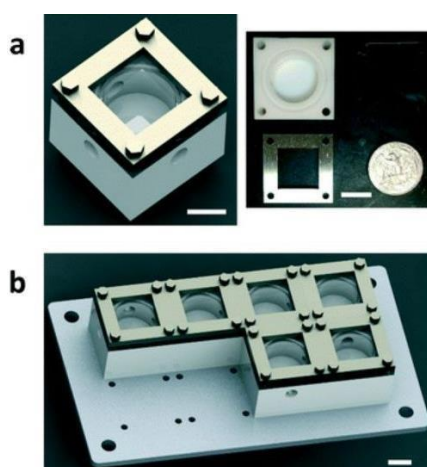


Рисунок 2.3 Ескіз мініатюрної каскадної конструкції CSTR: а) одно етапний CSTR, б) кілька CSTR на алюмінієвому тримачі

Принцип роботи CSTR. Компоненти безперервно подаються до реактора та видаляються з нього, так що робочий об'єм залишається постійним. У цьому випадку біокатализатор повинен утримуватися в реакторі за допомогою іммобілізації та/або частково проникних мембран. Оскільки в реакторі має бути достатньо субстрату для досягнення необхідної швидкості реакції, витік завжди міститиме деяку кількість субстрату, тому повне перетворення субстрату неможливо.

Резервуарні реактори безперервної дії з перемішуванням (CSTR) складаються з:

- системи перемішування для змішування реагентів (крильчатка або швидке введення реагентів);
- підвідні та вихідні труби для введення реагентів і видалення

продуктів CSTR найчастіше використовуються в промисловій обробці, насамперед у гомогенних реакціях в рідкій фазі, де потрібне постійне перемішування. Однак вони також використовуються у фармацевтичній промисловості та для біологічних процесів таких як, клітинні культури та ферментери [32].

CSTR використовується для реакції газ-рідина, коли газ реагує з рідиною в рідкій фазі. Молекули газу переходять із газової фази в рідку. Газ вводить нижче робочого колеса. Оскільки швидкість реакції в CSTR зазвичай низька, об'єми реактора великі. Для досягнення вищої конверсії реакцію типу CSTR зазвичай проводять у серії реакторів. У лабораторії його також можна використовувати для реакції у газоподібній фазі для експериментальних вимірювань, зокрема для каталізованої реакції.

У ситуаціях, коли реакція відбувається надто повільно або коли присутні дві незмішувані або в'язкі рідини, що потребують високої швидкості перемішування, кілька реакторів безперервної дії з перемішуванням (CSTR) можуть бути з'єднані разом, утворюючи каскад [32].

Серед переваг CSTR можна виділити:

- регулювання температури легко підтримується;
- безперервний резервуарний реактор, включаючи змішування, реакційнукалориметрію, варіанти дозування та хімічну кінетику;
- дешевий і легший у створенні, ніж спеціальні системи потоку;
- кілька блоків можна легко об'єднати для каскадної роботи тощо.

Серед недоліків CSTR можна виділити:

- Загальна продуктивність на одиницю об'єму зазвичай нижча, ніж у трубчастих проточних реакторів;
- необхідно підтримувати стабільний стан, тому систему потрібно контролювати;
- окремі одиниці не оптимальні для реакцій із повільною кінетикою;

- розподіл часу перебування в реакторах.



Рисунок 2.4 Загальний вид реактора

### *Сушарка*

Було розглянуто кілька різних типів сушарок, які дають у кінцевому результаті сипкий порошок (форма є важливою для застосування та пакування ніацинаміду):

- розпилювальну сушарку;
- безперервну турбосушарку Turbo-Dryer торгової марки Wyssmont.

Turbo-Dryer – це запатентована конструкція безперервної лоткової сушарки, яка складається зі стопки обертових круглих лотків у герметичному корпусі. Стандартна конструкція сушарки може витримувати робочі температури до 600°C. Перевага сушарки Turbo-Dryer торгової марки Wyssmont над розпилювальною сушаркою з псевдозрідженим шаром полягає в тому, що вона може працювати в замкнутій системі. Недоліком розпилювальної сушарки є її складність у будові за рахунок пилоуловлювачів, а також значна витрата електроенергії на її роботу, у турбо сушарці використовується гарячий азот для сушіння.

Принцип роботи турбо сушарки. Складається з шарів круглих лотків, що повільно обертаються. Матеріал подається на верхній лоток. Після одного оберту матеріал висипається на наступний нижчий лоток, де він перемішується, вирівнюється і після одного обороту висипається на наступний лоток. Цей процес повторюється на кожному лотку після одного оберту. Лотки містяться у камері, в якій циркулює нагріте повітря або газ. Це

забезпечує дуже рівномірне висушування продукту, оскільки матеріал періодично перерозподіляється за допомогою плунжерного потоку. Завдяки рівномірній внутрішній температурі турбосушарка має найточніший контроль температури продукту з усіх можливих сушарок. Завдяки дбайливому поводженню утворюється дуже мало пилу або дрібних частинок, навіть з крихкими матеріалами, такими як кристали [33].

Переваги сушарки Turbo-Dryer торгової марки Wyssmont:

- витримує температуру до 600°C;
- температуру та час перебування можна контролювати;
- умови сушіння легко регулюються та автоматично підтримуються;
- може працювати з рециркуляцією інертної атмосфери з відновленням розчинника;
- працює як сушарка, реактор, термообробник, кальцинатор, зволожувач, агломератор, сублимер, жаровня, у комбінації;
- екологічно герметичні та вибухозахищені моделі;
- функція самоочищення часто усуває потребу в ручному очищенні під час зміни продукту;
- легкий запуск і експлуатація на різних матеріалах;
- низькі витрати та технічне обслуговування завдяки неперевершеній надійності;
- низькі витрати енергії (з використанням рекуперації тепла);
- може використовувати будь-який теплоносій: пару, газ, електрику, нафту, високотемпературне масло або відпрацьований газ з інших операцій;
- сушіння при низькій температурі від 15,5°C без вакууму;
- виготовляється з різних матеріалів;
- вертикальна конструкція, яка займає невелику площу.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Турбосушарки використовують для обробки густих суспензій, порошку, пасти, кристалів, гранул, суспензій, шматочків, твердих речовин, пелетів та пластівців [34].

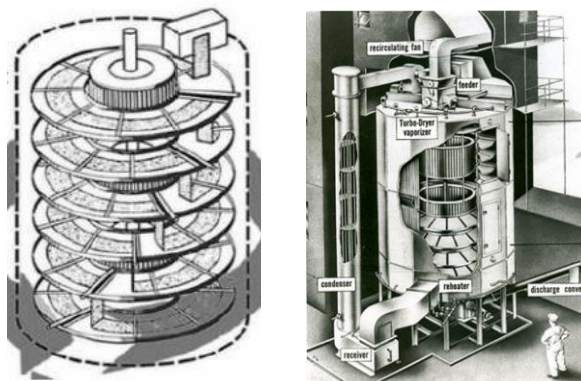


Рисунок 2.5 Сушарка Turbo-Dryer торгової марки Wyssmont

Таблиця 2.16

Технічна характеристика сушарки Turbo-Dryer торгової марки Wyssmont

Продуктивність	100 кг/год
Висушений матеріал	Ніацинамід
Швидкість випаровування	0,06 м/с
Вміст вологи	від 30% до 1,5 % вологи
Робоча температура	198°C
Повітродувка	1770 об/хв
Тип системи опалення	Пара
Теплоносій	гарячий газ
Середовище сушіння	інертний газ
Конструкційні матеріали	нержавіюча сталь
Висота сушарки, м	7-18
Діаметр сушарки, м	6-10
Система відновлення	кожухотрубний конденсатор
Охолоджувальне середовище конденсатора	охолоджена вода
Місцезнаходження	Приміщення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### Багатотрубчастий реактор

У процесі Фішера-Тропша, який перетворює водень і оксид вуглецю до вуглеводнів, багатотрубчасті реактори (рис.9,а) використовуються для допомоги в паровому риформінгу Фішера-Тропша [35].

Головною вимогою до трубчастих реакторів, що застосовуються в низькотемпературному синтезі Фішера-Тропша, є вимога ефективності відведення тепла для забезпечення надійного контролю температури у шарі. Для каталізатора підвищеної активності потрібні реактори з вузькими трубками, діаметром 20 мм. Іншим шляхом покращення тепловідведення є повернення конденсату висококиплячих продуктів синтезу на вхід реактора для зрошення шару каталізатора. Можна також підвищувати інтенсивність тепловідведення шляхом збільшення швидкості газу, однак такий шлях призводить до зростання перепаду тиску, і пов'язаний з додатковими енерговитратами. З цим пов'язане обмеження нижньої межі розміру зерен, що обумовлене перепадом тиску. Але існує обмеження і верхня межа розміру зерна, що обумовлене підвищенням внутрішньо-дифузійного опору [36,37].

Таблиця 2.17

#### Характеристика реакторів Фішера-Тропша

Характеристики	Трубчастий реактор	Реактор з суспензійним шаром каталізатора (сларі-реактор)	Реактор з ЦКШ (циркулюючим каталізаторним шаром)
1	2	3	4
Продуктивність реактора	164 м <sup>3</sup>	42 м <sup>2</sup>	-
Продуктивність каталізатора	>2000 кг/м <sup>3</sup> на добу	4000-1200 кг/м <sup>3</sup> на добу	1000 кг/м <sup>3</sup> на добу
Ефективність каталізатора	низька	середня	висока

1	2	3	4
Контроль температури	недостатній	хороший	хороший
Поверхня теплообміну	240 м <sup>2</sup>	50 м <sup>2</sup>	15-30 м <sup>2</sup>
Експлуатація	середня	висока	низька
Габаритні розміри, вага	Висота-20 м; Зовнішній діаметр-7 м; Кількість труб-29000 шт.; Висота труб-12 м; Діаметр труб-2,5 см; Вага-1200 т	Висота-60 м; Зовнішній діаметр-10 м; Вага-2200 т	-

Основними недоліками реактора з ЦКШ (циркулюючим каталізаторним шаром) є непроста конструкція та дороге виготовлення, складність управління процесом, низький вміст каталізатора в реакційному обсязі та його невеликий термін служби.

Здійснити ефективне відведення тепла із зони реакції та створити умови близькі до ізотермічних вдалося при здійсненні синтезу сларрі-реакторах. У сларрі-реакторі малі частинки каталізатора (1-100 мкм) суспендовані в рідкій фазі, через яку барботує газ, так що псевдозріджений шар каталізатора знаходиться в трифазній системі.

Суспензія інтенсивно переміщується механічно, або за рахунок потоку газу. Перевагою суспензійних реакторів є ефективний теплообмін і, як наслідок, висока селективність щодо цільових продуктів. Важливою перевагою реакторів цього типу є можливість часткової або повної заміни

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

каталізатора без зупинки процесу.

Витрати на конструювання сларрі-реакторів значно менші, ніж для реакторів з ЦКШ, проте їхня продуктивність невисока через обмеження концентрації активного компонента в суспензії (не вище 250 кг кат/м<sup>3</sup>). При цьому швидкість процесу в сларі-реакторі, що включає масоперенесення на межі фаз, залежить від концентрації каталізатора не монотонно, а має максимум при деякому оптимальному значення вмісту каталізатора в суспензії. Для підтримки необхідного контакту фаз газ-рідина-каталізатор та інтенсивного перемішування реакційної суспензії потрібна велика висота сларрі-реакторів. Технологія процесу ускладнена стадією відокремлення продуктів реакції від частинок каталізатора. Рішення цієї проблеми було запропоновано при використанні ультрадисперсних ванадієвих каталізаторів, приготовлених методом хімічного відновлення у рідкій фазі. Використання нанорозмірного каталізатора в сларрі-реакторі дозволило збільшити продуктивність процесу.

Реактори цього типу, як і реактори з ЦКС, через особливості гідродинаміки суспензії погано піддаються масштабуванню. Це не дозволяє здійснювати швидкий перехід від пілотних установок до промисловим.

Основною проблемою трубчастих реакторів синтезу Фішера-Тропша є забезпечення ефективного тепловідведення із зони реакції, рівномірне завантаження каталізатора по трубах та по всій довжині труб; механічна конструкція реактора, що дозволяє витримувати високі робочі тиски та зміни робочих температур у кожусі та трубах.

Реактор із суспензійним шаром каталізатора, відомий також як бульбашковий або сларрі-реактор, має специфічну конструкцію. Він складається з вертикально встановленої циліндричної ємності, всередині якої знаходиться змійовик теплообмінника. Реактор заповнений гранулами каталізатора, які знаходяться у рідинній фазі.

У процесі реакції, газ (наприклад, кисень) постачається знизу реактора через розподільний пристрій. Газ проходить через рідку фазу у вигляді

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

дрібних бульбашок, що створює інтенсивне перемішування суспензії. Це сприяє контакту між газом, рідиною та каталізатором, що покращує ефективність реакції. Оптимальні умови – температура 330°C, атмосферний тиск, каталізатори  $V_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $MoO_3$ .

Газоподібні та рідкі продукти реакції відводяться через окремі патрубки, забезпечуючи постійну висоту рідинного шару в реакторі. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови реакції і забезпечити стабільність процесу.

Суспензійний реактор має перевагу ефективного теплообміну, високої селективності щодо цільових продуктів і можливості заміни каталізатора без зупинки процесу. Однак, його продуктивність обмежена обсягом каталізатора, що може бути розподілено у реакторі, та вимагає великої висоти реактора для забезпечення потрібного контакту фаз.

В цілому, реактор із суспензійним шаром каталізатора є одним з варіантів реакторів для проведення хімічних процесів з високою селективністю та можливістю контролю процесу (рис. 2.5) [38-40].

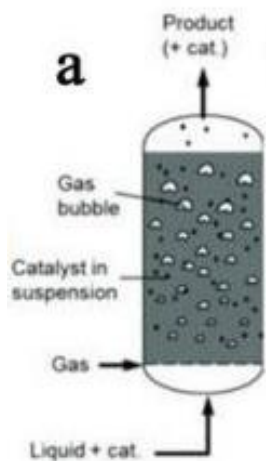


Рисунок 2.6 Реактор із суспензійним шаром

### *Кожухотрубний теплообмінник*

Апарати, які призначені для теплообміну між теплоносіями, називаються теплообмінниками.

До числа найбільш часто застосовуваних теплообмінних апаратів

належать кожухотрубні теплообмінники, в яких один із теплоносіїв рухається в середині труб (трубний простір), а другий – зовні труб (міжтрубний простір). Ці теплообмінники призначені для теплообміну між рідинами, пароподібними та газоподібними теплоносіями і допускають створення великої поверхні теплопередачі при порівняно невеликих габаритних розмірах апарата.

Теплоносії в кожухотрубних теплообмінниках рухаються, як правило, в режимі протитечії, відповідно по трубному та міжтрубному просторах.

Кожухотрубні теплообмінники за кількістю ходів теплоносія в трубному просторі бувають: одно-, дво-, чотири-, шестиходовими. Кількість ходів визначається поперечними перетинками, які монтуються в кришці та дні теплообмінника.

Кожухотрубні теплообмінники можуть бути як вертикальні, так і горизонтальні. Вертикальні теплообмінники більш прості в експлуатації, займають меншу виробничу площу. Горизонтальні теплообмінники використовуються при великій різниці температур та густини теплоносіїв з метою зменшення розшарування рідини [41].

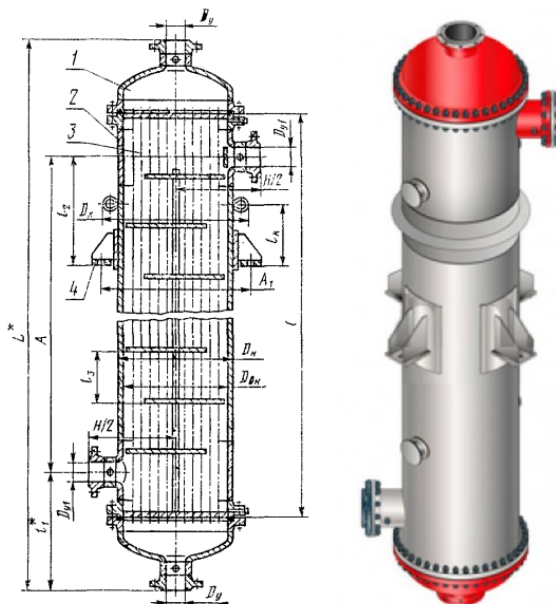


Рисунок 2.7 Кожухотрубний теплообмінник  
325 ТКГ-1,6 (3000) з нерухомими трубними решітками  
1-розподільна камера, 2-кожух, 3-теплообмінна труба, 4-опора, 1-  
довжина труб

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Кожухотрубний теплообмінник з нерухомими трубними решітками 325 ТКГ-1,6 (рис. 2.6) призначений для теплообміну рідких та газоподібних середовищ у технологічних процесах хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної, газової та інших галузей промисловості.

Корпус теплообмінника виконується у вигляді труби, яка виготовляється з одного або декількох листів сталі. Товщина металу залежить від максимального тиску робочого середовища та температури. Кромки кожуха - циліндричні, поєднуються з фланцями, які необхідні для з'єднання з кришками та днищем. Пристрій передбачає наявність на поверхні спеціальних опор.

Принцип роботи бойлера кожухотрубного полягає в переміщенні холодного та гарячого теплоносія різними каналами. Теплообмін здійснюється між стінками таких каналів [42].

Трилітерний показник відображає особливості апарату за принципами класифікації. По першій літері можна визначити, яка основна функція обладнання.

Так, пристрої поділяються на: Т – універсальні; К – конденсатори; Х – холодильники; І – випарники.

Друга буква передає специфіку конструкції: Н – з нерухомими трубними ґратами; К – з температурним компенсатором, що кріпиться на обічайці; У – форма труб як букви U; П – моделі мають плаваючу голівку.

Остання буква свідчить про розташування приладу: Г – горизонтально; В – вертикально.

Таблиця 2.18

Технічна характеристика

1	2
Тип теплообмінника	кожухотрубний
Область застосування	вода/гліколь, газ, хімія
Чистота середовища	жорстка і брудна вода
Довжина (мм)	3000

Діаметр корпусу (мм)	325
Розташування	Вертикальне
Тип ходу	двоходовий
Вага (кг)	665

### Випарник

Атмосферні випарники використовуються в промисловості для газифікації повітря та продуктів його поділу, а також як регазифікатори зрідженого природного газу комплексів автономного газопостачання ЗПГ. Вони дозволяють ефективно випаровувати зріджені гази, такі як азот, аргон, кисень, двоокис вуглецю. Системи є теплообмінниками, через які проходять гази після зрідження. Нагріваючись, речовини починають випаровуватися, після чого газоподібні сполуки можна ефективно використовувати у промисловості. Робота установок залежить від нагрівання повітря у навколишньому середовищі, тому системи не потребують підключення до електричної мережі.

Використання випарників дозволяє отримати більший обсяг енергії за невеликої кількості зрідженого газу. Коли обсягу природного газу не вистачає для виконання завдання, доводиться збільшувати постачання та розширювати резервуарні баки для зберігання. Це призведе до додаткових витрат та затримок на виробництві. Встановлення випарників вирішить ці проблеми, а також мінімізує збитки, які завдають довкіллю. Скорочення споживання природних ресурсів, відсутність шкідливих викидів та оптимізація виробництва – всього цього можна досягти після встановлення газових випарників [43].

Випарники класифікують за ступенем тиску на декілька видів:

- низького тиску. У цих системах труби є частиною алюмінієвого профілю з декількома ребрами-плавниками, що розходяться від центру, служать поверхнею контакту з навколишнім середовищем і забезпечують енергію для випаровування;

- середнього тиску. Є найбільш економічним обладнанням для перетворення криогенних продуктів поділу повітря: азоту, аргону, кисню, скрапленого природного газу (СПГ) з рідкого стану в газоподібний. Серія випарників зріджених газів розроблена спеціально для потреб стаціонарного використання і організації екстрених резервних систем. Випарники з природним обдувом використовують конвекцію як механізм передачі тепла. Випарники складаються з великого числа окремих мультиребристих екструдованих елементів для передачі тепла, які можуть бути підключені в різних послідовних і паралельних конфігураціях.
- високого тиску. У таких установках замість алюмінієвих труб застосовуються труби з нержавіючої сталі, встановлені всередині труб з алюмінієвого профілю та забезпечують велику площу контакту.

Усі випарники низького тиску призначені для роботи у температурному діапазоні від -196 до +50 °С при тиску до 40 бар. У комплектацію входять ребра, труби, заглушки, трійники, перехідники та фланцеві з'єднання. Усі випарники високого тиску розраховані на робочу температуру від -196°С до +50°С та тиск до 420 бар. Комплектація складається з труби, ребристих труб, трійників та муфт.

Атмосферні випарники є простим типом теплообмінників, в яких зріджені гази перетворюються на газоподібний стан при використанні тепла, поглиненого з навколишнього повітря. Такий простий принцип не вимагає підключення до джерел електроенергії.

Після атмосферного випарника газ надходить у технологічну лінію споживача, ємність чи заправку балонів.

ТОВ «ІПФ Ремтехгаз» є виробником атмосферних випарників з алюмінієвого профілю типу «сніжинка» наступних типів:

- атмосферні випарники середнього тиску – до 40 бар (ТУ У 29.2-30299519-001: 2012);
- атмосферні випарники високого тиску – до 400 бар (ТУ У 28.2-

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

30299519-004: 2012).

Атмосферні випарники (рис.2.7) призначені для газифікації рідких кріогенних продуктів, кисню, азоту, аргону і діоксиду вуглецю, за допомогою теплообміну з навколишнім середовищем без витрат електроенергії [44].

Переваги атмосферних випарників:

- легко вбудовуються в існуючу лінію газифікації, підвищуючи її ефективність, і також легко утворюють окремий об'єкт;
- конструкція випарників забезпечує мінімальне утворення криги;
- відрізняються винятковою надійністю і довговічністю.

Таблиця 2.19

Технічна характеристика

Продуктивність	60 м <sup>3</sup> /год
Профіль	Алюмінієвий
Тиск	Атмосферний
Температура	0°С

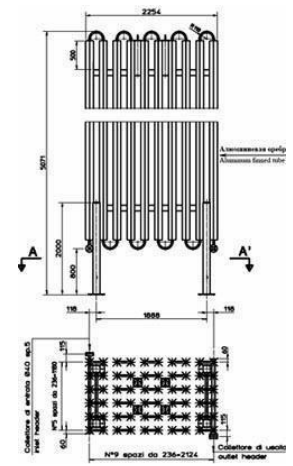


Рисунок 2.8 Атмосферні випарники

Нейтралізатор

Реактори-нейтралізатори отримали популярність в промисловості, тому що можуть виконувати роботу разом з протікаючими процесами змішування, хімічною взаємодією з реагентами, кристалізацією в результаті хімічної

реакції.

Нейтралізатор був представлений реактором періодичної дії моделі RStoic. Такий реактор використовуються при відомому ступені перетворення, де кінетика реакції невідома. Реактор-нейтралізатор – це вертикальна ємність з нержавіючої сталі. В якості нейтралізуючого реагенту використовують буферний розчин. У процесі нейтралізації необхідно регулювати рН [45].

Таблиця 2.20

Технічна характеристика

Місткість	1000 кг
Матеріал	нержавіюча сталь
Модель	RStoic

Технологічна схема базового моделювання без інтеграції тепла та використання реактора RStoic для моделювання представлено на рис. 2.8.

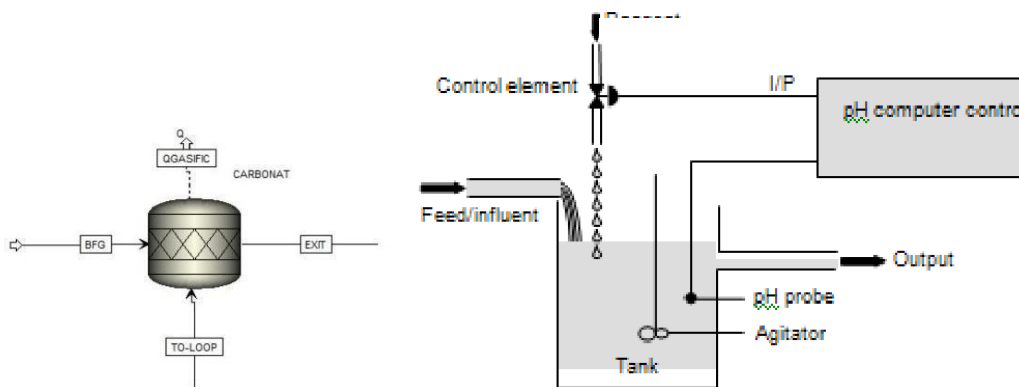


Рисунок 2.9 Нейтралізатор (змодельований як блок RStoic).

### Деколоризатор (адсорбційна колона)

Для знебарвлення біокатализатора використовують активоване вугілля, знебарвлення відбувається на 90%. Процес відбувається у адсорбері з нерухомим шаром активованого вугілля для вилучення забарвлення від катализатора з метою отримання безбарвного розчину. Адсорбція – процес вибіркового поглинання одного або декількох компонентів з газової суміші або розчину твердим поглиначем. У промисловості адсорбцію використовують для очищення розчинів, очищення та висушування газів,

розділення сумішей газів або пари, зокрема для виділення летких розчинників з їх суміші з повітрям або з інших газами (рекуперация летких розчинників) тощо.

Вертикальний адсорбер з нерухомим кільцевим шаром адсорбенту (рис. 2.9.). Адсорбер є вертикальним корпусом, усередині якого між перфорованими сітками розташований шар адсорбенту. На стадії адсорбції парогазова суміш подається в нижню частину адсорбера і розподіляється по кільцевому перетину адсорбенту. Пройшовши через шар адсорбенту, обчищена парогазова суміш виходить через центральний патрубок. Завантаження адсорбенту відбувається через верхні люки, а вивантаження – через нижню тічку [46].

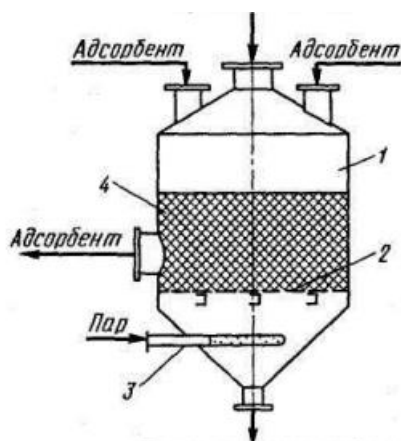


Рисунок 2.10 Адсорбер з нерухомим шаром адсорбенту: 1-корпус, 2-решітка, 3-кільцева труба, 4-адсорбент

#### *Відцентровий насос*

В хімічній промисловості насоси мають важливе значення для транспортування рідких і газоподібних продуктів по трубопроводах як всередині підприємства між окремими апаратами і установками, так і поза ним.

Рух рідин по трубопроводах і через апарати зв'язано з затратами енергії. В деяких випадках, наприклад при русі з більш високого рівня на більш низький, рідина переміщується самовільно, тобто без затрат зовнішньої енергії, внаслідок перетворення власної потенціальної енергії в кінетичну. При переміщенні рідини по горизонтальних трубопроводах, або з

нижчого рівня на вищій застосовують насоси, або стиснений газ (повітря) – газ-ліфт і монтежю.

В хімічній промисловості найбільш поширені відцентрові насоси, які мають значні переваги:

- рівномірність подачі;
- швидкохідність (можливість безпосереднього з'єднання з двигуном);
- компактність та простота будови;
- можливість перекачування забруднених рідин, так як у відцентрових насосів є великі зазори між кожухом і насосом і відсутні клапани;
- для установки відцентрових насосів не потрібні масивні фундаменти.

Недоліки відцентрових насосів:

- менший ККД ніж у шестерінчастих насосів (на 10-15 % нижчий);
- необхідність заливки насосу і всмоктуючої труби рідиною перед його пуском;
- зменшення продуктивності зі збільшенням напору;
- різке зниження ККД при малій продуктивності [47].

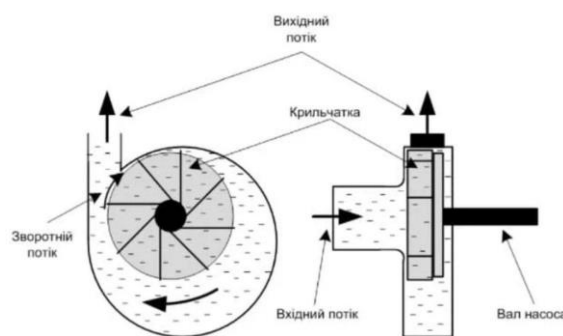


Рисунок 2.11 Відцентровий насос

## 2.5 Розрахунок реактора

### Визначення основних геометричних розмірів змішувача

Мета розрахунку: визначення основних геометричних та конструктивних параметрів апарата.

Розрахункова схема зображена на рис. 2.12

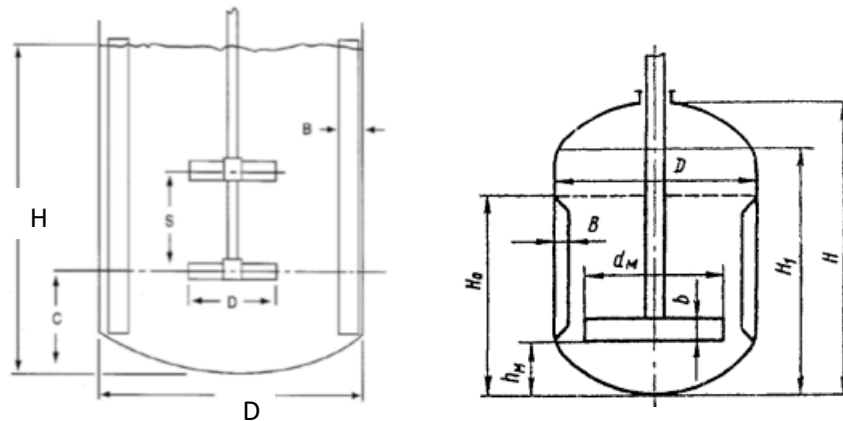


Рисунок 2.12 Розрахункова схема реактора

Метою розрахунку є вибір робочого об'єму та геометричних розмірів змішувача, а також визначення продуктивності апарата та кількості апаратів для забезпечення заданої продуктивності.

Приймаємо змішувач у вигляді вертикального циліндричного апарату ВЕЕ об'ємом 1,3 м<sup>3</sup>.

Вихідні дані:

Повний об'єм реактора V, м <sup>3</sup>	1,3
Тривалість процесу τ, год	9
Коефіцієнт заповнення φ	0,8

Об'єм рідини в апараті (робочий об'єм змішувача) дорівнює:

$$V_p = V \cdot \varphi = 1,3 \cdot 0,8 = 1 \text{ м}^3.$$

Час необхідний для проведення процесу:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 3 + 3 + 3 = 9 \text{ год}$$

де  $\tau_1$  – час проходження реакції в першому реакторі

$\tau_2$  – час проходження реакції в другому реакторі

$\tau_3$  – час проходження реакції в третьому реакторі

Продуктивність за годину:

$$P_p = \frac{1}{9} = 0,11 \text{ м}^3/\text{год}$$

Річна продуктивність змішувача:

$$P_{\text{річне}} = P_p \cdot t \cdot 24 = 0,11 \cdot 330 \cdot 24 = 871,2 \text{ м}^3/\text{рік},$$

де  $t=330$  робочих днів у році.

Необхідна кількість змішувачів:

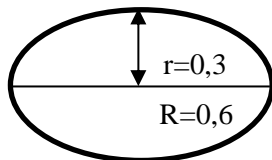
$$n = \frac{P_3}{P_{\text{річне}}} = \frac{3200}{871,2} = 3,7 \text{ од.}$$

Отже, приймаємо 4 змішувача з корпусом, реактор з еліптичним відбортованим днищем номінальною ємністю  $1 \text{ м}^3$  кожний:

- внутрішній діаметр  $D=1,2 \text{ м}$ ;
- висота циліндричної основи  $L=1,45 \text{ м}$ ;
- внутрішня площа поверхні  $F=4,81 \text{ м}^2$ .

Еліптичні днища для апарата такого діаметра мають наступні показники:

- внутрішній діаметр  $D_{\text{вн}}=1,2 \text{ м}$ ;
- висота еліптичної (опуклої) частини:



$$2R=1,2$$

$$R=0,6 \text{ м};$$

$$R=2r$$

$$r=0,6/2=0,3 \text{ м};$$

Отже, висота еліптичної частини  $H_{\text{ел}}=0,3 \text{ м}$

- висота відбортовки  $h=0,025 \text{ м}$ ;
- внутрішня поверхня  $F_{\text{в}}=1,66 \text{ м}^2$ ;
- ємність днища  $V_{\text{дн}}=0,255 \text{ м}^3$ .

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Об'єм рідини в циліндричній частині  $V_{рц}$  у реакторі:

$$V_{рц} = V_p - V_{дн} = 1 - 0,255 = 0,745 \text{ м}^3.$$

Тоді висота рідини в циліндричній частині змішувача дорівнює:

$$H_{ц} = \frac{V_{рц}}{\pi \cdot R_{вн}^2} = \frac{0,745}{3,14 \cdot 0,6^2} = 0,659 \text{ м}.$$

Загальна висота рідини у змішувачі:

$$H_p = H_{ц} + h + H_{ел} = 0,659 + 0,025 + 0,3 = 0,984 \text{ м}.$$

Висновок: обрано змішувач у вигляді вертикального циліндричного апарату з еліптичною кришкою та днищем типу ВЕЕ, об'ємом  $1 \text{ м}^3$ . Розраховано продуктивність змішувача, виходячи з заданої потужності виробництва прийнято 4 змішувача номінальним об'ємом  $1 \text{ м}^3$ . Вибрані корпуси за ГОСТ 9931-85. Визначена висота рідини у змішувачі.

### Розрахунок потужності приводу мішалки

Метою розрахунку є знаходження потужності, що витрачається на перемішування в змішувачі, та вибір приводу.

Вихідні дані:

Діаметр апарата $D$ , м	1,2;
густина розчину $\rho$ , $\text{кг/м}^3$	1400;
коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu$ , $\text{Па}\cdot\text{с}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$ ;
частота обертання мішалки $n$ , об/с	1,05.

Розрахунок потужності приводу для забезпечення заданої продуктивності змішувача здійснено за методикою наведеною у літературі.

Діаметр мішалки визначаємо наступним чином:

$$d_m = \frac{D}{1,6} = \frac{1,2}{1,6} = 0,75 \text{ м}.$$

Ширина лопасті мішалки:

$$b = 0,1 \cdot d_m = 0,1 \cdot 0,75 = 0,075 \text{ м}.$$

Висота лопатевої мішалки:

$$h = 0,3 \cdot d_m = 0,3 \cdot 0,75 = 0,23 \text{ м}.$$

Кругова швидкість мішалки при частоті обертання  $n$ :

$$\omega = \pi \cdot n \cdot d_m = 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,75 = 2,473 \text{ м/с}.$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Значення критерію Рейнольдса при перемішуванні суміші:

$$Re = n \cdot d_m^2 \cdot \frac{\rho}{\mu} = 1,05 \cdot 0,75^2 \cdot \frac{1400}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 3,45 \cdot 10^5.$$

Потужність, що витрачається на перемішування суміші:

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 d_m^5 = 0,17 \cdot 1400 \cdot 1,05^3 \cdot 0,75^5 = 65,4 \text{ Вт}$$

Оскільки висота рідини в апараті  $H_p > D$ , необхідна на перемішування потужність береться з коефіцієнтом  $K_H$ , який знаходимо за формулою:

$$K_H = \left(\frac{H_p}{D}\right)^{0,5} = \left(\frac{0,984}{1,2}\right)^{0,5} = 0,906.$$

Для лопатевої мішалки  $K_N=0,17$ .

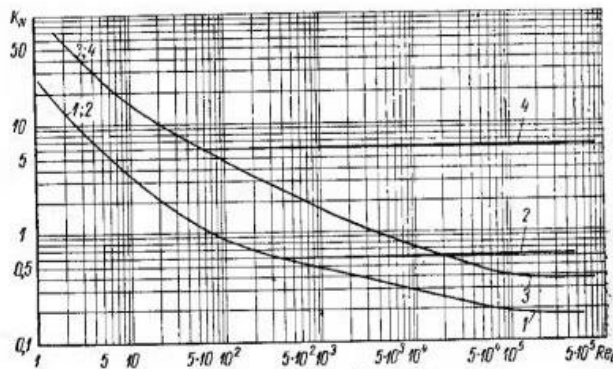


Рисунок 2.13 – Графік залежності для перемішуючих пристроїв  
Кінцева розрахункова потужність електродвигуна приводу:

$$N = K_H \cdot N = 0,906 \cdot 65,4 = 59,3 \text{ Вт},$$

Висновок: у довідковій літературі [48] найближчий мотор-редуктор (з даною частотою обертання)  $N = 7,5 \text{ кВт}$ , позначення мотор-редуктора МР1-500-12-125- Ф1В. Потужність електродвигуна достатня для того, щоб забезпечити перемішування суміші з частотою обертання вала 1,05 об/с.

### Тепловий розрахунок реактора-змішувача

Мета розрахунку: перевірка правильності вибору реактора та визначення площі поверхні теплообміну.

Вихідні дані:

- холодний теплоносій – вода,
- початкова температура холодного теплоносія -  $t_{2п} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- кінцева температура холодного теплоносія -  $t_{2к} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

- температура продукту -  $t_1 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

Рівняння теплового балансу буде мати вигляд:

$$Q = Q_p + Q_{\text{п}}$$

де  $Q_p$  - кількість теплоти, що виділяється в реакторі за рахунок реакції,

Коефіцієнт теплопередачі від розчину до охолоджуючої води через стінку реактора:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}};$$

де  $\alpha_1$  - коефіцієнт тепловіддачі від розчину до внутрішньої поверхні реактора,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$\alpha_2$  - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні реактора до води, що охолоджує,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$\lambda/\delta$  - термічний опір стінки;

$\delta_1$  - товщина стінки;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності стінки.

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{\delta} = 50 \text{ }^\circ\text{C}; \Delta t_{\text{м}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\delta} = t_1 - t_{2\text{п}} = 55 - 50 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_1 - t_{2\text{к}} = 55 - 40 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

Середню різницю температур теплоносіїв визначаємо, як середньо логарифмічну величину між більшою  $\Delta t_{\delta}$  і меншою  $\Delta t_{\text{м}}$  різницями температур теплоносіїв на кінцях теплообмінного апарата:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}$$

Оскільки  $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} < 2$ , то середню різницю температур визначаємо, як

середньоарифметичну:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}})}{2} = \frac{5 + 15}{2} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Середня температура води:

$$t_2 = t_1 - \Delta t_{\text{ср}} = 55 - 10 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

За середніх температур теплоносіїв їх теплофізичні характеристики:  
розчину ніацинамідю:

- питома теплоємність  $c_1 = 1,3 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C}) = 1,3 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_1 = 0,65 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
- коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu_1 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$
- питома густина  $\rho_1 = 1,4 \text{ г}/\text{см}^3 = 1400 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- критерій Прандтля  $Pr = 4,8$

води ( $40^\circ\text{C}$ ):

- питома теплоємність  $c_2 = 4173 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_2 = 0,631 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
- коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu_2 = 656 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$
- питома густина  $\rho_2 = 992 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- критерій Прандтля  $Pr = 4,33$

Масу змішувача визначимо за формулою:

$$m = 230 \cdot p \cdot D^3 = 230 \cdot 0,1 \cdot 1,2^3 = 39,744 \text{ кг},$$

де  $p = 0,1 \text{ МПа}$  – тиск в корпусі апарата.

Кількість теплоти витраченої на нагрів змішувача:

$$q = (m \cdot c_a + m_{\text{мз}} \cdot c_1) \cdot t_1 = (39,744 + 515 + 1077 \cdot 1,3 \cdot 10^3) \cdot 55 \\ = 7,7 \cdot 10^7 \text{ Дж}.$$

Продуктивність змішувача за секунду:

$$G_{\text{зм}} = \frac{m_{\text{мз}}}{\tau \cdot 3600} = \frac{1077}{9 \cdot 3600} = 0,033 \text{ кг}/\text{с}.$$

Тепловий потік:

$$Q_{\text{зм}} = c_1 \cdot G_{\text{зм}} \cdot t_1 = 1,3 \cdot 10^3 \cdot 0,033 \cdot 55 = 2,359 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Витрати води:

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{зм}}}{t_2 \cdot c_2} = \frac{2,359 \cdot 10^3}{40 \cdot 4173} = 0,014 \text{ кг}/\text{с}.$$

Значення критерію Рейнольдса при перемішуванні суміші:

$$Re_1 = n \cdot d_{\text{м}}^2 \cdot \frac{\rho_1}{\mu_1} = 1,05 \cdot 0,75^2 \cdot \frac{1400}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 3,45 \cdot 10^5.$$

Для циліндричних апаратів із зовнішніми оболонками  $C = 0,36$  і

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

$m = 0,67$ , тоді:

$$Nu_1 = C \cdot Re_1^m \cdot \frac{Pr_1^{0,33}}{\Gamma} = 0,36 \cdot (3,45 \cdot 10^5)^{0,67} \cdot \frac{4,8^{0,33}}{1,6} = 1938,$$

де  $Pr_1 = 4,8$  – критерій Прандтля для розчину:  $Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} = \frac{1,3 \cdot 10^3 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}}{0,65} 4,8$ ;  $\Gamma = 1,6$  – відношення діаметра апарата (D) до діаметру мішалки ( $d_m$ ),  $\Gamma = 1,2/0,75 = 1,6$ .

Коефіцієнт тепловіддачі до рідини:

$$\alpha_1 = Nu_1 \cdot \frac{\lambda_1}{d_m} = 1938 \cdot \frac{0,65}{0,75} = 1679,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні реактора до води, що охолоджує:

$$\alpha_2 = Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{l}$$

Тепловіддача в циліндричній рубашці проходить в умовах вільної конвекції, тому формула для розрахунку коефіцієнту тепловіддачі матиме вигляд:

$$Nu_2 = C \cdot (Gr \cdot Pr)^m$$

Коефіцієнти цього рівняння залежать від добутку  $Gr \cdot Pr$ .

Критерій Грасгофа обраховуємо за формулою :

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu_B^2} \cdot \beta_B \cdot (t_{2к} - t_{2п}) = \frac{9,81 \cdot 1,1^3}{(1,19 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 0,00165 \cdot (50 - 40) = 1,52 \cdot 10^{11}$$

де  $\nu_B = 1,19 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;

$\beta_B = 0,165 \cdot 10^{-2} \text{ К}^{-1}$ .

Критерій Прандтля  $Pr = 4,33$ .

$C = 0,15$ ,  $m = 0,33$  так, як добуток  $Gr \cdot Pr = 1,52 \cdot 10^{11} \cdot 4,33 = 6,58 \cdot 10^{11} > 10^9$

$$Nu_2 = C \cdot (Gr \cdot Pr)^m = 0,15 \cdot (6,58 \cdot 10^{11})^{0,33} = 1192$$

Отже, коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні реактора до води, що охолоджує дорівнюватиме:

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

$$\alpha_2 = Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{l} = 1192 \cdot \frac{0,631}{1,1} = 684,$$

де  $l=1,1$  – висота рубашки

Коефіцієнт тепловіддачі буде дорівнювати:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1679,6} + \frac{0,01}{46,5} + \frac{1}{684}} = 440 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

де  $\lambda=46,5 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$  – теплопровідність стінки;

$\delta_1=0,01 \text{ м}$  – товщина стінки.

Розрахункова площа поверхні теплообміну:

$$F = \frac{Q_{зм}}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{2,359 \cdot 10^3}{440 \cdot 10} = 0,54 \text{ м}^2.$$

Висновок: за результатами теплового розрахунку приймаємо оболнку із змієвиковими каналами, що забезпечує площу поверхні теплообміну  $0,54 \text{ м}^2$ .

### Розрахунок глибини воронки

Мета: розрахувати глибину воронки та перевірити чи вона не дістає до перемішуючого пристрою, правильності вибору типу та швидкості обертання перемішуючого пристрою.

Вихідні дані:

відцентровий критерій Рейнольдса при перемішуванні  $Re$   $3,45 \cdot 10^5$ ;

частота обертання вала мішалки  $n$ ,  $\text{с}^{-1}$   $1,05$ ;

діаметр мішалки  $d_m$ ,  $\text{м}$   $0,75$ .

Глибина воронки в апараті без перегородок визначається за рівнянням:

$$h_{вор} = \frac{B \cdot n^2 \cdot d_m^2}{2 \cdot g},$$

де  $d_m$  – діаметр лопатевої мішалки,  $n$  – частота обертання мішалки,  $B$  – коефіцієнт пропорціональності.

Для визначення глибини воронки в апараті визначимо параметр  $\varphi$ , при коефіцієнті заповнення  $\eta=0,8$  і висоті рівня розчину  $H_p=0,984 \text{ м}$ :

$$\varphi = 8 \cdot \frac{H_p}{D} + 1 = 8 \cdot \frac{0,984}{1,4} = 5,6.$$

Для лопатевих мішалок значення параметру  $\zeta_m=2,1$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Визначимо параметр гідравлічного опору:

$$E = \frac{\varphi}{\zeta_m \cdot Re^{0,25}_{\text{від}}} = \frac{5,6}{2,1 \cdot (3,45 \cdot 10^5)^{0,25}} = 0,11.$$

При цих значеннях  $E=0,11$  за номограмою визначаємо параметр глибини воронки  $B=14$

Отже, глибина воронки в апараті:

$$h_{\text{вор}} = \frac{B \cdot n^2 \cdot d_m^2}{2 \cdot g} = \frac{14 \cdot 1,05^2 \cdot 0,75^2}{2 \cdot 9,81} = 0,44 \text{ м.}$$

Гранично допустима глибина воронки в апараті:

$$h_{\text{пр}} = H_p - h_m = 0,984 - 0,3 = 0,684 \text{ м,}$$

де  $H_p=0,984$  м – висота рідини в апараті,  $h_m=0,3$  м – висота установки мішалки.

Висновок: воронка не дістає до самого перемішуючого пристрою, оскільки її глибина менша, ніж гранично допустима.

## 2.6 Опис реактора та принцип його дії

Хімічний реактор – це апарат для проведення хімічного процесу, що забезпечує одержання необхідного продукту в заданій кількості й необхідній якості. Хімічний реактор є основним елементом апаратурного оформлення будь-якого хімічного виробництва.

До хімічних реакторів висувають наступні вимоги:

- реактор повинен мати максимальну продуктивність і інтенсивність роботи;
- реактор повинен забезпечувати проведення реакції з максимальним ступенем перетворення вихідних речовин, високим виходом продукту, забезпечувати високу селективність при проведенні складних реакцій;
- підтримувати необхідні умови проведення процесу (температуру, тиск і т.д.);

- забезпечувати стійкість і стабільність режимів роботи, легкість у керуванні;
- мати, по можливості, просту конструкцію, легко вводиться в експлуатацію, легкість керування й ремонту.
- низька матеріалоемність і енергоємність;
- відповідати необхідним умовам техніки безпеки, промислової екології й естетики.

За принципом дії розрізняють реактори періодичної, безперервної й напівбезперервної дії.

Реактори періодичної дії одночасно завантажують реагентами (вихідною реакційною сумішшю) і через певний час, необхідний для досягнення заданого ступеня перетворення, вивантажують суміш, що містить уже продукти реакції. Робота реакторів періодичної дії являє собою періодично повторювані цикли. Кожний цикл складається із трьох стадій: завантаження в реактор вихідних речовин, хімічної реакції, вивантаження продуктів. Час перебування часток реакційної суміші в реакторі періодичної дії однаковий. Реактори періодичної дії застосовуються в малотоннажних і багатоасортиментних виробництвах, а також при переробці дорогих речовин.

Реактори безперервної дії – це проточні апарати з безперервним живленням вихідними речовинами й безперервним видаленням продуктів реакції. Час перебування часток реакційної суміші в реакторі різний.

Такі реактори застосовуються у великотоннажних виробництвах. Вони особливо ефективні при проведенні реакцій, що протікають із більшими швидкостями.

Реактори напівбезперервної дії мають різні варіанти живлення вихідними речовинами й видалення продуктів реакції. Наприклад, реагенти подаються безперервно, а продукти вивантажуються періодично, або одна з вихідних речовин подається безперервно, а інша - періодично.

Реактори безперервної дії відрізняються від періодичних за часом перебування речовин в апараті. У періодично діючих реакторах всі речовини

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

перебувають однаковий час, у той час як у безперервно діючому апараті час перебування їх може значно відрізнятись [49].

Оскільки хімічні реакції можуть бути дуже різноманітними, конструкція реакторів також різниться. Важливо проводити гідродинаміку, кінетику, масообмін і теплові процеси, які впливають на швидкість перетворення реагентів. Зміна хімічних процесів в реакторі може привести до зміни гідродинамічних і теплових режимів,

Біохімічні реактори широко застосовуються в фармацевтичній, харчовій та нафтогазовій галузях і призначені для проведення в них реакції біохімічного перетворення речовини.

Реактори безперервної дії з резервуаром із перемішуванням (CSTR, рис. 2.12) – це відкриті системи, де матеріал може вільно входити в систему або виходити з неї; працюють у стаціонарному режимі, де умови в реакторі не змінюються з часом. Реагенти безперервно вводяться в реактор, а продукти безперервно видаляються.

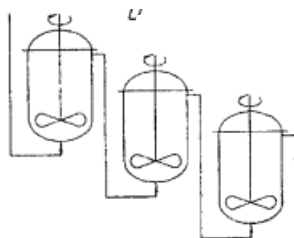


Рисунок 2.14 – Безперервно діючі багатоступінчасті реактори повного змішування: каскад одиничних реакторів

Системи, що з'єднують кілька CSTR, використовують, коли реакція надто повільна. Кілька CSTR також можна використовувати, коли присутні дві рідини, що не змішуються, або в'язкі рідини, які потребують високої швидкості перемішування.

CSTR складаються з резервуара, зазвичай постійного об'єму, і системи перемішування для змішування реагентів. Для введення реагентів і видалення продуктів присутні труби подачі та виходу.

Лопаті для перемішування, які також називаються мішалками, використовуються для змішування реагентів. Нижче наведено зображення (рис.2.14) різних мішалок, які можна використовувати всередині CSTR.



Рисунок 2.15 Види змішуючих пристроїв

Реактори безперервної дії з резервуаром з перемішуванням найчастіше використовують у гомогенних реакціях рідинної фази, де потрібне постійне перемішування. CSTR також використовуються у фармацевтичній промисловості як петлеві реактори.

Переваги реактора безперервної дії:

- легко підтримується контроль температури;
- дешевий;
- має велику теплоємність;
- внутрішня частина реактора легко доступна.

Недоліки реактора безперервної дії:

- перетворення реагенту в продукт відносно об'єму реактора невелике порівняно з іншими проточними реакторами;
- можуть з'являтися зони, де не відбувається змішування;
- реагенти можуть пройти в обхід, якщо вихідний отвір розміщено неправильно [50].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

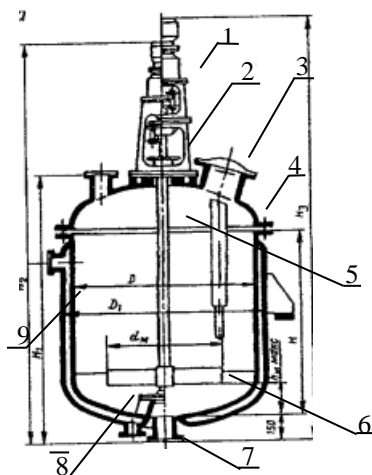


Рисунок 2.16 Вертикальний реактор з лопатевою мішалкою

На рис. 2.15 зображений апарат з перемішувачем. Він складається з: 1 – електродвигуна, 2 – муфти, 3 – вхідного патрубка, 4 – еліптичної кришки, 5 – приводу перемішувача, 6 – лопатевої мішалки, 7 – вихідного патрубка, 8 – корпуса, 9 – теплообмінної сорочки.

Принцип дії реактора з мішалкою. Апарат представляє собою посудину з еліптичною кришкою 4. У вхідний патрубок 3 надходить основний компонент. Вал перемішувача 5 і вал приводу 1 (електродвигун) з'єднуються муфтою 2. Крутний момент передається на вал від приводу 5. Перемішування відбувається за допомогою лопатевої мішалки 6. Для регулювання температури використовується теплообмінна сорочка 9, температура в реакторі становить  $55^{\circ}\text{C}$ . Після завершення процесу реакції, через вихідний патрубок 7 вивантажують отриманий розчин.

У реакторі також встановлені відбивні перегородки, які збільшують турбулентність у рідкому середовищі і підвищують інтенсивність перемішування.

За виконаними розрахунками накреслено реактор з лопатевими мішалками, який забезпечує інтенсивне перемішування розчину.

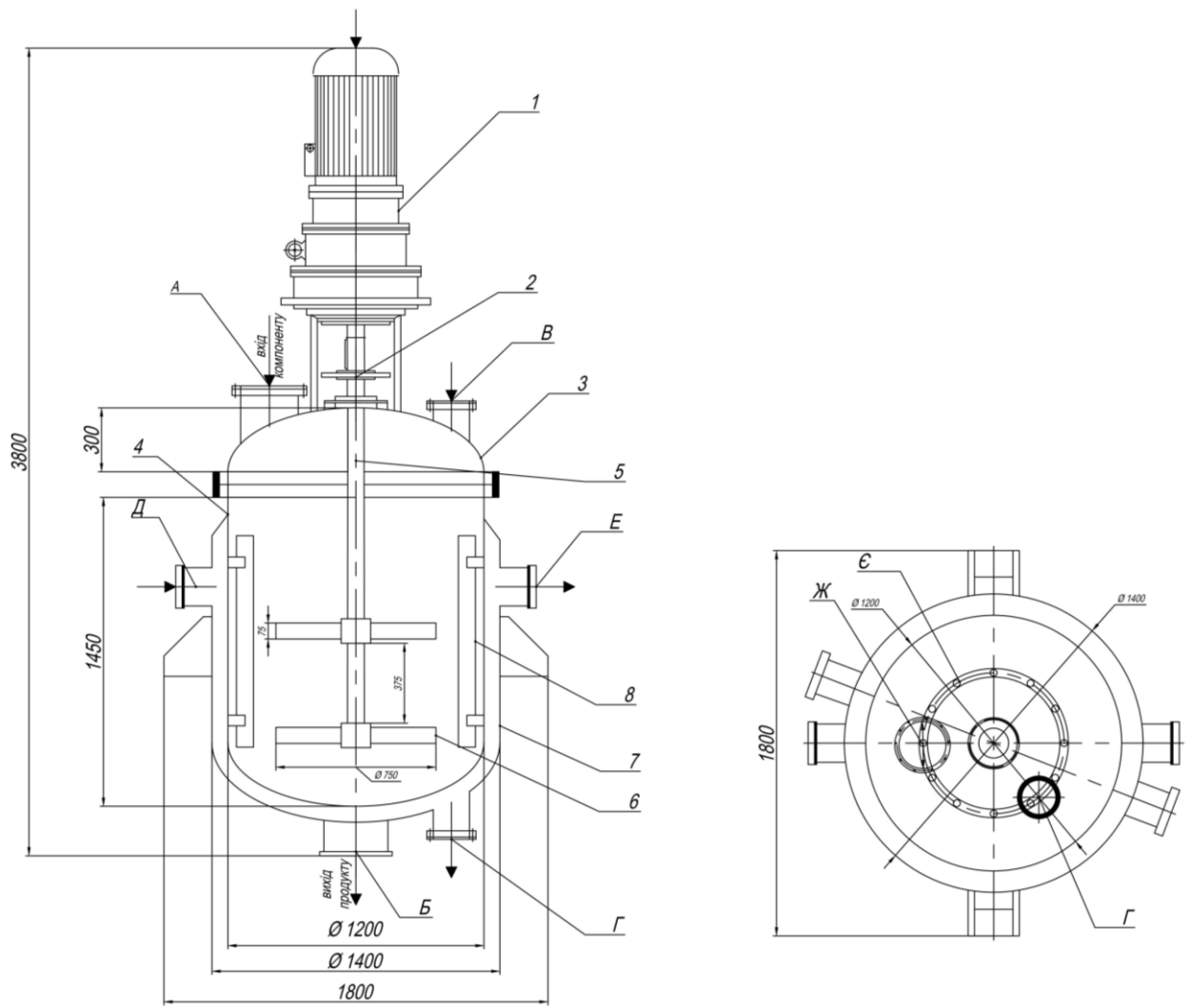


Рисунок 2.17 Вид реактора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Арк.

93

## 2.7 Апаратурно-технологічна схема

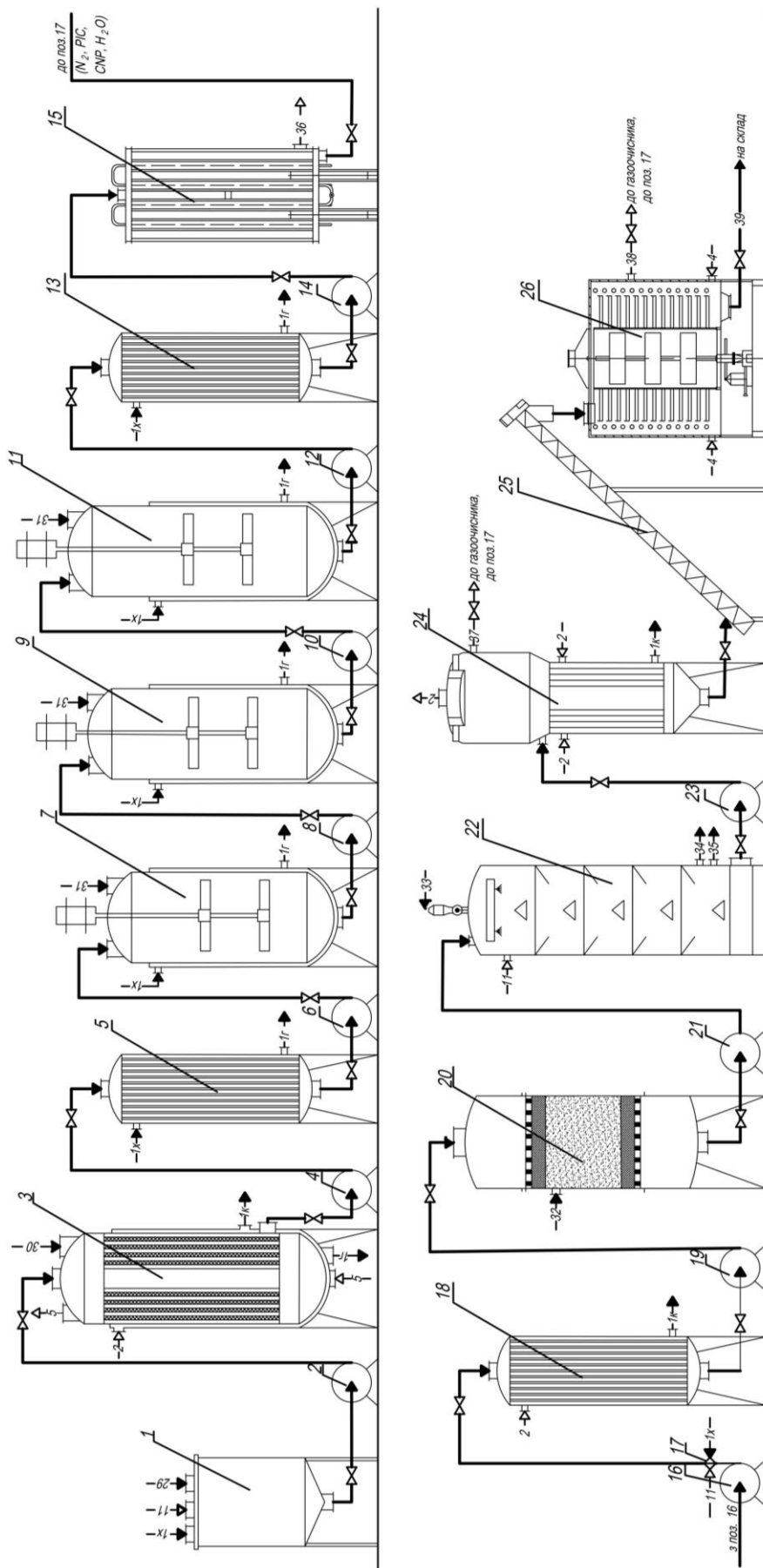


Рисунок 2.18 Апаратурно-технологічна схема технології ніацинаміді

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## Опис апаратурно-технологічної схеми

У збірник **1** подають 3-піколін, амоніак та воду. За допомогою відцентрового насоса **2** одержаний розчин надходить у реактор з суспензійним шаром каталізатора (реактор Фішера-Тропша) **3**.

У реакторі 3-піколін під дією кисню перетворюється на 3-ціанопіридин із побічним продуктом водою. Процес проходить з використанням суміші каталізаторів, які містять  $V_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$  і  $MoO_3$ , за температури  $330^\circ C$ .

Одержаний 3-ціанопіридин подається відцентровим насосом **4** до кожухотрубного теплообмінника **5**, де охолоджується до температури  $55^\circ C$ .

Далі охолоджений 3-ціанопіридин подається насосами **6**, **8**, **10** в реактори **7**, **9**, **11** каскадного типу періодичної дії з безперервним живленням. 3-ціанопіридин піддається ферментативному гідролізу в присутності біокаталізатора (нітрилгідратази, що виробляється мікроорганізмами роду *Rhodococcus rhodocrous* PA-34). Реактор складається з 3-х з'єднаних реакторів з перемішувачами пристроями, фермент нітрилгідратаза продукується мікроорганізмами роду *Rhodococcus rhodochrous* PA-34 при оптимальній температурі  $55^\circ C$  та тиску 101,6 кПа. Розміри реактора обрано шляхом збільшення його об'єму. Процес біогідролізу у реакторах складає 9 годин, по 3 години на кожен процес.

Далі отриманий розчин ніацинамід у подається через насос **12** і охолоджується в теплообміннику **13** до температури  $0^\circ C$ .

Одержаний розчин ніацинамід надходить через відцентровий насос **14** до атмосферного випарника **15**, де відбувається процес розділення від кисню, водню, аміаку, вуглекислого газу, залишків РІС, СNР. Залишки  $O_2$ ,  $NH_3$ , та  $CO_2$  відправляють до скрубера, далі в атмосферу. Залишки  $N_2$ , РІС, СNР та  $H_2O$  надходять через відцентровий насос **16** до змішувача **17**, куди додатково подають амоніак та воду.

Після цього розчин надходить до теплообмінника **18** і нагрівається до  $25^\circ C$  і перекачується відцентровим насосом **19** до деколоризатора **20** (адсорбуюча колона), де видаляється червоний пігмент, що залишився від

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

біокаталізатора *R. rhodochrous* РА-34 після каскадного реактора. Оброблене лугом активне вугілля було запропоновано як ефективний адсорбент для знебарвлення біокаталізатора. Колона заповнюється активним вугіллям для адсорбції забарвлених амідних сполук (ніацінамід). Утворений  $\text{NH}_4\text{OH}$  зменшує площу поверхні та об'єму пор матеріалу, а також збільшує кількість поверхневих груп, які сприяють адсорбції  $\text{CO}_2$  і збільшується адсорбційна здатність активованого вугілля. Процес відбувається у лужному середовищі, в результаті частково утворюється ніотинова кислота.

Отриманий знебарвлений розчин ніацінамід у насос **21** подається в нейтралізатор **22**. За допомогою буферного розчину  $\text{NH}_4\text{Cl}$  і  $\text{NH}_3$  розчин ніотинової кислоти нейтралізується і перетворюється в сіль ніацину, амоній нікотинат та хлоридну кислоту. Отримуємо нейтралізований розчин ніацінамід.

Нейтралізований розчин ніацінамід за допомогою відцентрового насоса **23** надходить до випарного апарата **24** з центральною циркуляційною трубою, де випарується за температури  $200^\circ\text{C}$ . Кисень, аміак та вода випаровуються, гази надходять на очистку, потім до змішувача **17**. Вологий порошок ніацінамід шнековим транспортером **25** подається в турбо сушарку **26**, де проходить процес сушіння. Азот використовують, як сушільний агент. Залишки амоніаку, азоту та води очищають та повторно надходять до змішувача **17**. Далі висушений порошок ніацінамід відправляють на склад, де його фасують та зберігають.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ ІІІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Собівартість є ключовим економічним показником, який нараховує вартість виробленої продукції або послуг. Вона включає в себе всі витрати, пов'язані з виробництвом і реалізацією товарів або послуг.

Собівартість складається з прямих витрат, які разом пов'язані з виробництвом, таких як сировина, матеріали, оплата праці, енергія, амортизація обладнання та витрати на управління. Крім того, вона включає непрямі витрати, такі як витрати на адміністрування, розробку продукції, маркетинг і рекламу.

Важливо відзначити, що собівартість має прямий вплив на прибутковість підприємства. Чим нижча собівартість, тим більший проявлений прибуток може отримати підприємство. Також собівартість визначає рентабельність виробництва та окремих видів продукції, що дозволяє підприємству оцінити ефективність своєї діяльності.

Розрахунок собівартості, планування виробництва та встановлення ціни на продукцію можуть бути використані для прийняття рішень про використання ресурсів і планування майбутньої діяльності підприємства.

Собівартість виконує важливі функції, які відображають її значення в управлінні підприємством і виробництвом. Основні функції собівартості включають: облік і контроль витрат на виробництво й реалізацію продукції; визначення прибутку та рентабельності; обґрунтування ефективності та актуальності вкладення інвестицій на реконструкцію, технічне оновлення і збільшення обсягів підприємства. Роль собівартості постійно збільшується через перехід до ринкової економіки. Аналіз собівартості промислової продукції має важливе значення, тому що завдяки йому виявляються тенденції зміни показника, робляться висновки та корективи, визначається,

					<i>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.097.КР.ІІЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гуленко К.В.</i>			<b>ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сабадаш Н.І.</i>					97	
<i>Реценз .</i>						НУХТ Каф. ТЖХТ		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>						

які саме фактори впливають на нього й, тим самим, дають оцінку роботі підприємства. Зниження собівартості продукції для підприємства має значущу роль, тому що є однією з основних умов підвищення ефективності виробництва, а також одним із вирішальних джерел підвищення доходу працівників, також впливає на величину прибутку, рівень рентабельності. У процесі виробництва та реалізації продукції підприємство здійснює багато витрат. Витрати – це сукупність видатків підприємства, пов’язаних із виробництвом продукції, наданням послуг, виконанням робіт та їхньою реалізацією, виражена у грошовій формі [51].

Собівартість продукції являє собою вартісну оцінку природних ресурсів, сировини, матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих, палива, енергії, основних фондів (щорічні амортизаційні відрахування), трудових ресурсів (фонд заробітної плати), які використані в процесі виробництва даної продукції, а також інших витрат, пов’язаних з її виробництвом і реалізацією [52].

Потреба в сировині та основних матеріалах для отримання 100 кг ніацинамідю наведена в таблицях 3.1 та 3.2.

*Таблиця 3.1*

Собівартість сировини для отримання 100 кг ніацинамідю

Сировина	Кількість, кг	Ціна за кг	Ціна, грн/100 кг
3-піколін	185	115	21275
Вода	795	6	4770
Кисень	39,1	2,61	102,05
Азот	69	3,73	1194
<b>Всього</b>	<b>1088,1</b>	<b>127,34</b>	<b>27341,05</b>

Таблиця 3.2

Собівартість каталізаторів та допоміжних речовин для отримання 100 кг ніацинаміду

Каталізатор	Загальна вартість для виробництва 100 кг ніацинаміду
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub> /ZrO <sub>2</sub> /MoO <sub>3</sub>	71285,5
Rhodococcus rhodocrous	14600
Активне вугілля	600
NH <sub>4</sub> Cl	667,4
<b>Всього</b>	<b>87152,9</b>

Вартість каталізатора для амооксидування 3-піколіну розраховуються шляхом визначення оптових цін на потрібні каталізатори. Собівартість наведено у таблиці 3.3:

Таблиця 3.3

Склад	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	MoO <sub>3</sub>	<b>Всього</b>
Кількість, кг	40	9	21	30	100
Вартість, кг	745	572	400	931,25	2648,25
Вартість за 100 кг	29800	5148	8400	27937,5	71285,5

Розрахунок вартості каталізатора для біогідролізу 3-ціанопіридину.

Каскадний реактор, який складається з 3 реакторів, має об'єм 1 м<sup>3</sup>. Було визначено, що кожен 1 м<sup>3</sup> реактор містив би 0,1 кг (суха вага) цільноклітинного біокаталізатора R. rhodochrous PA-34 іммобілізований у поліакриламідних частинках.

Тоді густина клітин у кожній посудині буде:

$$\rho_{\text{клітин}} = \frac{\text{маса клітин (кг)}}{\text{об'єм реактора (м}^3\text{)}} = \frac{0,1}{1} = 0,1 \text{ кг/м}^3$$

За реакцію відповідає нітрилгідратаза, яка отримана за допомогою біокаталізатора R. rhodochrous PA-34.

									Арк.
									99
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ				

Отже, загальна ціна за кг біокаталізатора = 14600 грн

Витрати енергоресурсів на одиницю продукції розраховують, виходячи з норм витрати на одиницю продукції і вартості 1 кВт-год електроенергії, 1 м<sup>3</sup> води. Вартість витрат енергоресурсів на одиницю продукції наведені в таблицях 3.4, 3.5 та 3.6 [27].

Таблиця 3.4

Вартість витрат електроенергії на виробництво ніацинамідру

Обладнання	Кількість	Використання (кВт)	Вартість, грн
Відцентровий насос	10	18	108
Шестерінчастий насос	3	21	126
Кожухотрубний теплообмінник	2	66	396
<b>Всього</b>	<b>13</b>	<b>8,8</b>	<b>234</b>

Таблиця 3.5

Вартість витрат холодної води на виробництво ніацинамідру

Обладнання	Кількість	Використання м <sup>3</sup> /год	Вартість, грн
Кожухотрубний теплообмінник	4	70	5191,2
<b>Всього</b>	<b>4</b>	<b>70</b>	<b>5191,2</b>

Таблиця 3.6

Вартість витрат пари на виробництво ніацинамідру

Обладнання	Кількість	Використання кг/год	Вартість, год
Кожухотрубний теплообмінник	2	23,6	6727,7
<b>Всього</b>	<b>2</b>	<b>23,6</b>	<b>6727,7</b>

Вартість відходів води становлять 4656,3 грн.

Отже, загальна вартість витрат енергоресурсів та відходів для виробництва 100 кг ніацинамідю складають 12152,9 грн.

Витрати на комунальні послуги

У таблиці 3.7 наведено загальну змінну вартість процесу.

Таблиця 3.7

Загальна змінна вартість процесу

Загальні витрати	Вартість витрат, грн
Витрати на продаж/трансфер	36000/місяць
Витрати для досліджень	20046/місяць
Адміністративні витрати	8352/місяць
Побічні продукти 0 грн за 100 кг ніацинамідю	0
Комунальні послуги 12,7 за кг ніацинамідю	30396/місяць
<b>Загальні витрати</b>	<b>94794</b>

Постійні витрати

До постійних витрат належать заробітна плата та винагороди, накладні операційні витрати, страхування, податки, вартість обслуговування обладнання та самої установки. У таблиці 3.8 наведено загальні постійні витрати виробництва.

Таблиця 3.8

Операції	
1	2
Заробітна плата	25000
Операційні матеріали та послуги	3200 грн
Технічна допомога виробництву	-
Контрольна лабораторія	-
<b>Загальна сума операцій</b>	<b>28200 грн</b>

Таблиця 3.8 Продовження таблиці

Технічне обслуговування	
1	2
Заробітна плата та виплати	30000грн
Витрати на технічне обслуговування	4714 грн
<b>Загальна сума обслуговування</b>	<b>34714 грн</b>
Операційні накладні витрати	
1	2
Загальні витрати виробництва	20710 грн
Послуги механічного відділу	1244 грн
Відділ зв'язків із працівниками	5255 грн
<b>Загальні операційні накладні витрати</b>	<b>27209 грн</b>
Податки на майно та страхування	
1	2
Податки на майно та страхування	13037 грн
Інші річні витрати	
Орендна плата (офісні та лабораторні приміщення)	-
Ліцензійні збори	-
Загальні інші річні витрати	-
<b>Загальні постійні витрати</b>	<b>103160 грн</b>

Витрати для 100 кг ніацинамідуму на сировину становлять 27341,05 грн., на каталізатори – 87152,9 грн., загальна вартість витрат енергоресурсів для виробництва 100 кг ніацинамідуму складають 12152,9 грн., витрати на комунальні послуги – 4514 грн, постійні витрати – 4912 грн.

Загальна вартість витрат на 100 кг ніацинамідуму становить 136072,81 грн, тоді на 1 кг – 1360,73 кг.

Рентабельність

						Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕОБГРУНТУВАННЯ	

Рентабельність підприємства – це відносний показник його економічної ефективності, який відображає, наскільки ефективно компанія використовує матеріальні, трудові, грошові та інші ресурси. Розраховується, як відношення прибутків до активів, що формують його.

Високий рівень рентабельності – це головний показник ефективної роботи підприємства. Великий виторг не завжди показує реальну картину економічного стану компанії. Наприклад, можна вкладати великі кошти в розвиток, мати гарні обороти, але не отримувати достатньо прибутків для покриття всіх витрат. У такому випадку інвестиції в розвиток бізнесу стануть дуже дорогими та непродуктивними. З іншого боку, компанія, яка має менші об'єми продаж, буде більш стійкою та ефективною. Іншими словами, рентабельність є відносним показником.

Показники рентабельності – це основний інструмент фінансового аналізу та планування розвитку компанії, який демонструє, що підприємство правильно використовує власні кошти, покриваючи витрати та водночас отримуючи прибуток [53].

Рентабельність розраховують за формулою:

Рентабельність= чистий прибуток/виторг

$$P = \frac{2082 - 1360,73}{2082} * 100\% = 34,64 \approx 35\%$$

Такий високий рівень рентабельності можна пояснити ростом об'єму виробництва продукції, а головним чином, інфляційним ростом цін на реалізовану продукцію, що і обумовило отримання високих сум прибутку при відносно невеликих розмірах основних виробничих фондів і матеріальних оборотних коштів. Тому, виробництво ніацинамід є економічно вигідним, з рівнем рентабельності 35%.

Якщо цей процес розвинути та вдосконалити, рентабельність інвестицій може перевищити вартість початкові інвестиції. З підвищеною чистотою і, отже, підвищеною продажною ціною на ніацинамід процес принесе кращу віддачу від початкових інвестицій на ранніх термінах життя проекту.

					ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

## РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

У зв'язку із потенційною небезпекою для здоров'я споживача обіг фармацевтичної, харчової та косметичної продукції у країнах ЄС регулюється законодавчими та нормативно-правовими актами.

Вимоги до виробництва харчових продуктів та дієтичних добавок регулюється спеціальними організаціями, які видають відповідні сертифікати. Основними є сертифікація GMP, ISO, HACCP, FDA.

GMP – контролювання якості та забезпечування якості, які застосовуються на підприємстві під час виробництва. Вимоги до належної виробничої практики у певній промисловості, як правило, встановлюються стандартами чи настановами. А саме визначення понять контролювання якості та забезпечування якості можна знайти в стандарті ISO 9000:2015. Наприклад, належна виробнича практика (GMP) щодо первинного пакування лікарських засобів вимагає, на додаток до належного забезпечування персоналом, приміщеннями та устаткуванням, наявності системи управління якістю, яка охоплює заходи контролю стосовно вхідних початкових матеріалів, стосовно виготовлення, наявність відповідної документації, дотримання вимог промислової гігієни, контроль готової продукції, протоколи щодо розподілення, розглядання скарг і самоконтроль [54].

Впровадженню системи GMP на підприємствах харчової промисловості сприяв розвиток сегмента виробництва дитячого і спеціалізованого харчування, харчових і біологічно активних добавок, збільшення обсягів виробництва і посилення вимог щодо якості та безпечності продукції, що виробляється.

					<b>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.104.КР.ПЗ</b>		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
Розроб.		Гуленко К.В.			<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушіє</b>
Перевір.		Сабадаш Н.І.				104	
Н. Контр.		Подобій О.В.			<b>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ</b> <i>НУХТ Каф. ТЖХТ</i>		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

Система GMP формує ряд конкретних вимог стосовно організації виробництва, виконання яких необхідне для забезпечення якості продукції та передбачає наявність системи управління підприємством. Таким чином, система забезпечення якості та безпечності харчової продукції, що базується на поєднанні стандартів ISO 22000 (а також ISO 9001) та GMP, може слугувати ефективним інструментом, який дозволяє забезпечити процесний підхід до управління виробництвом і забезпечення випуску безпечної продукції.

#### Основні правила GMP:

- опис всіх технологічних процесів на виробництві та контроль за ними;
- валідація кожного етапу виробничого процесу;
- забезпечення виробництва відповідними приміщеннями, обладнанням, навченим персоналом;
- контроль якості сировини, упаковки, допоміжних матеріалів, їх правильного зберігання і транспортування;
- регулярне навчання персоналу щодо технологічних вимог та перевірка результативності даного навчання;
- особиста гігієна персоналу;
- забезпечення контролю за склом і пластиком, які використовуються на виробництві;
- планування приміщень і план розміщення обладнання;
- контроль за станом обладнання;
- контроль якості і безпеки води і повітря;
- контроль потоків сировини, напівфабрикатів і готової продукції з метою виключення перехресного забруднення.

Систему GMP доцільно розглядати в сукупності з іншими програмами-передумовами (мінімум програм-передумов передбачає впровадження системи НАССР), які є важливими стосовно безпечності харчових продуктів:

					<b>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ</b>	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

практика простежуваності продукції, що виробляється, санітарно-гігієнічна практика (тобто, належна гігієнічна практика - GHP), програма боротьби зі шкідниками, контроль за хімічними препаратами, використовуваними на виробництві, програма роботи з рекамаціями споживачів, програма контролю і оцінки постачальників, програма механізації (наприклад, для тваринницьких ферм), програма внутрішніх і зовнішніх аудитів.

Як показує досвід підприємств, що впровадили і реалізують свою діяльність відповідно до принципів GMP, поряд зі зростанням вимог стосовно якості і безпечності продукції, що виробляється, відбувається зниження витрат на контроль якості та, відповідно, витрат на утилізацію невідповідної продукції. Окремо слід відзначити роль системи GMP у формуванні позитивного іміджу виробника, що грає важливу роль в умовах жорсткої конкурентної боротьби в харчовій індустрії [55].

ISO – Міжнародна організація зі стандартизації (International Organization for Standardization, ISO) – міжнародна організація, метою діяльності якої є ратифікація, розроблених спільними зусиллями делегатів від різних країн, стандартів.

Відповідно до Статуту, ISO визначає завданням своєї діяльності як сприяння розвитку стандартизації і суміжних видів діяльності у світі з метою забезпечення міжнародного обміну товарами і послугами, а також розвиток співробітництва в інтелектуальній, науково-технічній і економічній галузях.

НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point) – система аналізу ризиків, небезпечних чинників і контролю критичних точок. Система НАССР є науково обґрунтованою, що дозволяє гарантувати виробництво безпечної продукції шляхом ідентифікації й контролю небезпечних чинників. Основні засади впровадження НАССР, а також принципи НАССР відображено в таких міжнародних стандартах, як ISO 22000, IFS (International Food Standard), BRC. Також дана інформація відображена в Рекомендованому міжнародному Кодексі загальних принципів гігієни харчових продуктів.

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

FDA – (Food and Drug Administration) – Управління продовольства і медикаментів (УПМ). Воно відповідає за регуляцію та нагляд над безпечністю харчових продуктів, біологічно активних добавок, ліків, вакцин, медичних приладів, ветеринарної продукції та косметики [54].

Good Manufacturing Practice for Medicinal Products (GMP) – це зведення правил з виготовлення безпечної та якісної продукції медичного призначення, а саме лікарських препаратів, продуктів харчування, харчових добавок, косметичних та лікувально-профілактичних засобів тощо.

Виробництво добавок, вітамінів, фармацевтичних препаратів вимагає дотримання нормативних вимог і вимог якості:

- постачання високоякісної, безпечної та ефективної продукції;
- відповідність діючим нормативним вимогам і чинним стандарти;
- постійне вдосконалення системи управління якістю, продуктами та послугами.

**Виробництво ніацинамід**у відповідає національним і міжнародним стандартам якості, включаючи гарантію якості комбінованого тепла та електроенергії (CHPQA), Фармакопеї США (USP), Британської Фармакопеї (BP), Японської Фармакопеї (JP) і Європейської Фармакопеї. Компанія має сертифікат належної виробничої практики (GMP), систематично проходить перевірку Управління харчових продуктів і медикаментів США (FDA), перевірки ISO9001, ISO14001 і OHSAS18001, аудит НАССР.

Компанія Лонза досягає цього шляхом:

- дотримання чинних нормативних вимог і створення ефективних галузевих мереж, щоб бути в курсі нормативно-правових актів, що розвиваються, і найкращих галузевих практик;
- розвитку міцної культури відповідності та якості;
- інтеграції GMP і принципів управління якістю у бізнес-процеси та прийняття практичних рішень;

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- включення якості в життєвий цикл продукту, забезпечення належного рівня GMP через етапи життєвого циклу товару;
- проектування інноваційних установок і процесів на початкових етапах виробництва;
- забезпечення індивідуального навчання та розвитку кваліфікованого та досвідченого персоналу;
- проведення регулярних внутрішніх аудитів на відповідність та вдосконалення;
- обміну найкращим досвідом GMP.

Найвищий пріоритет приділяється цілісності продукції, її безпечному виробництву та розповсюдженню, а також дотриманню екологічних та інших відповідних норм [56].

					ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Промислові відходи є небезпечними як для людини, так і навколишнього середовища. Щоб забезпечити збереження ресурсів необхідно застосовувати переробку сировини; переробку газодимових викидів та стічних вод з використанням продуктів газо- і водоочищення; рекуперацію та утилізацію відходів виробництва; раціонально використовувати енергоресурси та енергозбереження; розробку нових ефективних технологічних процесів, у тому числі й мікробіологічних.

Кожне виробництво прагне частково зменшити використання природних ресурсів, таких як вода та енергія, а також зменшити викиди вуглекислого газу та інших відходів.

У своєму виробництві компанія Лонза намагається зменшити шкідливі викиди в повітря, воду та ґрунт.

Відповідно до цілей у сфері енергетики та викидів парникових газів (на рис. 5.1) компанія планує зменшити інтенсивність викидів CO<sub>2</sub> менше 50% до 2030 року порівняно з 2018 роком.



Рис. 5.1 Порівняння викидів з 2018 до 2030 років

					<i>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.109.КР.ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Гуленко К.В.			Лім.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Сабадаш Н.І.				109	
Н. Контр.		Подобій О.В.			<b>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

На місцевому рівні розробляють плани вдосконалення виробничих технологій щодо збереження навколишнього середовища, безпеки та сталого розвитку. Це розроблено щоб забезпечити відповідність наших виробничих потужностей, ефективність і безпеку, а також допомогти досягти загальних цілей сталого розвитку.

На кожному об'єкті діє програма енерго- та ресурсоефективності. Дані про споживання енергії, викиди CO<sub>2</sub>, дані про стічні води, відходи, воду надходять в корпоративний відділ охорони здоров'я щоквартально [56].

Компанія зменшила споживання енергії і викидів вуглецю порівняно з 2018 роком (рис. 5.2).

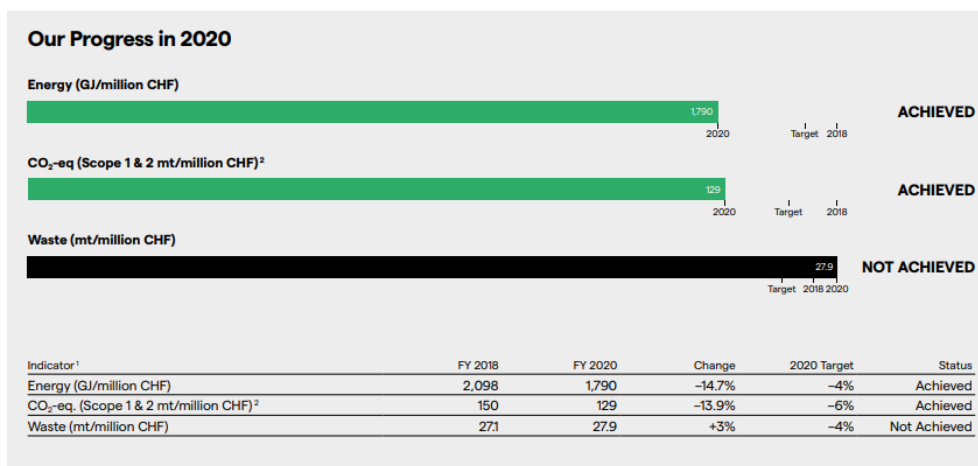


Рис. 5.2 Споживання енергії і викидів вуглецю у 2020 році

Компанія зосередилася на викидах парникових газів (ПГ) і планує збільшити частку відновлюваної електроенергії, і таким чином зменшити споживання електроенергії та викидів ПГ. Було прийнято систему енергоменеджменту, узгоджену з структурою ISO 50000.

Енергія є необхідним ресурсом для різних процесів виробництва: опалення, охолодження, вентиляції, а також кондиціонування повітря будівель, охолодження, для виробництва речовин, таких як пара. Головними джерелами енергії є природний газ, електроенергія та вироблена енергія на виробництві, в основному шляхом спалювання газоподібних побічних продуктів, розчинників та відходів.

У 2020 році показники енергоємності знизилися на 14,7% порівняно з 2018 роком. Це зниження зумовлене двома факторами. По-перше,

асортимент продуктів змінюється від хімічного синтезу до біотехнологічних процесів, використовуючи системи бактерій і ссавців. Такі виробничі процеси менш енергоємні, ніж хімічне виробництво. По-друге, значні кошти інвестують в сучасні енергоефективні будівлі та технології виробництва. Крім того, купують продукцію компаній, технології виробництва яких є більш енергоефективними.

У виробництві вода використовується для теплопередачі, охолодження, утворення пари, очищення, обслуговування, як розчинник як інгредієнт продукту та для санітарної обробки. Вода – це дорогоцінний, життєво-важливий і природний ресурс, дедалі важливий і дефіцитний, який необхідно регулювати, особливо в місцях з дефіцитом води.

У регіонах, де прісної води мало, застосовуються програми управління водними ресурсами для досягнення оптимізації споживання води.

Для зменшення кількості води, проводять вимірювання та контроль промислової води (яка може бути змінена хімічно, так і фізично шляхом виробничих процесів) і охолоджувальної води (яка не змінюється, крім температури). З 2018 року всі підрозділи зобов'язані звітувати про використання води, показники джерела, водокористування та виходу води. Також запровадили стандарт управління водою та стічними водами, щоб встановити мінімальні внутрішні вимоги [56].

За науковими даними, викиди парникових газів (ПГ) спричиняють глобальне потепління, причиною якого є горіння викопного палива для забезпечення енергією. Це впливає на клімат у всьому світі.

Поряд з парниковими газами, інші фактори, такі як виробництво енергії, відходи спалювання та промислові процеси призводять до інших викидів, таких як тверді частинки, оксиди азоту (NO), діоксид сірки (SO<sub>2</sub>) і леткі органічні сполуки. Мета виробництва полягає в постійному моніторингу, контролі та зменшенні викидів, виконанні вимог законодавства та зменшенні їх поза нормативними вимогами. Зосереджено увагу на управлінні споживанням енергії, джерелами енергії та відходами. Основна

мета – відокремити викиди парникових газів від споживання енергії, збільшити частку відновлюваної електроенергії (вітер, гідро, сонячна енергія тощо), яка включає загальне споживання енергії.

За 2019 рік, на основі вимірювань та обсягів виробництва викиди склали 2149 тонн N<sub>2</sub>O (що відповідає 666 тис. тонн CO<sub>2</sub>-екв.), а на 2020 рік – 1869 тонн N<sub>2</sub>O (приблизно 579 тис. тонн CO<sub>2</sub>-екв.).

Компанія активно працює над зменшенням відходів, які утворюються на виробничих потужностях у лабораторіях. Очищення та утилізація всіх відходів (включаючи стічні води) проводиться в повній відповідності до місцевих правил і міжнародних стандартів. Система управління відходами і продуктивність на виробничих підприємствах підлягає регулярному контролю та перевірці.

На багатьох підприємствах компанії промислову воду збирають в резервуари та очищають у власних чи зовнішніх очисних спорудах для стічних вод. Після попередньої перевірки відповідно до місцевих дозволів, дозволяється скидання в каналізацію або у водойми.

У 2018 році було визначено довгострокове глобальне зниження інтенсивності відходів 24% до 2030 року. Це вимагає постійного скорочення відходів за програмою приблизно 2% на рік. Але виробництва не змогли досягти скорочення відходів, яке було заплановане до 2020 року [56].

З метою охорони навколишнього середовища підприємство застосовує:

- безвідходні та маловідходні технологічні процеси;
- комплексну переробку природних ресурсів;
- створює безстічні технологічні системи;
- розроблення і впровадження систем утилізації відходів основного виробництва;
- створення принципово нових технологічних процесів, одержання традиційних видів продукції з мінімальною кількістю відходів;

Розглядаючи досліджуваний процес виробництва ніацинаміду, то у ньому переробка відходів і витік хімікатів є двома основними проблемами.

					<b>ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

Відходи включають CO<sub>2</sub>, інші гази, а також органічні сполуки, що залишилися в потоці очищення після сушіння. Перші два будуть виправлені за допомогою мокрих скрубєрів на виходах з потоків.

Хоча кількість CO<sub>2</sub>, що виробляється біокаталізаторами, не була точно визначена, мокрі скрубєри будуть розміщені після випарника та сушарки. Регенерація каталізаторів також виробляє CO<sub>2</sub>, який буде перенаправлено до однієї з установок мокрого скрубєра. Органічні сполуки в стічних водах очищатимуть на сторонньому об'єкті.

Найбільш токсичним хімікатом у процесі є аміак, що вимагає постійного моніторингу вмісту аміаку в повітрі, що оточує відповідні посудини та трубопроводи, щоб забезпечити безпечні умови праці.

У цьому методі побічний продукт водень відокремлюють та використовують як паливо для системи підігріву Dowtherm. Вологі скрубєри використовують для мінімального видалення CO<sub>2</sub>, що виділяється під час процесу.

Крім того, як паливо, для системи підігріву Dowtherm було обрано відновлюваний природний газ. Це новий вид біогазу, який виділяє менше CO<sub>2</sub>, ніж природний газ. Відновлюваний природний газ не потребує гідравлічного фракціонування, оскільки він утворюється з біомаси. Ці особливості процесу виробництва ніацинамідру створюють позитивний вплив на навколишнє середовище.

У цьому процесі тільки воду використовують як розчинник, а токсичні речовини аміак переробляються у самій системі.

## РОЗДІЛ VI ОХОРОНА ПРАЦІ

Високі стандарти гігієни та безпеки праці є основою для забезпечення безпеки, здоров'я та добробуту співробітників. На підприємствах регулярно перевіряють норми охорони здоров'я та техніки безпеки, створено службу охорони праці, яка розробляє різні заходи, які забезпечують кожному працівникові безпечні умови праці. Відповідальна особа з охорони праці контролює техніку безпеки на виробництві, її стан, а також стежить за тим, щоб всі працівники, проходили інструктаж з охорони праці. Дотримання відповідних правил техніки безпеки відбувається відповідно до «Рекомендацій ЕНС» [57].

Велика увага приділяється дотриманню умов праці на робочих місцях, а саме:

- забезпечення хорошої вентиляції у виробничих приміщеннях, гарної освітленості, позбавлення від пилу в місцях відпрацювання, вчасно позбавлення від відходів виробництва, підтримання та регулювання температури незалежно від пори року як в цехах так і на робочих місцях;
- під час роботи з обладнанням, забезпечуються умови, за яких усуваються аварії, ураження електричним струмом тощо;
- організовано ознайомлення працівників з усіма правилами поведіння на підприємстві, а також з усіма правилами техніки безпеки;
- працівники в установленому порядку забезпечуються інструкціями з охорони праці, які діють на підприємстві, а також у виробничих цехах.
- інструкції з охорони праці повинні містити інформацію:
- про матеріали, обладнання та інструменти;
- про встановлені небезпечні фактори, пов'язані з виконанням певних видів робіт, та контроль над ними;

					<i>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.114.КР.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гуленко К.В.</i>			<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сабадаш Н.І.</i>					114	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>						
						НУХТ Каф. ТЖХТ		

- про можливі фактори ризику для здоров'я;
- про запобіжні заходи з метою запобігання шкідливих впливів;
- про санітарно-гігієнічні вимоги;
- про необхідність використання спецодягу та засобів індивідуального захисту;
- про заходи у разі виникнення нештатних ситуацій, нещасних випадків та аварій [57].

Для створення нормальних умов виробничої діяльності забезпечується необхідна чистота повітря.

Технологічні процеси, пов'язані з застосуванням токсичних, подразнювальних та легкозаймистих речовин, проводять в окремих приміщеннях або у спеціальних приміщеннях, що обладнані припливно-витяжною вентиляцією і протипожежними засобами.

Розташування виробничих цехів забезпечують поточність технологічних процесів. Не допускається перехрещення потоків готової продукції та сировини. Всі виробничі приміщення між собою розташовуються за ходом технологічного процесу. Всі приміщення утримуються у належній чистоті. Вихідні матеріали, заготовки, напівфабрикати не надають шкідливої дії на працівників. При необхідності використання вихідних матеріалів, заготовок і напівфабрикатів, які можуть мати шкідливий вплив, застосовуються засоби індивідуального захисту працівників.

Для створення сприятливих умов для здорової роботи, які запобігають швидкій втомлюваності очей, на виробництві забезпечується рівномірний та постійний рівень освітлення у виробничих приміщеннях.

Головним негативним фактором на виробництві, який впливає на персонал є шум. Контроль рівнів шуму проводиться кожного року, відповідно встановлених вимог. З метою зменшення рівня шуму на підприємствах мінімізують шум механічного походження шляхом вдосконалення обладнання.

Засобом, що забезпечує вібраційну безпеку є створення таких умов, за яких вібрація, що впливає на людину, не перевищує встановлених меж.

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	Арк.
						<b>115</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зниження вібрації створюють робочі місця з урахуванням максимально можливого зниження рівня вібрації; використовують обладнання з підвищеним віброзахистом [58].

До роботи з електричним обладнанням та приладами допускають працівників, які пройшли інструктаж і ознайомлені з правилами безпеки та охорони праці на виробництві.

До засобів протипожежного захисту відносяться: установки пожежної сигналізації та пожежогасіння, системи оповіщення людей про пожежу і керування евакуацією, системи протидимного захисту, системи пожежного спостереження, первинні засоби пожежогасіння, вогнезахист конструкцій.

На підприємствах встановлено пожежну сигналізацію, систему оповіщення людей про пожежу і керування евакуацією, систему протидимного захисту, систему пожежного спостереження, первинні засоби пожежогасіння. На підприємствах розміщені плани евакуації під час пожежі та є відповідальні особи при евакуації під час пожежі.

На підприємствах є можливість надання працівникам кваліфікованої першої медичної допомоги [58].

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>116</b>

## ВИСНОВКИ

У світі виробництво ніацинамідів зростає. Він є важливим компонентом у харчовій, фармацевтичній галузях, сільському господарстві, а останнім часом все більшої популярності набуває у косметичній галузі. Основними виробниками на світовому ринку ніацинамідів є Lonza (Швейцарія), Vertellus (Великобританія), Zhejiang Lanbo Biotechnology (Китай), BASF SE (Німеччина). За статистичними даними ринок ніацинамідів до 2029 року зросте до 934,17 мільйонів доларів США порівняно з 2021 роком (695,86 мільйонів доларів США).

Нині хімічна промисловість зосереджена на біотехнологічних процесах, які є більш екологічно ефективними, спрямовані на усунення забруднюючих речовин, зменшення відходів або їх повторне використання.

Таким чином, у кваліфікаційній роботі:

1. вивчено сировинну базу для виробництва ніацинамідів. Основною сировиною є 3-піколін, який під дією каталізатора перетворюється на 3-ціанопіридин, а потім на ніацинамід;
2. здійснено аналіз виробництва ніацинамідів та обрано екологічний (зелений) метод. Вивчено хімічні основи процесу отримання ніацинамідів та встановлено, що реакція 3-піколіну з киснем є екзотермічною;
3. обґрунтовано удосконалення технології ніацинамідів з 3-піколіну. Замінено каталізатор з *Rhodococcus rhodochrous* J1 на *Rhodococcus rhodochrous* PA-34 (мутант 4D), який прискорює процес виробництва ніацинамідів та дозволяє працювати при вищій температурі (55°C), що дає змогу економити воду, яку використовують для охолодження 3-ціанопіридину.
4. удосконалено принципово технологічну схему виробництва ніацинамідів;
5. розраховано матеріальний баланс потужністю 100 кг/добу;
6. розраховано тепловий баланс;

					<i>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.117.КР.ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Гуленко К.В.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сабадаш Н.І.</i>				117	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>			<b>ВИСНОВКИ</b> НУХТ Каф. ТЖХТ		
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>					

7. здійснено підбір основного технологічного обладнання: реактори, відцентрові та шестерінчасті насоси, сушарку, атмосферний випарник, кожухотрубні теплообмінники, адсорбуючу колону, нейтралізатор;
8. накреслено схему основного обладнання (реактора) та виконано розрахунок основних геометричних та конструктивних параметрів апарата, потужність, площу поверхні теплообміну;
9. накреслено апаратно-технологічну схему виробництва ніацинамідру;
10. виконано техніко-економічний розрахунок технології ніацинамідру. Загальні витрати на 100 кг ніацинамідру становить 136072,81 грн, на 1 кг – 1360,73 кг. Рентабельність виробництва – 35%;
11. описано контроль якості продукції за основними видами сертифікації, яких дотримуються на виробництві та встановлено, що організація виробництва та готова продукція відповідають міжнародним стандартам якості GMP, ISO, HACCP, FDA;
12. наведено основні заходи з охорони здоров'я та техніки безпеки на виробництві для безпечних умов праці;
13. проаналізовано заходи з охорони навколишнього середовища, а саме збереження ресурсів, переробку сировини, газодимових викидів та стічних вод, утилізація відходів виробництва; раціональне використання енергоресурсів та енергозбереження.

					<b>ВИСНОВКИ</b>	Арк.
						<b>118</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вітамін В<sub>3</sub> (нікотинова кислота) URL: <https://studioleo.com.ua/?p=32362> (дата звернення 12.05.2023).
2. Walter Eschenmoser. 100 Years of Progress with Lonza. *Chimia International Journal for Chemistry*. 1997. P. 259-269.
3. Roderick Chuck. A Catalytic Green Process for the Production of Niacin. *Chimia International Journal for Chemistry*. 2000. Vol. 54. N. 9. P. 508-513.
4. Фармацевтична хімія : Підручник для студ. вищ. фармац. навч. закл. і фармац. ф-тів вищ. мед. навч. закл. III-IV рівнів акредитатації / За заг. ред. П.О. Безуглого. Вінниця: НОВА КНИГА, 2008. 560 с.
5. Katja Majar. A study of composition of niacinamide containing cosmetic products // Ljubljana. 2021. P. 77.
6. Гриценко І. С., Друговіна В.В., Сергієнко О.М., Кобзар Н.П. та ін. Стандартизація, контроль якості та сертифікація парфумерно-косметичних засобів: Тексти лекцій для студ. V курсу спец. «Технологія парфумерно-косметичних засобів». Харків: вид-во НфаУ, 2012. 84 с.
7. 3-pyridinecarboxamide (nicotinamide). SIDS Initial Assessment Report. 2013. P. 94.
8. Фармацевтична хімія : Підручник для студ. вищ. фармац. навч. закл. і фармац. ф-тів вищ. мед. навч. закл. III-IV рівнів акредитатації / За заг. ред. П.О. Безуглого. Вінниця: НОВА КНИГА, 2008. 560 с.
9. Scientific Opinion on the safety and efficacy of niacin (nicotinamide) as a feed additive for all animal species based on a dossier submitted by EUROPE-ASIA Import Export GmbH. European Food Safety Authority (EFSA). *EFSA Journal* 2012. Vol. 10. N. 7. P. 7-1.
10. Global Niacinamide Market – Industry Trends and Forecast to 2029. 2022

					<i>ННІХТ.ХТ-4-13.023.161.119.КР.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гуленко К.В.</i>			<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Сабадаш Н.І.</i>					119	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Подобій О.В.</i>			НУХТ Каф. ТЖХТ			
<i>Затверд.</i>		<i>Носенко Т.Т.</i>						

URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-niacinamide-market> (дата звернення 12.05.2023).

11. Niacinamide Market by Type (Powder, Liquid, Others), by Application (Pharmaceutical, Cosmeceutical, Human Nutrition), by Distribution Channel (Hospital Pharmacies, Online Pharmacies, Drug stores and Retail Pharmacies): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2031. 2022. P.315. Market URL: <https://www.alliedmarketresearch.com/niacinamide-market-A17530> (дата звернення 12.05.2023).
12. Niacinamide Market - Global Industry Assessment & Forecast. 2022. P.144 URL: <https://www.vantagemarketresearch.com/industry-report/niacinamide-market-1867> (дата звернення 12.05.2023).
13. E375 Nicotinic Acid (Niacin, Vitamin B3, Vitamin PP). Healthy Food Near Me URL: <https://healthy-food-near-me.com/e375-nicotinic-acid-niacin-vitamin-b3-vitamin-pp/> (дата звернення 13.05.2023).
14. Ніацинамід у медицині і косметології: навіщо він потрібен і наскільки безпечний. ТСН.ua URL: <https://tsn.ua/lady/zdorovye/aktualnaya-tema/niacinamid-v-medicini-i-kosmetologiyi-navischo-vin-potriben-i-naskilki-bezpechniy-1877995.html> (дата звернення 13.05.2023).
15. E-375-Kyselina nikotinova (Vitamin B3, Niacin) URL: <https://www.akcniceny.cz/ecka-v-potravinach/e375-kyselina-nikotinova-vitamin-b3-niacin/> (дата звернення 13.05.2023).
16. Нікотинова кислота URL: <https://doctorthinking.org/2020/05/vitamin-b3/> (дата звернення 26.11.2022).
17. F. Alan Andersen. Final report of the safety assessment of niacinamide and niacin. International Journal of Toxicology. 2005. Vol. 24. N. 5. P.1-31.
18. Roderick Chuck. Technology Development in Nicotinate Production. Applied Catalysis A: General. 2005. P.75-82.
19. V. V. Krishna Mohan Kandepi, Nama Narendera. Synthesis of N-heterocyclic compounds over zeolite molecular sieve catalysts: an approach towards green chemistry. 2012. Vol.2. N.3. P.471-487.

					<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

20. Nicotinamide. National Library of Medicine

URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Nicotinamide#section=Antidote-%20and-Emergency-Treatment> (дата звернення 14.05.2023).

21. Jacob Eyal, Marvin Charles. Hydration of 3-cyanopyridine to nicotinamide by crude extract nitrile hydratase. Journal of Industrial Microbiology. 1990. N. 6. P.185-190.

22. Mahendra KumarShallendra Kumar SINGH Ashutosh Agarwal. Improved catalytic process for production of pyridine carboxylic acid amides. Patent. 2012

23. Marushka Soobben. Production of nitrile hydrolysing biocatalysts from rhodococcus rhodochrous. University of the Witwatersrand. 2020

24. Amit Pratush, Amit Seth, Tek Chand Bhalla. Optimization of Process Parameters for Conversion of 3-cyanopyridine to Nicotinamide using Resting Cells of Mutant 4D Strain of Rhodococcus rhodochrous PA-34. International Journal Bioautomation. 2011. Vol.15. N.3.

25. Joni Frederick. Genetic characterization of Rhodococcus rhodochrous ATCC BAA-870 with emphasis on nitrile hydrolysing enzymes. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the Department of Molecular and Cell Biology, University of Cape Town. 2013

26. Hanna Busch, Peter-Leon Hagedoorn and Ulf Hanefeld. Rhodococcus as a Versatile Biocatalyst in Organic Synthesis. 2019. Vol.20. N.19. P1-35.

27. Bains, Praveen, Clark, Ashley, Lowey, Amber, Soo, Jamie. A Green Process for Niacinamide Production. ScholarlyCommons. 2013. N. 4. P. 301.

28. Gabriele Centi and Siglinda Perathoner. From Green to Sustainable Industrial Chemistry. Wiley Online Library. 2009.

29. Eric F.V. Scriven Pyridines: From Lab to Production URL: [https://books.google.ru/books?hl=uk&lr=&id=ZU11C7XGSx0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=niacinamide+production+equipment&ots=oOjOoTX7Di&sig=GBldrth09rdYcF3L16ccjepJkos&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.ru/books?hl=uk&lr=&id=ZU11C7XGSx0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=niacinamide+production+equipment&ots=oOjOoTX7Di&sig=GBldrth09rdYcF3L16ccjepJkos&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) (дата звернення 14.05.2023).

					<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

30. 3-Цуанопіридин URL: <http://www.china-redpont.cn/en/index.php/make/pyridine> (дата звернення 14.05.2023).
31. Yiming Moa, Klavs F. Jensen A miniature CSTR cascade for continuous flow of reactions containing solids URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/re/c6re00132g> (дата звернення 14.05.2023)
32. Continuous Stirred Tank Reactors (CSTRs). Flow Technology for Chemical and Biological Syntheses  
URL: [https://www.mt.com/de/en/home/applications/L1\\_AutoChem\\_Applications/L2\\_ReactionAnalysis/continuous-stirred-tank-reactors-cstr.html](https://www.mt.com/de/en/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_ReactionAnalysis/continuous-stirred-tank-reactors-cstr.html) (дата звернення 16.05.2023).
33. Company Komline-Wyssmont Turbo-Dryer  
URL: [https://www.komline.com/products/turbo-dryer/#package-units%20http://www.wyssmont.com/product\\_detail.php?section=Dryers&id=7](https://www.komline.com/products/turbo-dryer/#package-units%20http://www.wyssmont.com/product_detail.php?section=Dryers&id=7)  
(дата звернення 16.05.2023)
34. Wyssmont Turbo Dryer, Model K10, 304 S/S. Federal equipment company  
URL: <https://fedequip.com/inventory/Tray-Rotary-Dryers/K10-WYSSMONT-TURBO-DRYER-304-S-S.html> (дата звернення 16.05.2023).
35. Andre P. Steynberg, Soumitra R. Deshmukh, Heinz J. Robota. Fischer- Tropsch catalyst deactivation in commercial microchannel reactor operation. Catalysis Today. 2017. Vol. 299. P. 10-13.
36. V.Vosoughi, A. K. Dalai, N. Abatzoglou, Y. Hu. Performances of promoted cobalt catalysts supported on mesoporous alumina for Fischer-Tropsch synthesis // Applied Catalysis A, General. 2017. Vol.547. P. 155-163.
37. Paphatsara Sirikulbodee, Tanakorn Ratana, Thana Sornchamni, Monrudee Phongaksorn, Sabaithip Tungkamani. Catalytic performance of Iron-based catalyst in Fischer–Tropsch synthesis using CO<sub>2</sub> containing syngas // Energy Procedia. 2017. Vol.138. P. 998-1003.
38. Sie, S.T. Fundamentals and selection of advanced Fischer-Tropsch reactors/ S.T. Sie R. Krishna // Applied Catalysis A: General. -1999. -Vol. 186, -P. 55–70.

					<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

39. Davis, B.H. Overview of reactors for liquid phase Fischer-Tropsch synthesis / B.H. Davis // Catalysis Today. -2002. –Vol. 71, -P. 249-300.
40. Davis, B.H. Fischer-Tropsch synthesis: Overview of reactor development and future potentialities / Davis B.H. // Topics in Catalysis. -2005. -Vol. 32, -No.3-4. -P. 143-168.
41. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу “Процеси та апарати хімічних виробництв” «Розрахунок кожухотрубного теплообмінника-підігрівача» для студентів III-ix курсів усіх спеціальностей. УДХТУ. Дніпропетровськ. 2008
42. Теплообмінники кожухотрубчасті ТНГ, ТКГ, ТНВ, ТКВ, Дніпро URL: <https://ua.bizorg.su/teploobmenniki-r/p6216604-teploobmenniki-kozhuhotrubchatye-tng-tkg-tnv-tkv> (дата звернення 16.05.2023).
43. Компанія ТОВ «Кріо інтер трейдінг» URL: <https://cryo-tm.com.ua/ru/ispariteli-i-podogrevateli-gazov/552-atmosfernye-ispariteli.html> (дата звернення 16.05.2023).
44. Атмосферні випарники середнього тиску. Підприємство Л-Кріос URL: <https://krios.com.ua/Ru/product/atmosfernye-ispariteli-srednego-davleniya/> (дата звернення 16.05.2023).
45. Fábio Mourato. Stoichiometric Reactors: Aspen Plus 2006 URL: [https://www.academia.edu/8271560/Stoichiometric\\_Reactors\\_Aspen\\_Plus\\_2006](https://www.academia.edu/8271560/Stoichiometric_Reactors_Aspen_Plus_2006) (дата звернення 17.05.2023).
46. Масообмеінні процеси. Адсорбція. Лекція. Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/masoobmeinni-procesy.-adsorbciya..pdf> (дата звернення 17.05.2023).
47. Насоси. Основні параметри насосів. Відцентрові і поршневі насоси. Порівняння і області застосування насосів різних типів. Типи і основні параметри компресорних машин. Порівняння і області застосування компресорних машин різних типів. Лекція:5. Кафедра хімії URL: <https://kc.pnu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/11/2021/02/Processes-and-apparatus-of-chemical-productionLecture5.pdf> (дата звернення 17.05.2023).
48. Мікульонок І. О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв [Текст] : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.]. – К. : НТУУ «КПІ», 2012

					<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		123

49. Конспект лекцій з курсу Загальна хімічна технологія. Кафедра спеціальної хімії та хімічної технології В.В.Дейнека. Харків. 2016
50. CSTR URL: <https://encyclopedia.che.engin.umich.edu/cstr/> (дата звернення 17.05.2023).
51. Череп О. Г., Момот І. Д. Собівартість промислової продукції. Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. 2018. № 1. с. 87-93.
52. Бойко Л.Г. Економіка та організація виробництва. Конспект лекцій для самостійного вивчення дисципліни „економіка та організація виробництва” (для студентів спеціальності 6.092202 „електричний транспорт”). Харків: ХНАМГ. 2008. 194 с.
53. Рентабельність підприємства  
URL: <https://online.novaposhta.education/blog/rentabelnist-pidpriemstva> (дата звернення 18.05.2023)
54. Якість товарів URL: <https://vitaminika.com.ua/content/yakist-tovariv> (дата звернення 18.05.2023)
55. Що таке gmp? URL: <https://www.ifdcsmms.com.ua/uk/news/5/shcho-take-gmp> (дата звернення 18.05.2023)
56. Pierre-Alain Ruffieux. Sustainability Report. Lonza Group. 2020
57. General Environmental, Health, and Safety Guidelines URL: [https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics\\_ext\\_content/ifc\\_external\\_corporate\\_site/sustainability-at-ifc/publications/publications\\_policy\\_ehs-general](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/publications/publications_policy_ehs-general) (дата звернення 20.05.2023)
58. Негативні фактори середовища життєдіяльності та їх вплив на здоров'я людини URL: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:sxog7dlycvsj:https://emergency.vnm.edu.ua/wp-content/uploads/2019/02/tema-3.1.-nehatyvni-factory-seredovishcha-zhyttiediialnosti-ta-ikh-vplyv-na-zdorovia-liudyny-.zaniattia-1.doc&cd=7&hl=uk&ct=clnk&gl=ua> (дата звернення 9.02.2023)

					<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124