

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

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

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

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

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

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ХТ-4-14

ЛЕБЕДСВА Валерія Олександрівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

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

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

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент Ольга ДІДЕНКО  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

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

Здобувач(ка)  \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічна технологія  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

“ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Лебедева Валерія Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології виробництва нітрату натрію

керівник роботи БОЙЧУК Тетяна Михайлівна, к.х.н., доцент

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

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

2. Строк подання здобувачем роботи 03.06.2025 р.

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

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

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

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

## 6. Консультанти розділів роботи

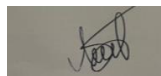
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Житнецький І.В., доцент, к.т.н.	20.05.2025	28.05.2025

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 01 травня 2025 р. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	05.05.2025	
2	РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	06.05.2025-11.05.2025	
3	РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12.05.2025-25.05.2025	
4	РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	26.05.2025-27.05.2025	
5	РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	28.05.2025-29.05.2025	
6	РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	30.05.2025-31.05.2025	
7	ВИСНОВКИ	01.06.2025-02.06.2025	
8	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	15.05.2025-25.05.2025	
9	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	12.05.2025-18.05.2025	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	19.05.2025-25.05.2025	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД АПАРАТУ	20.05.2025-28.05.2025	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	19.06.2025-23.06.2025	

Здобувач



(підпис)

Валерія ЛЕБЕДСВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Тетяна БОЙЧУК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Лебедева В.О.** Удосконалення технології отримання нітрату натрію.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА: 67 С., 14 РИС., 14 ТАБЛ., 3 ДОДАТКИ, 20 ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.

В даній кваліфікаційній роботі проведено літературний аналіз та узагальнено інформацію про удосконалення технології отримання нітрату натрію.

Розглянуто сутність понять «харчова добавка».

Описано основні та додаткові сировинні матеріали для виробництва нітрату натрію.

Проведено удосконалення технології виробництва нітрату натрію. Розроблено принципovu і апаратурно-технологічну схеми отримання. Проведено розрахунок матеріального балансу хіміко-технологічного процесу, а також надано техніко-економічне обґрунтування запропонованого способу виробництва.

Здійснено підбір основного технологічного обладнання відповідно до виробничої лінії. Наведено розрахунок основного апарату.

Запропоновано заходи з охорони праці та навколишнього середовища для даного підприємства.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** НІТРАТ НАТРІЮ, E251, УДОСКОНАЛЕННЯ, ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ ТЕХНОЛОГІЯ, ВИРОБНИЦТВО, ЧИЛІЙСЬКА СЕЛІТРА, КОНСЕРВАНТ

## ABSTRACT

**Lebedeva, V.O.** Improvement of the Technology for Producing Sodium Nitrate.

**EXPLANATORY NOTE:** 67 pages, 14 figures, 14 tables, 3 appendices, 20 references.

This qualification paper presents a literature review and summarizes information on the improvement of sodium nitrate production technology.

The essence of the concept "food additive" is examined.

The main and auxiliary raw materials for sodium nitrate production are described.

The technology for sodium nitrate production has been improved. Conceptual and apparatus-technological schemes for its production have been developed. A calculation of the material balance for the chemical-technological process has been performed, and a technical and economic justification for the proposed production method is provided.

The main technological equipment for the production line has been selected. The calculation of the main apparatus is presented.

Measures for labor protection and environmental safety for the given enterprise are proposed.

**KEYWORDS:** SODIUM NITRATE, E251, IMPROVEMENT, CARBON DIOXIDE, TECHNOLOGY, PRODUCTION, CHILE SALTPETER, PRESERVATIVE

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>7</b>
<b>РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Загальні відомості про нітрат натрію та вплив на організм людини .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Галузі використання нітрат натрію .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Стан сировинної бази .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Аналіз існуючих технологій виробництва.....</b>	<b>18</b>
<b>1.6 Удосконалення технології виробництва .....</b>	<b>20</b>
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Опис принципової технологічної схеми .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Розрахунок матеріального балансу.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Підбір основного технологічного обладнання .....</b>	<b>33</b>
<b>2.5 Опис апаратурно технологічної схеми .....</b>	<b>39</b>
<b>2.6 Розрахунок кристалізатора з водяним охолодженням.....</b>	<b>42</b>
<b>РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ .....</b>	<b>53</b>
<b>РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ....</b>	<b>56</b>
<b>РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1 Охорона праці.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2 Екологічна частина .....</b>	<b>60</b>
<b>ВИСНОВОК .....</b>	<b>64</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>65</b>

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Бойчук О.О	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
НУХТ	<i>Розробник документа</i> Лебедева В.О	<i>Назва, додаткова назва</i>  ЗМІСТ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.006.КР.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 20.02.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 6/67

## ВСТУП

На сьогоднішній день харчова промисловість України використовує понад 300, а Європи понад 450 дозволених харчових добавок з метою одержання нових продуктів або досягнення інших технологічних цілей.

Нітрати—це добре розчинні у воді солі азотної кислоти, які поряд з амонійним азотом є основними джерелами азотного живлення рослин. Проте їх надлишок призводить до важких екологічних наслідків, що впливають на стан здоров'я людини і тварин[1].

Нітрат натрію, як харчова добавка широко застосовується в харчовій промисловості. Основний механізм дії нітратів полягає у зв'язуванні з міоглобіном з утворенням нітрозоміоглобіну MbNO рожевочервоного забарвлення, що не змінюється у процесі переробки м'яса. Також ця речовина має антиоксидантні властивості, діє проти бактерій роду *Clostridium*, що утворюють ботулиновий токсин. Найчастіше його використовують при виготовленні ковбасних виробів, рибних консервів та сирів[2].

Нітрати мають здатність за певних умов в організмі відновлюватись до токсичних нітритів, тому вміст в продуктах повинен контролюватись згідно вимог.

Окрім харчової промисловості нітрат натрію використовується для виготовлення добрив, вибухових речовин, ракетного палива та деяких видів скла.

З короткого огляду на області застосування солей азотної кислоти, видно який вплив мають нітрати в наш час. Актуальним є не тільки використання, а й контроль вмісту та впливу на організми тварин та людей.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Лебедева В.О	Назва, додаткова назва  ВСТУП	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.007.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 20.02.2025	Мова ua	Аркуш 7/67

**Об'єкт дослідження:** технологія виробництва нітрат натрію

**Предмет дослідження:** нітрат натрію

**Мета роботи:** розробка удосконаленої технології виробництва нітрат натрію

**Завдання дослідження:**

- Зробити огляд та аналіз науково-технічної літератури з метою ознайомлення з фізико-хімічними властивостями нітрат натрію та сферами його застосування
- Ознайомитись та проаналізувати існуючі технології виробництва нітрат натрію
- Зробити характеристику сировини, що використовується при виробництві нітрат натрію
- Скласти принципово-технологічну та апаратурну схему виробництва.
- Прорахувати матеріальний та тепловий баланс.
- Зробити підбір основного обладнання згідно з лінії виробництва.
- Виконати креслення головного апарату
- Прорахувати економічні обрахунки та собівартість сировини
- Охаректизувати показники якості готового продукту
- Охаректизувати вплив виробничих відходів на екологію та способи їх утилізації

# РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Загальні відомості про нітрат натрію та вплив на організм людини

Натрій нітрат, відомий у харчовій промисловості як добавка E251, є неорганічною сполукою з хімічною формулою  $\text{NaNO}_3$ .

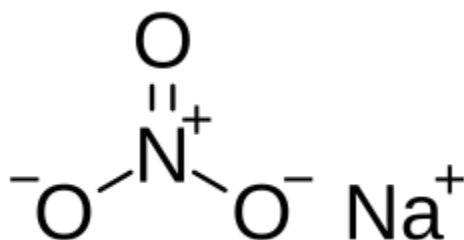


Рисунок 1.1—Структурна формула натрію нітрату

Ця речовина належить до класу нітратів і має широке застосування завдяки своїм консервуючим властивостям. Його молярна маса становить приблизно 84,99 г/моль, що визначає його як відносно легку сполуку серед солей. Зовні натрій нітрат виглядає як безбарвні або білі кристали, які мають гігроскопічну природу, тобто здатні вбирати вологу з повітря. Ця властивість робить його чутливим до умов зберігання, оскільки він може зволожуватися в умовах високої вологості.



Рисунок 1.2—Зовнішній вигляд натрію нітрату

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук О.О	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Лебедева В.О	Назва, додаткова назва  РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.009.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 20.02.2025	Мова ua	Аркуш 9/67

На смак натрій нітрат солоний, а запаху він не має, що робить його нейтральним для використання в харчових продуктах, де важливо уникнути впливу на аромат. Крихкий. Легко розчинний у воді. У природі ця сполука зустрічається у вигляді мінералу, відомого як нітратин або чилійська селітра, що видобувається в деяких регіонах, наприклад, у Південній Америці [3].

Синоніми нітрат нарлію — натронатрит, нітронатрит, нітер, нітратин, салнітер чилійська селітра.

Дослідження показали зв'язок між підвищеним рівнем нітратів і зростанням смертності від певних захворювань, зокрема хвороби Альцгеймера, цукрового

діабету, раку шлунка та хвороби Паркінсона. Це, ймовірно, пов'язано з ушкоджувальною дією нітрозамінів на ДНК. Проте в епідеміологічних дослідженнях мало уваги приділено контролю за іншими можливими чинниками. Нітрозаміни, які утворюються в м'ясних продуктах, що містять нітрат і нітрит натрію, пов'язують із розвитком раку шлунка та стравоходу. Також встановлено, що нітрат і нітрит натрію асоціюються з підвищеним ризиком розвитку колоректального раку [4].

Значна кількість доказів, отриманих за останні десятиліття завдяки глибшому розумінню патологічних процесів та досягненням науки, підтверджує теорію про те, що оброблене м'ясо підвищує ризик розвитку раку товстої кишки, і що це пов'язано з вмістом нітратів. Невелика частина нітрату, який додається до м'яса як консервант, перетворюється на нітрит, окрім того, нітрит може додаватися окремо. Нітрит реагує з білками (особливо в м'ясі), утворюючи канцерогенні NOC (нітрозосполуки). Ці сполуки можуть утворюватися як під час обробки м'яса, так і в організмі під час його травлення.

## 1.2 Фізико-хімічні властивості нітрат натрію

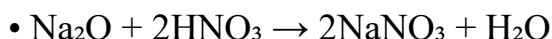
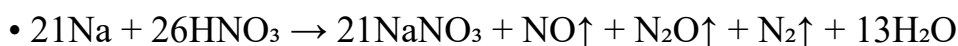
Фізико-хімічні характеристики натрій нітрату визначають його поведінку в різних умовах і сферах застосування. Температура плавлення становить близько 308 °С, що дозволяє речовині зберігати твердий стан за звичайних умов, але при нагріванні до вищих температур, зокрема вище 380 °С, натрій нітрат розкладається. Під час такого розкладання утворюється натрій нітрит ( $\text{NaNO}_2$ ) і виділяється молекулярний кисень ( $\text{O}_2$ ), що свідчить про його окислювальні властивості. Щільність кристалів становить приблизно 2,26 г/см<sup>3</sup> при температурі 20 °С, що є важливим параметром для промислових розрахунків, наприклад, при транспортуванні чи зберіганні. Однією з ключових характеристик є висока розчинність у воді: при 0 °С у 100 мл води розчиняється 73 г речовини, при 25 °С — 91,2 г, а при 100 °С розчинність зростає до 180 г. Така залежність розчинності від температури робить натрій нітрат зручним для використання в розчинах, зокрема в технологічних процесах.

У той же час він слабо розчинний у етанолі та практично нерозчинний у неполярних розчинниках, таких як бензол чи гексан, що обмежує його застосування в певних органічних системах.

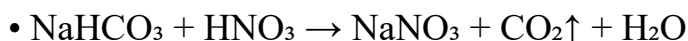
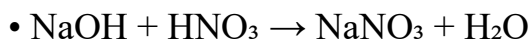
Розчин натрій нітрату у воді має нейтральну реакцію, з рН 7 незалежно від концентрації. Як сильний окисник, натрій нітрат активно реагує з відновниками, такими як органічні речовини чи метали, що може призводити до займання або навіть вибуху за певних умов, наприклад, при високій температурі чи наявності каталізаторів. Хімічно він стабільний за нормальних умов, але при контакті з сильними кислотами, такими як сірчана чи азотна, може утворювати нітратну кислоту або виділяти токсичні гази, зокрема оксиди азоту [3]. Ця реакційна здатність вимагає обережного поводження з речовиною в промислових і лабораторних умовах.

У лабораторії нітрат натрію можна отримати такими способами:

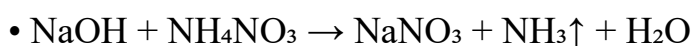
1. Взаємодією металевого натрію або його оксиду з азотною кислотою:



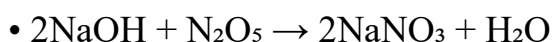
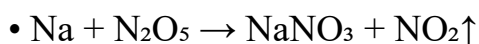
2. Взаємодією гідроксиду натрію або солей натрію, утворених слабкими леткими кислотами, з азотною кислотою:



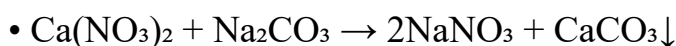
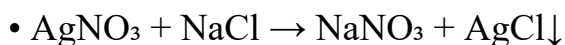
3. Замість азотної кислоти можна використати амоній нітрат:



4. Взаємодією натрію, оксиду натрію або гідроксиду натрію з оксидом азоту(V):



5. Реакціями обміну:

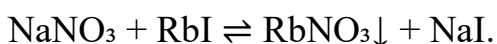
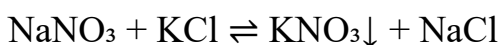


Натрій нітрат є сильним електролітом. У воді повністю дисоціює на іони натрію ( $\text{Na}^+$ ) та нітрат-іони ( $\text{NO}_3^-$ ).

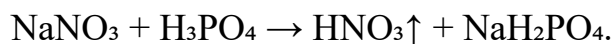
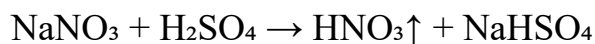
При нагріванні понад  $380^\circ\text{C}$  розкладається з утворенням кисню та натрій нітриту за реакцією:



Може вступати в реакції обміну з солями лужних металів. Завдяки меншій розчинності утворюваних нітратів (порівняно з нітратом натрію), рівновага в таких реакціях зміщується вправо:



Концентровані сильні нелеткі кислоти можуть витіснити азотну кислоту з нітрату натрію (реакція проходить повністю при нагріванні):



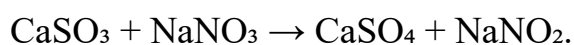
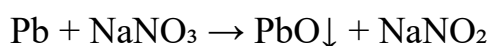
У твердому стані та в розплаві натрій нітрат виявляє сильні окислювальні властивості. Наприклад, його розплав активно реагує з вуглецем (у вигляді вугілля) та сіркою:



Ця реакція лежить в основі створення чорного пороху, хоча через високу гігроскопічність натрію нітрату такий порох має короткий строк зберігання. Окислювальні властивості натрію нітрату подібні до властивостей калій нітрату, тому він використовується у схожих сферах, зокрема в піротехніці.

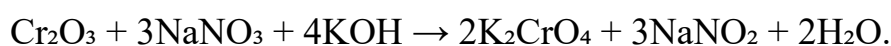
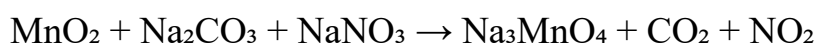
Також натрій нітрат активно реагує з багатьма вуглеводами, наприклад, сахарозою чи глюкозою, окислюючи їх переважно до вуглекислого газу. Суміш натрію нітрату та сахарози самостійно горить після підпалювання.

Окрім цього, натрій нітрат може бути відновлений металами (наприклад, свинцем) або сульфідом кальцію до натрій нітриту:

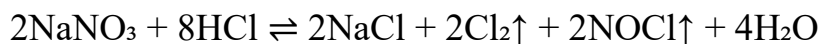
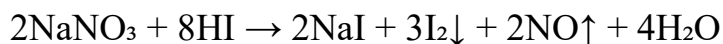


Побічні продукти реакції не розчиняються у воді, тому нітрит натрію легко відокремлюється фільтрацією і очищається перекристалізацією.

У лужному середовищі нітрат натрію може окислювати діоксид марганцю до манганату(V) натрію, а також багато металів — до вищих ступенів окиснення:



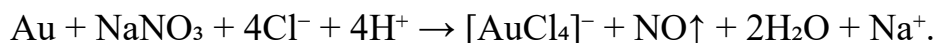
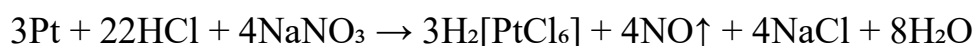
У водних розчинах, як у кислих, так і в лужних середовищах, виявляє окисні властивості. Зокрема, окислює концентровані HI, HBr і HCl до вільних галогенів:



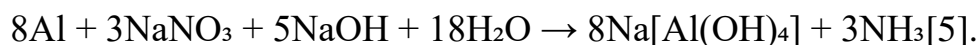
У розбавленій сірчаній кислоті розчиняє мідь завдяки окислювальним властивостям нітрат-іону:



Суміш натрій нітрату з іонами хлориду в сильнокислому середовищі (наприклад, у розчині хлоридної чи сірчаної кислоти) здатна розчиняти золото, платину та інші дорогоцінні метали, а також частково срібло, завдяки утворенню комплексів з хлоридом срібла:



У лужному середовищі натрій нітрат може окислювати алюміній і цинк:



### 1.3 Галузі використання нітрат натрію

$\text{NaNO}_3$  є універсальною хімічною сполукою, яка завдяки своїм унікальним фізичним і хімічним властивостям знаходить застосування в численних галузях, від харчового виробництва до промислових технологій.

У *харчовій промисловості* натрій нітрат відіграє ключову роль як консервант, що забезпечує тривале зберігання м'ясних і рибних продуктів. Його здатність пригнічувати ріст патогенних мікроорганізмів, зокрема *Clostridium botulinum*, який викликає ботулізм, робить цю сполуку незамінною для виробництва ковбас, шинки, бекону, копченої риби та консервованих м'ясних виробів. Окрім антимікробної дії, натрій нітрат сприяє формуванню привабливого рожевого відтінку м'ясопродуктів, що

досягається через хімічну взаємодію нітратів з міоглобіном, утворюючи нітрозоміоглобін[2].

Ця естетична функція підвищує ринкову привабливість продуктів, що особливо важливо для споживачів, які асоціюють колір із якістю. Однак використання натрію нітрату в харчовій промисловості суворо регулюється через потенційну здатність цієї сполуки утворювати нітрозаміни — канцерогенні речовини, що можуть виникати при нагріванні чи неправильній обробці продуктів. Для забезпечення безпеки встановлено чіткі норми, наприклад, допустима добова норма споживання, визначена Європейським агентством з безпеки харчових продуктів (EFSA), становить 3,7 мг на кілограм маси тіла [8].

Поза межами харчової промисловості натрій нітрат має широке застосування **в сільському господарстві**, де він використовується як компонент азотних добрив. Завдяки високому вмісту азоту, який є важливим елементом для росту рослин, ця сполука сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. Історично натрій нітрат, видобутий із природних родовищ, таких як чилійська селітра, був основним джерелом азоту для добрив до появи синтетичних альтернатив, таких як таких як аміачна селітра. Сьогодні його використання в цій галузі дещо зменшилося, але він залишається актуальним для певних типів ґрунтів і культур, особливо в регіонах із обмеженим доступом до сучасних добрив. Крім того, натрій нітрат застосовується у складі спеціалізованих сумішей для органічного землеробства, де перевага надається природним або менш обробленим хімічним сполукам [9].

У **хімічній промисловості** натрій нітрат є важливим реагентом і сировиною для синтезу інших сполук, зокрема нітратної кислоти, натрію нітриту та різноманітних нітратних солей. Його окислювальні властивості використовуються в процесах, що потребують сильних окисників, наприклад, у виробництві барвників, пігментів і фармацевтичних

препаратів. Крім того, натрій нітрат відіграє значну роль у виробництві вибухових речовин, таких як порох і динаміт. Хоча сучасні вибухові матеріали частіше базуються на інших нітратах, таких як амонію нітрат, натрій нітрат все ще використовується в певних спеціалізованих сумішах, зокрема для гірничодобувної промисловості, де потрібні стабільні й безпечні компоненти.

Ще однією важливою галуззю використання є **енергетика**, зокрема в технологіях зберігання теплової енергії. Натрій нітрат входить до складу сумішей розпавлених солей, які застосовуються в сонячних теплових електростанціях. Завдяки високій теплоємності та стабільності при підвищених температурах, ця сполука здатна накопичувати тепло вдень і віддавати його вночі, забезпечуючи безперервне виробництво електроенергії.

Такі системи є екологічно чистими й дедалі більше використовуються в країнах із високим рівнем сонячної активності, таких як Іспанія, США та Чилі.

У поєднанні з іншими солями, такими як калій нітрат, натрій нітрат створює ефективні теплоносії, які мають низьку корозійну активність і тривалий термін експлуатації.

У **скляній і керамічній** промисловості натрій нітрат застосовується як добавка для зниження температури плавлення сировини та покращення якості готових виробів. Його введення до складу скломаси сприяє усуненню бульбашок і підвищенню прозорості скла, що є важливим для виробництва оптичних лінз, декоративного скла та скляної тари. У кераміці натрій нітрат використовується для регулювання властивостей глазури, надаючи їй гладкості та стійкості дозовнішніх впливів.

Крім того, у **металургії** ця сполука застосовується як компонент флюсів для обробки металів, що полегшує видалення домішок і покращує якість металевих поверхонь.

Менш поширеним, але важливим є використання натрію нітрату в лабораторних дослідженнях і медицині. У лабораторіях він слугує стандартом для хімічних аналізів і джерелом нітрат-іонів у реакціях. У медичній сфері натрій нітрат іноді використовується в експериментальних дослідженнях для вивчення впливу нітратів на кровообіг, хоча пряме застосування в терапії обмежене через потенційну токсичність. Загалом, різноманітність застосувань натрію нітрату зумовлена його хімічною стабільністю, окислювальними властивостями та доступністю, що робить його незамінним у багатьох сферах сучасної

промисловості та науки. Водночас необхідність дотримання норм безпеки та екологічних стандартів залишається ключовим фактором для його використання в усіх галузях [10].

#### **1.4 Стан сировинної бази**

Сировинна база для виробництва натрію нітрату має багатогранну структуру, що поєднує природні джерела та синтетичні методи отримання, які забезпечують стабільне постачання цієї сполуки для промислових і харчових потреб. У природі натрій нітрат зустрічається у вигляді мінералу нітратину, також відомого як чилійська селітра, що історично був основним джерелом цієї речовини. Найбільші родовища нітратину розташовані в пустельних регіонах Південної Америки, зокрема в Чилі, Перу та Болівії, де геологічні умови сприяли накопиченню нітратних мінералів у ґрунтах. Також за часів СРСР нітрат натрію видобували в Криму. Ці родовища формувалися протягом мільйонів років завдяки унікальному поєднанню кліматичних факторів, таких як низька вологість і мінімальна кількість опадів, що запобігали вимиванню нітратів.

У XIX та на початку XX століття Чилі була світовим лідером у видобутку природного натрію нітрату, який використовувався не лише в харчовій промисловості, а й у виробництві добрив і вибухових речовин.

Однак із розвитком хімічної промисловості залежність від природних родовищ значно зменшилася, оскільки синтетичні методи виробництва стали економічно вигіднішими та менш залежними від географічних обмежень.

Сьогодні основним джерелом сировини для отримання натрію нітрату є промислові хімічні процеси. Отже, учасна сировинна база для натрію нітрату спирається на розвинену інфраструктуру хімічної промисловості, яка забезпечує стабільне постачання вихідних матеріалів, таких як природний газ, сіль і вода [6].

Глобальний ринок натрію нітрату демонструє стійкість завдяки диверсифікації джерел сировини. У країнах із розвинутою хімічною промисловістю, таких як США, Китай, Німеччина та Індія, виробництво натрію нітрату інтегровано у великі хімічні комплекси, що мінімізує логістичні витрати та забезпечує високу якість продукту. Водночас країни Латинської Америки, зокрема Чилі, зберігають певну частку у постачанні природного натрію нітрату, хоча його частка на ринку поступово зменшується через конкуренцію з синтетичними аналогами.

### **1.5 Аналіз існуючих технологій виробництва**

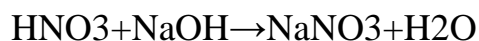
Виробництво натрію нітрату базується на поєднанні історичних і сучасних технологій, що відображають еволюцію хімічної промисловості та прагнення до підвищення ефективності, економічності та екологічної безпеки. Основними підходами до отримання цієї сполуки є видобуток природного мінералу нітратину та синтетичні методи, які домінують у сучасному промисловому виробництві. Кожен із цих методів має свої особливості, переваги та обмеження, що визначають їхню доцільність залежно від економічних, географічних і технологічних умов.

Сучасне виробництво натрію нітрату переважно базується **на синтетичних методах**, які забезпечують вищу чистоту продукту, стабільність постачання та економічну ефективність. Основною

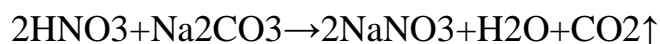
технологією є нейтралізація нітратної кислоти (HNO<sub>3</sub>) натрієвими сполуками, такими як гідроксид натрію (NaOH) або карбонат натрію (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).

Реакція нейтралізації є екзотермічною і проходить за наступними рівняннями:

у випадку гідроксиду натрію утворюється натрій нітрат і вода.



При використанні карбонату натрію додатково виділяється вуглекислий газ.



Цей процес проводиться в реакторах із нержавіючої сталі або інших корозійно стійких матеріалів, оскільки нітратна кислота є агресивним середовищем.

Після реакції розчин натрію нітрату концентрується шляхом випаровування, а кінцевий продукт отримують у вигляді кристалів через охолодження або вакуумну кристалізацію. Отримані кристали додатково сушать і, за необхідності, подрібнюють до потрібного розміру частинок, що відповідає вимогам конкретного застосування, наприклад, для харчової промисловості чи виробництва добрив.

Ключовим етапом синтетичного виробництва є отримання нітратної кислоти, яка синтезується за технологією Оствальда. Цей процес включає каталітичне окислення аміаку (NH<sub>3</sub>) киснем повітря за наявності платинового каталізатора при температурі 850–900 °C, що призводить до утворення оксидів азоту (NO та NO<sub>2</sub>). Ці гази поглинаються водою в абсорбційних колонах, формуючи нітратну кислоту. Аміак для цього процесу отримують із природного газу шляхом парового риформінгу, що включає реакцію метану з водяною парою за високих температур.

Ця технологія є високоефективною і дозволяє виробляти натрій нітрат у великих обсягах із контрольованим рівнем чистоти, що відповідає стандартам для використання як харчової добавки E251 [7].

Також можливе отримання нітрат натрію реакцією між нітратом амонію ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) та гідрогенкарбонатом натрію ( $\text{NaHCO}_3$ ). В результаті отримуємо нітрат натрію, аміак та вуглекислий газ. Синтез відбувається між твердими фазами за температури  $230^\circ\text{C}$ [15].



### 1.6 Удосконалення технології виробництва

Під час твердофазного синтезу в результаті реакції утворюється також вуглекислий газ, вода та аміак. Для того щоб зменшити викиди цих речовин в навколишнє середовище потрібно розділити цю суміш. Суміш цих парів відганяємо в теплообмінник, де охолоджуємо для конденсації води. Далі охолоджену газову суміш (аміак+вуглекислий газ) відправляємо на мембранне розділення. Маємо розділений вуглекислий газ та аміак. Для того, щоб не втрачати ці речовини маємо можливість їх продати.

Вуглекислий газ широко використовується, як екстрагент або інертне середовище при виробництві біологічно активних добавок.

Аміак може використовуватись при виробництві добрив для рослин.

Отже, використовуючи таке удосконалення, маємо можливість зменшити забруднення навколишнього середовища, отримати додаткові прибутки та збільшити рентабельність виробництва.

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика вихідної сировини

**$\text{NH}_4\text{NO}_3$  – аміачна селітра.** Є неорганічною сполукою Найчастіше використовується при виробництві мінеральних добрив [11]. При правильній очистці та за умов дотримання всіх стандартів може використовуватись при синтезі харчових добавок. Наприклад нітрат натрію.

Таблиця 2.1-характеристика аміачної селітри

Аміачна селітра	$\text{NH}_4\text{NO}_3$
Молярна маса	80г/моль
Густина	0.7г/см <sup>3</sup>

#### Фізико-хімічні властивості:

- Безбарвна речовина з солоноватим присмаком
- Розчиняється у воді з поглинанням тепла
- Розчиняється в аміаку спиртах та піридині.
- Отримується в результаті взаємодії азотної кислоти з аміаком[12].



**$\text{NaHCO}_3$  –гідрокарбонат натрію.** Кисла сіль вугільної кислоти та натрію. Найчастіше використовується у хімічній та харчовій промисловості, медицині[13].

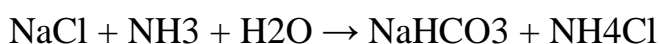
Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Лебедева В.О	Назва, додаткова назва  РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.021.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 20.02.2025	Мова ua	Аркуш 21/77

Таблиця 2.2- характеристика гідрокарбонату натрію

Гідрокарбонат натрію	$NaHCO_3$
Молярна маса	84г/моль
Густина	2,159 г/см <sup>3</sup>

#### Фізико-хімічні властивості:

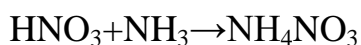
- Біла порошкоподібна маса, сформована дрібними кристалами, зі солонувато мильним смаком.
- Розчинна у воді
- Реагуючи з кислотами, ця сполука приводить до формування солей, зокрема хлористого або сірчаноокислого натрію, а також вугільної кислоти, яка розділяється на воду і вуглекислоту.
- Найпростіший спосіб отримання—насичення розчину хлориду натрію аміаком[14].



## 2.2 Опис принципової технологічної схеми

Принципова схема виробництва зображена на рисунку 2.1. Описана технологія складається з двох основних етапів.

*Перший етап*—це отримання аміачної селітри реакцією аміаку з азотною кислотою.



*Другий етап*—утворення нітрат натрію реакцією аміачної селітри з гідрокарбонатом натрію.



Даний синтез є лабораторним. Проаналізувавши літературу та механізм дії реакцій представлено спосіб введення у багатотонажне виробництво.

Принципово технологічна схема складається з таких етапів: нейтралізація, донейтралізація, випарювання, кристалізація, центрифугування,

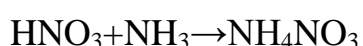
твердофазний синтез, охолодження та пакування. Додатковими етапами є охолодження суміші парів та їх мембранне розділення.

### *Технологія виробництва*

#### **1) Нейтралізація азотної кислоти аміаком**

Перший етап – нейтралізація – передбачає реакцію між нітратною кислотою ( $\text{HNO}_3$ ) і аміаком ( $\text{NH}_3$ ) для утворення нітрату амонію ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).

*Хімізм процесу:*



Реакція проходить за температури 120-160 °С.

На схемі вказано, що в блок «Нейтралізація»,  $\text{HNO}_3$  із концентрацією 56–60%, для забезпечення безпечних умов реакції та підтримання окислювального середовища. На виході з блоку отримується розчин  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  із концентрацією 89%.

#### **2) Донеітралізація**

Етап "Донеітралізація" передбачає додаткове введення аміаку для корекції рН розчину  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . На схемі вказано, що в цей блок надходить розчин  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  із попереднього етапу, а також додаткова кількість  $\text{NH}_3$ . Мета цього етапу – довести рН розчину до бажаного рівня, щоб усунути залишкову кислотність, яка могла залишитися через неповне реагування  $\text{HNO}_3$  на попередньому етапі. Температура становить 100–160 °С.

Результатом є розчин  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , який направляється на етап випаровування.

#### **3) Випаровування розчину для концентрування $\text{NH}_4\text{NO}_3$**

Етап "Випаровування" спрямований на концентрацію розчину  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  шляхом видалення надлишкової води. У цей блок надходить розчин  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  із блоку донеітралізації,

Умови процесу:

- тиск (Р) становить 1,4 МПа,

- температура (Т) – 180 °С.

Випаровування відбувається в комбіновано випарному апараті. Вода випаровується, а концентрація  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  зростає до 50-ти%, утворюючи  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  –розчин, готовий до кристалізації.

#### **4) Кристалізація $\text{NH}_4\text{NO}_3$**

Етап "Кристалізація" передбачає осадження кристалів  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  із концентрованого розчину. У цей блок надходить розчин  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  із стадії випаровування.

Температура початкова 180°C, знижується до 40°C, протягом 3 годин.

Процес відбувається в кристалізаторі, де розчин охолоджується, що призводить до пересичення і осадження кристалів  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Охолодження є примусовим, за допомогою холодної води.

#### **5) Центрифугування**

Після процесу кристалізації  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  подається на центрифугування. На цій стадії маточного розчин відділяється від кристалів при 1200 обертів за хвилину. Маточний розчин звідси повертається на стадію випарювання, а кристалічний продукт проходить на стадію твердофазного синтезу.

#### **6) Синтез твердих фаз: взаємодія $\text{NH}_4\text{NO}_3$ із $\text{NaHCO}_3$**

Даний етап є ключовим, відбувається основна реакція між  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  і чистим  $\text{NaHCO}_3$  для утворення  $\text{NaNO}_3$ . У цей блок надходять кристали  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  із кристалізації, а також чистий  $\text{NaHCO}_3$ . Умови процесу: температура (Т) становить 40–230 °С, а швидкість нагріву (W) – 1–15 °С/хв. Широкий діапазон температур і контрольована швидкість нагріву дозволяють оптимізувати реакцію та уникнути термічного розкладання реагентів.

Реакція між  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  і  $\text{NaHCO}_3$  проходить за рівнянням:



Кристали  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  змішуються з  $\text{NaHCO}_3$  у муфельній печі, де при поступовому нагріванні (1–15 °С/хв) утворюється  $\text{NaNO}_3$  у вигляді твердої

фази. Побічні продукти –  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{CO}_2$  – виділяються у газоподібному вигляді і відводяться з блоку на розділення.

### **7) Охолодження отриманого нітрату натрію**

Основна мета даного етапу полягає у зниженні температури продукту до  $20^\circ\text{C}$ , щоб забезпечити його стабільність, зменшити гігроскопічність і підготувати до фасування. Це також допомагає запобігти злежуванню продукту під час зберігання, що особливо важливо для використання  $\text{NaNO}_3$  як консерванту (E251) у харчовій промисловості.

На цей етап надходить  $\text{NaNO}_3$  у вигляді кристалів із температурою приблизно  $100\text{--}150^\circ\text{C}$  після синтезу. Загальна кількість  $\text{NaNO}_3$  становить 1000 кг за цикл, відповідно до продуктивності процесу.

Після охолодження  $\text{NaNO}_3$  із температурою  $20^\circ\text{C}$  направляється на фасування.

### **8) Фасування та пакування**

Останній етап передбачає пакування сухого  $\text{NaNO}_3$  для зберігання та транспортування. Продукт пакується в герметичні мішки, бочки або контейнери, що запобігають вбиранню вологи, оскільки  $\text{NaNO}_3$  є гігроскопічним. Для використання як харчової добавки E251 упаковка відповідає санітарним стандартам, виготовлена з матеріалів, безпечних для контакту з харчовими продуктами. Готовий хімікат направляється на склад для подальшого розподілу.

*Особливості для нітрат натрію:*

- Сировина ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ) має бути високої чистоти.
- Умови кристалізації, охолодження та фасування – стерильні.
- Упаковка відповідає стандартам для харчових добавок (Codex Alimentarius, EU Regulation 1333/2008).

### **9) Охолодження та мембранне розділення газової суміші**

Удосконалення полягає в тому, щоб відділити вуглекислий газ від води та аміаку.

- Під час охолодження вода та аміак конденсується. Потім даний розчин відправляємо на мембрану
- На мембранному апараті відділяємо вуглекислий газ та аміачну воду.

Таке удосконалення дає змогу зменшити викид стічних вод та вуглекислого газу в навколишнє середовище, а також отримати додатковий прибуток з продажу вуглекислого газу та аміачної води.

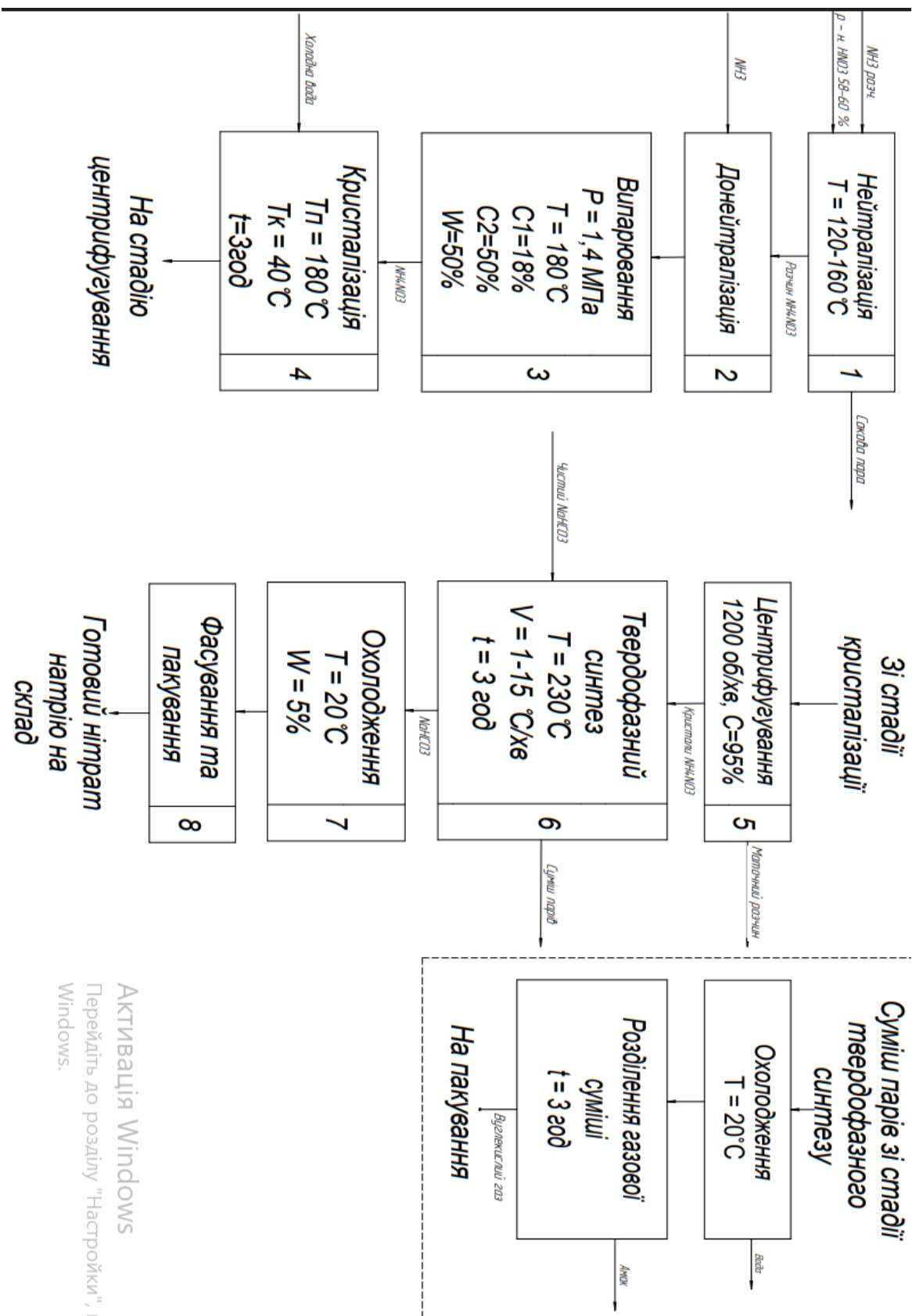


Рисунок 2.1—Принципово-технологічна схема виробництва нітрат натрію

## 2.3 Розрахунок матеріального балансу

Молекулярні маси всіх компонентів виробництва:

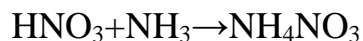
Молекулярні маси для розрахунків:

- $\text{NaHCO}_3$  – 84 г/моль,
- $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – 80 г/моль,
- $\text{NaNO}_3$  – 85 г/моль,
- $\text{NH}_3$  – 17 г/моль,
- $\text{CO}_2$  – 44 г/моль,
- $\text{H}_2\text{O}$  – 18 г/моль.

**Розрахунок ведемо на 9 стадій:** нейтралізація, донейтралізація, випарювання, кристалізація, центрифугування, твердофазний синтез, охолодження, фасування та удосконалення технології—мембранне розділення.

Матеріальний баланс розраховуємо на 1000 кг виробленого нітрату натрію.

### 1. Матеріальний баланс стадії нейтралізації



Розрахунок ведемо по стехіометричному рівнянню. На 1000кг  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Технологічні втрати 1%.

$$\text{NH}_3 = 1000 \times 17 / 80 = 212.5 \text{ кг}$$

$$\text{HNO}_3 = 1000 \times 63 / 80 = 787.5 \text{ кг}$$

Обрахунки приведені в таблиці 2.3

Таблиця 2.3. Матеріальний баланс стадії нейтралізації

Прихід		Витрата	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса,кг
Азотна к-та	785,5	Аміачна селітра	983
Вода (як розчинник)	300	Вода-	300
Аміак	212,5	Азотна к-та(залишок)	7
		Втрати:	10
<b>Разом:</b>	1300		1300

## 2. Матеріальний баланс стадії донейтралізації

Таблиця 2.4—Матеріальний баланс стадії донейтралізації

Прихід		Витрата	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса,кг
Нітратна к-та	983	Нітратна к-та	987
Вода	400	Вода-	400
Аміак	7		
Азотна к-та (залишок)	7		
		Втрати:	10
<b>Разом:</b>	1397		1397

## 3. Матеріальний баланс стадії випарювання

Таблиця 2.4—Матеріальний баланс стадії випарювання

Прихід		Витрата	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса,кг
Нітратна к-та	987	Нітратна к-та	977
Вода	400	Сокова пара	200
		Втрати:	10
<b>Разом:</b>	1387		1387

#### 4. Матеріальний баланс стадії кристалізації

Таблиця 2.5—Матеріальний баланс стадії кристалізації

Прихід		Витрата	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Пересичений розчин NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	977	Кристали NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	967
Волога	200	Сокова пара	200
		Втрати:	10
<b>Разом:</b>	<b>1177</b>		<b>1177</b>

#### 5. Матеріальний баланс стадії центрифугування

Таблиця 2.6—Матеріальний баланс стадії центрифугування

Прихід		Витрата	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Кристали NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	967	Кристали NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	950,6
Маточний розчин	200	Маточний розчин	106,4
		Залишкова волога	100
		Втрати:	10
<b>Разом:</b>	<b>1167</b>		<b>1167</b>

#### 6. Матеріальний баланс стадії твердофазного синтезу



Розрахунок кількості сировини по стехіометричному рівнянню необхідного для 1000кг готового продукту. Технологічні втрати на виробництві становлять 0,5%. Відповідно на етапі синтезу NaNO<sub>3</sub> закладаємо втрати 5кг.

$$\text{NaNO}_3 / \text{NH}_4\text{NO}_3 = 1010 \times 80 / 85 = 950.6 \text{ кг}$$

$$\text{NaHCO}_3 / \text{NaHCO}_3 = 1010 \times 84 / 85 = 998.1 \text{ кг}$$

Розраховуємо кількість:

$$\text{NH}_3 / \text{NH}_3 = 1010 \times 17 / 85 = 202 \text{ кг}$$

$$\text{CO}_2 / \text{CO}_2 = 1010 \times 44 / 85 = 522,8 \text{ кг}$$

$$\text{H}_2\text{O} / \text{H}_2\text{O} = 1010 \times 18 / 85 = 214 \text{ кг}$$

$$950,6 + 998,1 = 1010 + 202 + 522,8 + 214$$

$$1948,7 = 1948,7$$

Таблиця 2.6—Матеріальний баланс стадії твердофазного синтезу

Прихід		Витрата	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Кристали аміачної селітри В тому числі: $\text{NH}_4\text{NO}_3$	950,6	Нітрат натрію	1000
		Газова суміш в тому числі: $\text{NH}_3$ $\text{CO}_2$	202 522,8
Волога (30%)	100	$\text{H}_2\text{O}$ (пара)	314
Харчова сода	998,1		
		Втрати: враховуючи твердофазний синтез, охолодження та пакування 10кг	10
<b>Разом:</b>	2048,7	2048,7	

## 7. Матеріальний баланс стадії охолодження

Таблиця 2.7—Матеріальний баланс стадії охолодження

Прихід		Витрата	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Гарячий нітрат натрію	1005	Охолоджений нітрат натрію	1003
		Втрати:	2
<b>Разом:</b>	1005	1005	

## 8. Матеріальний баланс стадії фасування

Таблиця 2.8—Матеріальний баланс стадії охолодження

Прихід		Витрата	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Охолоджений нітрат натрію	1003	Розфасований нітрат натрію	1000
		Втрати:	3
<b>Разом:</b>	1003		1003

### Матеріальний баланс удосконаленої технології

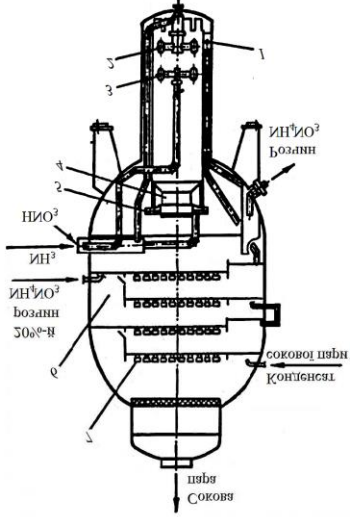

## 9. Матеріальний баланс стадії охолодження та мембранного очищення

Таблиця 2.9—Матеріальний баланс охолодження та мембранної очистки

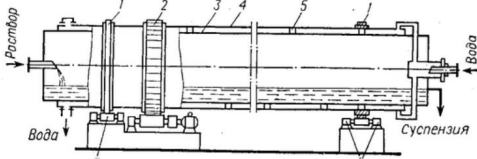
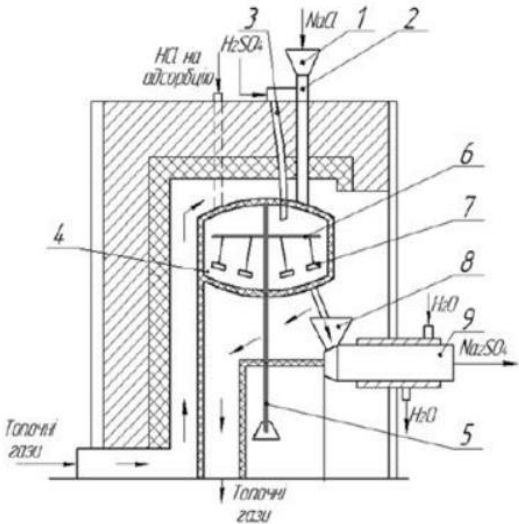
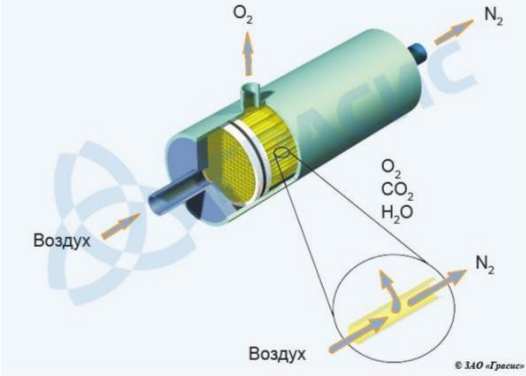
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Газова суміш в тому числі: NH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O (пара)	202	CO <sub>2</sub>	520
	522,8	Аміак	202
	314	Вода	311
		Втрати:	13
<b>Разом:</b>	2048,7		2048,7

## 2.4 Підбір основного технологічного обладнання

Підбір основного технологічного обладнання зображений в таблиці 2.10

1	2	3
<p>Нейтралізатор Апарат ВТН-72</p>	<p>Характеристика: <b>Об'єм:</b> 15м<sup>3</sup> <b>Робочий тиск:</b> Від 2 бар <b>Робоча температура:</b> Від 160 до 180 °С <b>Форма ємності:</b> Циліндрична <b>Матеріал:</b> Нержавіюча сталь <b>Робоче положення:</b> Вертикальне.</p>	
<p>Центрифуга Модель: 1/2 ФГП631К-01</p>	<p><b>Тип центрифуги:</b> Фільтруюча, горизонтальна, безперервної дії з пульсуючою (поршневою) вилучкою осаду. <b>Частота обертання:</b> 1200об\хв <b>Потужність приводу ротора:</b> 11 кВт <b>Продуктивність:</b> 200л\хв</p>	

Продовження таблиці 2.10

1	2	3
<p>Барабанний кристалізатор</p>	<p><b>Площа поверхні кристалізації:</b> 23,16м<sup>2</sup>  <b>Потужність:</b> 7,5кВт  <b>Тиск:</b> атмосферний  <b>Продуктивність:</b> 42кг\год</p>	 <p>Рис.2.7. Барабанний кристалізатор з водним охолодженням</p>
<p>Муфельна піч</p>	<p><b>Потужність від 5 кВт</b>  <b>Температура:</b> 230°С  <b>Час роботи:</b> 3 години</p>	
<p>Мембранний апарат для уловлення CO<sub>2</sub></p>	<p><b>Матеріал корпусу:</b> нержавіюча сталь  <b>Тип мембранного модуля:</b> поволоконний  <b>Матеріал мембранних волокон:</b> полімерні матеріали  <b>Температура:</b> 20°С</p>	

## Апарат ВТН-72

Апарат ВТН зображено на рисунку 2.2 улаштований таким чином, що теплота, яка виділяється в ході хімічної реакції нейтралізації нітратної кислоти аміаком, використовується для попереднього випарювання розчину амонійної селітри, що утворюється [16].

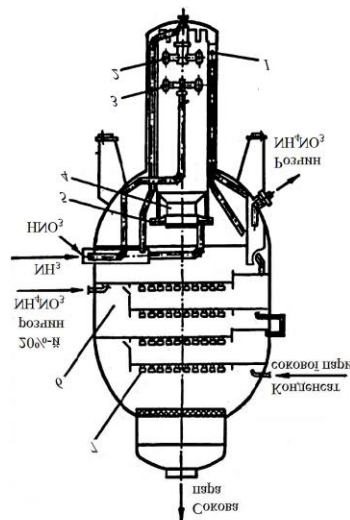


Рисунок 2.2—апарат ВТН

Апарат ВТН-72 складається з реакційної й сепараційної частин. У нижній, реакційній, частині розташований реакційний стакан 1 з отворами в нижній частині. У реакційному стакані знаходяться барботер аміаку 2 і барботер нітратної кислоти 3. Верхня частина реакційного стакану закінчується дифуззором 4. Вивід парорідинної суміші відбувається через завихрювач 5, занурений у розчин. Завдяки отворах у нижній частині реакційного стакану й підйомній силі, що створюється в реакційній частині в результаті пароутворення, здійснюється циркуляція розчину. Верхня частина апарату являє собою промивач 6 із ковпачковими тарілками 7. На нижніх тарілках сокова пара відмивається від аміаку в процесі барботування через шар нітратної кислоти й 20–25%-го розчину амонійної селітри. На верхніх тарілках сокова пара відмивається від  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  і парів  $\text{HNO}_3$  в процесі її контакту з конденсатом сокової пари. Апарат працює під надлишковим тиском 0,02 МПа за температури в реакційній частині близько 180 °С [16].

## Центрифуга 1/2 ФГП631К-01

Центрифуги – машини, у яких розділення неоднорідних систем відбувається в полі дії відцентрових сил. Основний робочий орган центрифуги – барабан, який обертається з великою швидкістю на вертикальному або горизонтальному валу. Під дією відцентрових сил частинки з більшою густиною осідають на стінках барабану [17].

Центрифуга 1/2 ФГП631К-01 зображена на рисунку 2.3 використовується для розділення концентрованих суспензій із середньокристалічною фазою, яка швидко втрачає плинність, при вмісті твердих часток близько 50%.



*Рисунок 2.3—Центрифуга*

Також підходить для обробки суспензій із середньоабразивною твердою фазою, що складається з кристалічних речовин: нітрат натрію, мідний купорос, сульфат міді, алюмінієвий галун, а також аморфних сполук та коротковолокнистих матеріалів. Серед основних особливостей цієї центрифуги можна виділити компактність, зручність в обслуговуванні, безперервність технологічного процесу, високий рівень фільтрації, можливість промивання осаду, високу продуктивність.

### **Барабанний кристалізатор з водяним охолодженням**

Барабанний кристалізатор із водяним охолодженням зображено на рисунку

2.4, є апаратом, у якому реалізується ефективний процес охолодження та кристалізації.

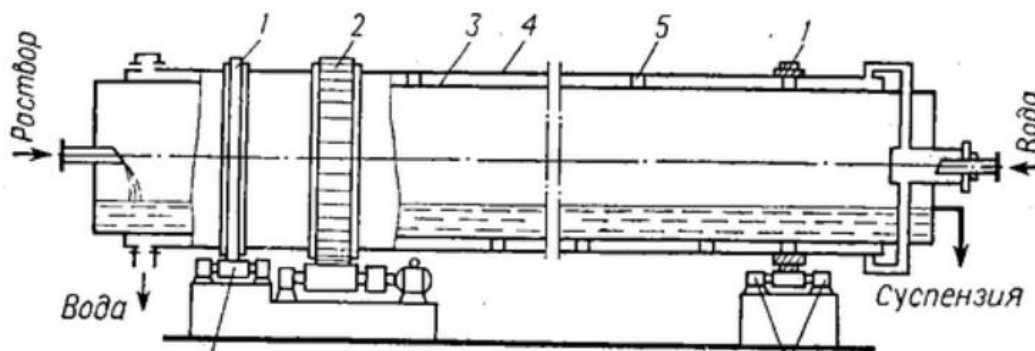


Рис.2.7. Барабанний кристалізатор з водяним охолодженням

Рисунок 2.4—Барабанний кристалізатор

Основним конструктивним елементом пристрою є обертовий барабан, оснащений водяною сорочкою для регуляції температурного режиму. Гарячий розчин вводиться у верхню частину барабана через спеціальний штуцер. За рахунок обертання барабана розчин постійно перемішується та поступово переміщується до протилежного розвантажувального кута. Для підвищення ефективності охолодження рідина подається протипотоком до напрямку руху розчину. Рівень продуктивності цього апарату визначається його розмірами та фізико-хімічними властивостями кристалізованої речовини. Кристалізатор широко використовується для поділу концентрованих суспензій зі середньокристалічною фазою, яка швидко втрачає плинність, і з вмістом твердої фази близько 50%. Окрім того, його застосовують для роботи з суспензіями, що містять середньоабразивну тверду фазу, зокрема кристалічні сполуки (наприклад, нітрат натрію, мідний купорос, сульфат міді, алюмінієві галуни), аморфні матеріали чи

коротковолокнисті речовини. До ключових особливостей цього типу кристалізатора належить компактність конструкції, простота експлуатації, можливість безперервного технологічного процесу, високий ступінь фільтрації, забезпечення промивання осаду та висока продуктивність.

### Муфельна піч

Муфельну піч зображено на рисунку 2.5.

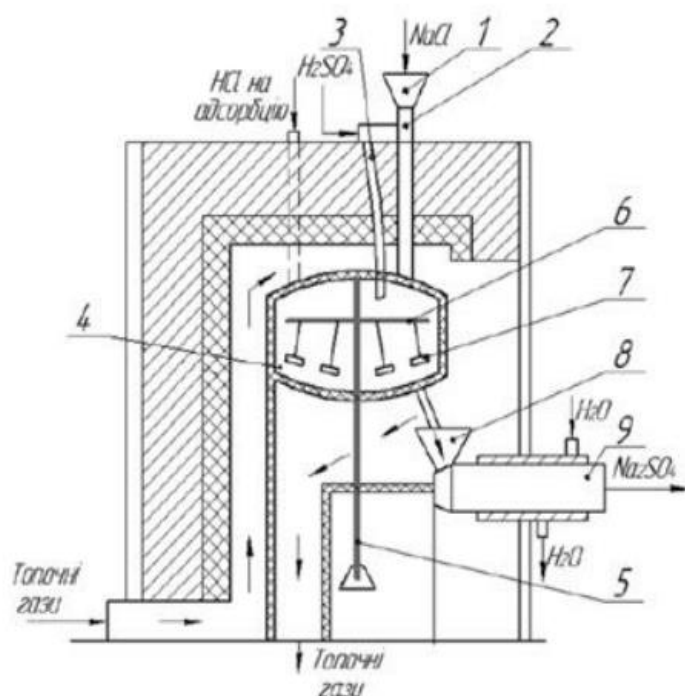


Рисунок 2.5—Муфельна піч

Це тип високотемпературної печі, де об'єкт нагріву ізолюваний від прямого контакту з продуктами згоряння палива або нагрівальними елементами. Ця ізоляція відбувається завдяки спеціальній внутрішній камері, яка називається муфель. Муфельні печі є незамінним інструментом там, де потрібне рівномірне високотемпературне нагрівання в умовах, що виключають забруднення оброблюваного матеріалу. Найбільш поширені висота 5,2 м.

### Мембранний апарат

Принцип дії мембранного апарату зображено на рисунку 2.6.

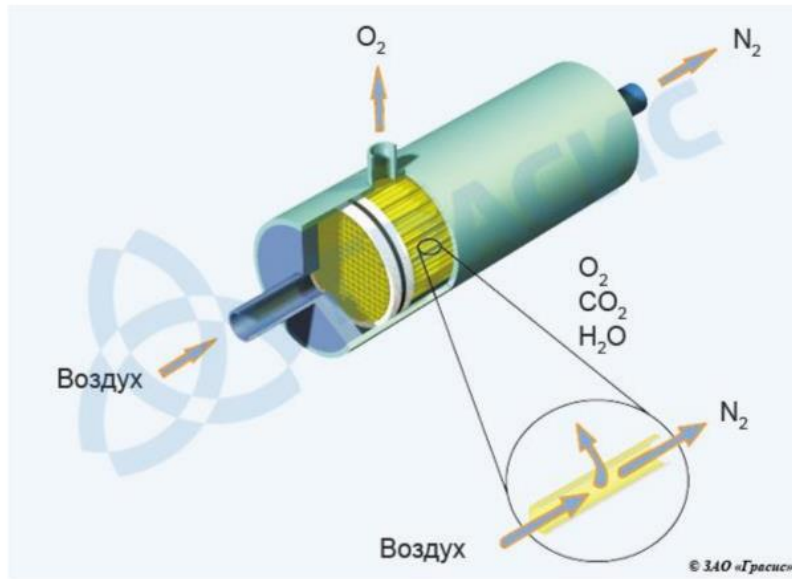


Рисунок 2.6. Мембранний апарат

Газова суміш подається під тиском на мембранний модуль. Мембрана має вибіркову проникність, дозволяючи вуглекислому газу прходити через неї. Газоподібний аміак затримується в мембрані і виходить через інший відсік. Щоб розділити газів застосовується сучасна поволоконной мембрана, що складається з пористого полімерного волокна з нанесеним на його зовнішню поверхню газороздільних шаром.

## 2.5 Опис апаратурно технологічної схеми

Процес починається з подачі сировини азотної кислоти  $\text{HNO}_3$  і аміаку  $\text{NH}_3$ , які надходять в апарат ВТН(1). У нижній частині апарату відбувається реакція нейтралізації за температури  $120\text{-}160^\circ\text{C}$ , одержуємо розчин  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , який подаємо у донейтралізатор(3) де аміаком коригуємо рН розчину. Після цього розчин  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  подаємо у випарний апарат (5) на випарювання, яке здійснюється в трубках, що обігриваються водяною парою. Далі розчин доупарюється в нижній частині випарного апарату на барботажних тарілках за допомогою нагрітого повітря. Одержаний розчин  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  з концентрацією 50% подаємо на кристалізатор (7). Одержані кристали  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  подаються на центрифугу (9), де відбувається виділення маточного розчину, який відправляємо на очистку та  $\text{NH}_4\text{NH}_3$ . Шнековим

транспортером(10) подаємо  $\text{NH}_4\text{NH}_3$  в муфельну піч(11). Сюди ж подаємо чистий  $\text{NaHCO}_3$ . Відбувається реакція з утворенням нітрат натрію та суміші парів. Утворений нітрат натрію шнековим транспортером (12) подаємо у ємність для охолодження(13). Після цього охолоджений продукт іде на фасування.

### **Удосконалення технології**

В муфельній печі окрім натрію нітрату утворилась суміш парів( аміак, вода та вуглекислий газ). Цю суміш подаємо на охолодження в теплообміннику (14) для конденсації та відокремлення води. Для охолодження використовуємо холодне повітря. Відокремлені гази аміаку та вуглекислого газу подаємо на мембранний апарат(15) для розділення. Отримуємо відокремлений газ аміаку та вуглекислий, які відправляємо на пакування. На рисунку 2.7 зображено апаратурно-технологічну схему виробництва



## 2.6 Розрахунок кристалізатора з водяним охолодженням

### Вихідні данні:

Розрахувати барабанний кристалізатор безперервної дії з водяним охолодженням продуктивністю 1000 кг/добу  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Початкова температура насиченого розчину  $180^\circ\text{C}$ , кінцева  $40^\circ\text{C}$ . Температура розсолу, що подається на охолодження -  $2^\circ\text{C}$ .

### Матеріальний баланс процесу кристалізації по матеріальним потокам:

$$G_1 = G_2 + G_{\text{кр}}$$

де  $G_1$  – витрати розчину, що поступає на кристалізацію, кг/с;  $G_2$  – витрати маточного розчину, кг/с;  $G_{\text{кр}}$  – витрати утворених кристалів, кг/с.

Матеріальний баланс по розчиненій речовині:

$$G_1 a_1 = G_2 a_2 + G_{\text{кр}} a_{\text{кр}}$$

де  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_{\text{кр}}$  – масові частки безводної речовини у розчині, що подається на кристалізацію, маточному розчині та кристалах відповідно.

$$A_{\text{кр}} = M_{\text{бзв}} / M_{\text{кр}}$$

де  $M_{\text{бзв}}$ ,  $M_{\text{кр}}$  – молекулярні маси безводної солі та кристалогідрату.

$$M_{\text{кр}}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80,04 \text{ г/моль} = 0,08004 \text{ кг/моль};$$

$$M_{\text{бзв}}(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 80,04 \text{ г/моль} = 0,08004 \text{ кг/моль}.$$

$$a_{\text{кр}} = 0,08004 / 0,08004 = 1;$$

$$G_{\text{кр}} = 1000 \text{ кг/добу} = 1000 / (3600 \times 24) = 0,0115 \text{ кг/с};$$

$$G_1 = G_{\text{кр}} \frac{a_{\text{кр}} - a_2}{a_1 - a_2}, \text{ кг/с}$$

$$a_1 (t = 180^\circ\text{C}) = 0,93 \text{ (розчинність при } 180^\circ\text{C} \text{ дуже висока)}$$

$$a_2 (t = 40^\circ\text{C}) = 0,71 \text{ (розчинність при } 40^\circ\text{C)}$$

$$G_1 = 0,0115 * (1 - 0,71) / (0,93 - 0,71) = 0,0152 \text{ кг/с};$$

$$G_2 = G_1 - G_{\text{кр}} = 0,0152 - 0,0115 = 0,0037 \text{ кг/с};$$

Перевіряємо матеріальний баланс по розчиненій речовині по рівнянню

$$G_1 a_1 = G_2 a_2 + G_{\text{кр}} a_{\text{кр}}$$

$$0,0152 \times 0,93 = 0,0037 \times 0,71 + 0,0115 \times 1;$$

0,01414 кг/с = 0,01414 кг/с.

### Тепловий баланс кристалізатора

Таблиця 2.10—Тепловий баланс кристалізатора

Прихід теплоти, Вт	Витрати теплоти, Вт
1	2
З вихідним розчином $G_1 c_1 t'_н$	З маточним розчином $G_2 c_2 t_{1к}$
З повітрям $W C_{жт2н}$	З кристалами $G_{кр} c_{кр} t_{1к}$
Теплота кристалізації $G_{кр} q_{кр}$	З охолоджуючою рідиною $W C_{жт2к}$
	Втрати тепла в оточуючу середу $Q_n$

$c_1, c_2, c_{кр}$  – питомі теплоємності вихідного розчину, маточного розчину та кристалів відповідно, Дж/ (кг × К);

$t_{рк}, t_{рн}$  - початкова та кінцева температури розчину, °С;

$q_{рн}$  – питома теплота кристалізації, Дж/кг.

Теплоємність розчиненої речовини розраховуємо за формулою:

$$C_{р.б} = \frac{n_1 c_1 + n_2 c_2 + n_3 c_3 + \dots}{M}, \text{ Дж}/(\text{кг} \times \text{К});$$

де  $M$  – молекулярна маса сполуки,  $n_1, n_2, n_3$  – кількість атомів елементів, що входять до складу сполуки;  $c_1, c_2, c_3$  – атомні теплоємності, Дж/ (кг атом  
Для  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ :

N: 2 атоми × 879 = 1758 Дж/(кг атом×К);

H: 4 атоми × 1676 = 6704 Дж/(кг атом×К);

O: 3 атоми × 1040 = 3120 Дж/(кг атом×К)

Теплоємність вихідного розчину:

$c_1 = (1 - a_1) 4190 + C_{р.б} \times a_1$ , Дж/(кг × К);

Теплоємність маточного розчину:

$$c_2 = (1 - a_2) 4190 + C_{p.b} \times a_2, \text{ Дж}/(\text{кг} \times \text{К});$$

$$C_{p.v} = (1758+6704+3120)/0,08004 = 144180 \text{ Дж}/(\text{кг} \times \text{К});$$

Теплоємність вихідного розчину:

$$c_1 = (1-0,93) \times 4190 + 144180 \times 0,93 = 293,3 + 134087,4 = 134380,7 \text{ Дж}/(\text{кг} \times \text{К});$$

Теплоємність маточного розчину:

$$c_2 = (1-0,71) \times 4190 + 144180 \times 0,71 = 1215,1 + 102367,8 = 103582,9 \text{ Дж}/(\text{кг} \times \text{К});$$

Теплоємність кристалів:

$$C_{кр} = C_{p.v} = 144180 \text{ Дж}/(\text{кг} \times \text{К});$$

$t_{1н}$ ,  $t_{1к}$  - початкова та кінцева температури розчину, °С;  $W$  – витрати охолоджуючої рідини, кг/с;  $C_{ж}$  – питома теплоємність охолоджуючої рідини, Дж/ (кг × К);  $t_{2н}$ ,  $t_{2к}$  – початкова та кінцева температури охолоджуючої рідини, °С.

У якості охолоджуючої рідини використовують воду. Оскільки кінцева температура охолоджуючої рідини повинна бути не менш ніж на 10°С менша за температуру вхідного розчину для забезпечення прийнятної різниці температурного напору, приймаємо  $t_{2к} = 25^\circ\text{С}$ .

Питома теплота кристалізації  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ :  $q_{кр} = 270 \text{ кДж}/\text{кг} = 270000 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

У загальному вигляді тепловий баланс кристалізатору має такий вигляд:

$$G_1 c_1 t_{1н} + W c_{ж} t_{2н} + G_{кр} q_{кр} = G_2 c_2 t_{1к} + G_{кр} c_{кр} t_{1к} + W c_{ж} t_{2к}$$

З цього рівняння визначаємо витрати охолоджуючої рідини:

$$W = \frac{G_1 c_1 t_{1н} + G_{кр} (q_{кр} - c_{кр} t_{1к}) - G_2 c_2 t_{1к}}{1,01 c_{ж} (t_{2к} - t_{2н})}$$

$$W = \frac{0,0152 \times 134380,7 \times 180 + 0,0115 (270000 - 144180 \times 1) - 0,0037 \times 103582,9 \times 1}{1,01 \times 4190 (25 - (-2))}$$

$$W = 0,32 \text{ кг}/\text{с}$$

Втратами тепла в оточуюче середовище  $Q_n$  можна знехтувати.

Перевіримо тепловий баланс.

Таблиця 2.11—Тепловий баланс кристалізатора

1	2
<b>Прихід теплоти, Вт</b>	<b>Витрати теплоти, Вт</b>
З вихідним розчином 368179,04	З маточним розчином 15334,09
З повітрям 96576	З кристалами 66323,2
Теплота кристалізації 3105	З охолоджуючою рідиною 386203,2
467860,04	467860,49

Розходження становить менше 0,1%.

Розрахунок поверхні теплообміну кристалізатора.

Визначення діаметра та довжини кристалізатора

Поверхня теплообміну кристалізатора визначається з рівняння теплопередачі:

$$Q = kF\Delta t_{cp}, \text{ Вт}$$

Звідки:

$$F = \frac{Q}{k\Delta t_{cp}}$$

де F – поверхня теплообміну, м<sup>2</sup> ; Q – тепловий потік, що проходить крізь поверхню, Вт.

Тепловий потік визначається з рівняння теплового балансу, що складений без врахування тепловтрат, оскільки тепловий потік останніх направлений від охолоджуючої рідини крізь стінку сорочки у навколишнє середовище, а ми розглядаємо тепловий потік від розчину до охолоджуючої рідини крізь стінку барабану.

$$G_1c_1t_{1н} + W_{сж}t_{2н} + G_{кр}q_{кр} = G_2c_2t_{1к} + G_{кр}c_{кр}t_{1к} + W_{сж}t_{2к}$$

$$\text{звідси: } Q = G_1c_1t_{1н} - G_2c_2t_{1к} + G_{кр}(q_{кр} - c_{кр}t_{1к}) .$$

Якщо тепловтратами знехтувати (Q = 0),

$$\text{то: } Q = W_{сж}(t_{2к} - t_{2н})$$

$$Q = 0,32 \times 4190(25 - 6) = 25\,475,2 \text{ Вт;}$$

$\Delta t_{cp}$ - середня різниця температур теплоносіїв, °С, розраховується по

формулі:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{2,3 \lg \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}}$$

де  $\Delta t_n$  – різниця температур теплоносіїв на вході з кристалізатора,  $\Delta t_k$  – різниця температур теплоносіїв на виході з кристалізатору.

$$\Delta t = \frac{(1 - (-2)) - (180 - 25)}{2,3 \lg 0,019} = \frac{-152}{2,3 \times (-1,722)} = \frac{-152}{-3,96} = 38,39^\circ\text{C}$$

Коефіцієнт теплопередачі від розчину до охолоджуючої рідини крізь стінку барабана:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ Вт/ (м}^2 \times \text{К)}$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі від розчину до стінки, Вт/ (м<sup>2</sup> × К);  $\sum \delta / \lambda$  – сума термічних спротивів стінки барабану з врахуванням її забруднення кристалами, продуктами корозії, (м<sup>2</sup> × К)/Вт; де  $\alpha_2$  - коефіцієнт тепловіддачі від стінки барабана до охолоджуючої рідини, Вт/ (м<sup>2</sup> × К)

У орієнтовних розрахунках значення коефіцієнта теплопередачі  $K$  для барабанних кристалізаторів з водяним охолодженням його значення приймають в межах 90 – 115 Вт/ (м<sup>2</sup> × К) чи 75 – 100 ккал/ (м<sup>2</sup> × ч × град). Коефіцієнти теплопередачі можуть бути розраховані по критеріальним рівнянням для випадку обертання труби у нерухомій рідині навколо власної осі. В даному випадку рівняння матиме такий вигляд :

$$Nu = c Pr^{0,35} Re^m \left( \frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} \varepsilon \varphi$$

В даному рівнянні за визначну температуру прийнято середнє значення теплоносія, за визначний розмір – діаметр барабану.

$Nu = \alpha D / \lambda$  – критерій Нуссельта

$D$  – діаметр труби, м;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності теплоносія, Вт/ (м × К).

$Re = WD\rho/\mu$  – критерій Рейнольдса.

де  $W$  – відносна швидкість руху рідини, м/с

Поступова швидкість розчину рахується з рівняння витрат:

$$W_{\Pi 1} = \frac{G_1}{\rho_1 F_1}, \text{ м/с}$$

$G_1$  – витрати розчину, кг/с; щільність розчину, кг/м<sup>3</sup> ; частина поперечного перетину кристалізатора, що зайнята розчином м<sup>2</sup> .

$$F_1 = \frac{h_1}{15} (6S_1 + 8b_1), \text{ м}^2$$

$$h_1 = (0,25 \div 0,20)D_6, \text{ м}$$

Приймаємо значення  $D_6 = 700$  мм,  $D_p = 800$  мм.  $D_6$  – внутрішній діаметр барабану,  $D_p$  - зовнішній діаметр барабану, м.

$D_{6н} = 784$  мм – зовнішній діаметр барабану;

$D_p = 710$  мм – внутрішній діаметр парової сорочки.

$$h_1 = 0,2 \times 0,7 = 0,14$$

$$S_1 = 2\sqrt{r^2 - (r - h_1)^2} = 2\sqrt{0,35^2 - (0,35 - 0,14)^2} = 0,56 \text{ м};$$

$$b_1 = \sqrt{h^2 + \left(\frac{S_1}{2}\right)^2} = \sqrt{0,14^2 + 0,28^2} = 0,31 \text{ м}$$

$$F_1 = \frac{0,14}{15} (6 \times 0,56 + 8 \times 0,31) = 0,054 \text{ м}^2$$

$$W = 0,0002/1393 \times 0,054 = 0,0152 \text{ м/с.}$$

Поступова швидкість руху охолоджуючої рідини визначається з рівняння її витрат:

$$W_{\Pi 2} = \frac{W}{\rho_2 \times F_2}$$

$\rho_2$ -щільність охолоджуючої рідини, кг/м<sup>3</sup> ;  $F_2$ - частина поперечного перерізу сорочки, що занята охолоджуючою рідиною, м<sup>2</sup> .

$$F_2 = 0,785(D_{pв}^2 - D_{6н}^2) - \frac{h_2}{15} (6S_2 + 8b_2)$$

$$h_2 = 0,5(D_{pв} - D_{6н})$$

$$h_2 = 0,5(0,784 - 0,710) = 0,037 \text{ м}$$

$$S_2 = 2 \sqrt{\left(\frac{D_{PB}}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_{PB}}{2} - h_2\right)^2} = 2 \sqrt{0.392^2 - (0.392 - 0.0337)^2} = 0.33 \text{ м}$$

$$b_2 = 2 \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{S_2}{2}\right)^2} = \sqrt{0.037^2 + \left(\frac{0.33}{2}\right)^2} = 0.17 \text{ м}$$

$$F_2 = 0.785(0.784^2 - 0.710^2) - 0.037/15(6 \times 0.33 + 8 \times 0.17) = 0.08 \text{ м}^2$$

$$W_{п2} = 0.32/992 \times 0.08 = 0.004 \text{ м/с}$$

Швидкість обертального руху для розчину:

$$W_{вр1} = \frac{\pi D_{б} n}{60}, \text{ м/с};$$

n – кількість обертів барабану за хвилину, обраховується

$$n = \frac{4 \div 8}{\sqrt{Dб}} = \frac{4 \div 8}{\sqrt{0.7}} = 4.8 \div 9.56 \text{ хв/об}$$

Приймаємо n = 9 об/хв.

$$W_{вр1} = \frac{\pi \times 0.7 \times 9}{60} = 0.33 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Швидкість обертального руху для охолоджуючої рідини:

$$W_{вр2} = \frac{\pi \times 0.710 \times 9}{60} = 0.33 \text{ м/с}$$

Відносна швидкість розчину:

$$W_1 = \sqrt{0.33^2 + 0.0002} = 0.33 \text{ м/с}$$

Відносна швидкість охолоджуючої рідини:

$$W_2 = \sqrt{0.33^2 + 0.004} = 0.34 \text{ м/с}$$

Критерій Рейнольдса для розчину:

$$Re_1 = \frac{W_1 D_{б} \rho_1}{\mu_1} = \frac{0.33 \times 0.7 \times 1393}{0.92 \times 10^{-3}} = 349764$$

$\mu_1$  – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па × с.

Критерій Рейнольдса для охолоджуючої рідини:

$$Re = \frac{W_2 D_{е} \rho_2}{\mu_2}$$

$D_{е}$  - еквівалентний діаметр для охолоджуючої рідини.

$$D = 4F_2/\Pi$$

$$\Pi = S_3 + \pi D_{б} + S_2;$$

$$S = \pi D_{p6} - \pi D_{б\alpha} / 2 \times 180$$

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{S_2}{D_{p6}} = \frac{0,33}{0,784} = 0,42$$

$$\alpha = 50^\circ;$$

$$\Pi = 3,14 \times 0,784 - \frac{3,14 \times 0,784 \times 50}{2 \times 180} + 3,14 \times 0,7 + 0,33 = 4,65 \text{ м}$$

$$D_e = 4 \times 0,08 / 4,65 = 0,069 \text{ м}$$

$$Re = \frac{0,34 \times 0,069 \times 992}{0,66 \times 10^{-3}} = 32772$$

Виходячи з вирахованих значень критеріїв Рейнольдса, розраховуємо критерії Нуссельта для розчину та охолоджуючої рідини. Значення коефіцієнтів  $s$  та  $m$  знаходимо в таблиці залежно від значення критерія Рейнольдса.

$Pr = c\mu / \lambda$  – критерій Прандтля, вирахований при визначній температурі.

Для розчину за  $Pr_1 = 4,8$ ; для охолоджуючого розсолу при  $Pr_2 = 3,9$ .

При розрахунку температури стінок барабану зі сторони розчину та охолоджуючого розсолу невідомі. Тому задаються значеннями  $\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$  та визначають температури стінок зі сторони розчину  $t_{ст1}$  та охолоджуючої рідини  $t_{ст2}$  за формулою  $t_{ст} = t \pm \Delta t$ , де  $t$  – середня температура теплоносія, °С. Визначаємо значення коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі без врахування температури стінки:

$$Nu_1' = Re_1^{0,8} Pr_1^{0,35} = 0,026 \times 349764^{0,8} \times 4,8^{0,35} = 1133,35;$$

$$Nu_2' = Re_2^{0,6} Pr_2^{0,35} = 0,22 \times 32772^{0,8} \times 3,9^{0,35} = 1064,9$$

$$\alpha_1' = \frac{Nu_1' \lambda_1}{D_6} = \frac{1133,35 \times 0,512}{0,7} = 828,96 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$$

$$\alpha_2' = \frac{Nu_2' \lambda_2}{D_e} = \frac{1064,9 \times 0,67}{0,069} = 1034,03 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}};$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{828,96} + 12,8 \times 10^{-4} + \frac{1}{1034,03}} = 289 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$$

$$\sum \lambda = \frac{\sigma_{ст}}{\lambda_{ст}} + \zeta_{загр1} + \zeta_{загр2} = (5 \times 10^{-3}) / 17,5 + 5 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-4} =$$

$$12,86 \times 10^{-4} \text{ К/Вт};$$

Розраховуємо значення  $\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$ :

$$\Delta t_1 = \frac{K \cdot \Delta t_{cp}}{\alpha_1} = \frac{289 \times 38,39}{828,96} = 13,73^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_2 = \frac{K \cdot \Delta t_{cp}}{\alpha_2} = \frac{289 \times 38,39}{1034,03} = 11^\circ\text{C}$$

Температура стінки зі сторони розчину:

$$t_{ст1} = 110 - 13,73 = 96,27^\circ\text{C},$$

Температура стінки зі сторони охолоджуючої рідини

$$t_{ст2} = 82,5 - 11 = 71,5^\circ\text{C}$$

Критерії Прандтля за температур стінки:

$$Pr_{ст1} = 5,2, Pr_{ст2} = 4,1$$

Уточнюємо значення коефіцієнтів тепловіддачі:

$$\alpha_1 = \alpha'_1 \left( \frac{Pr_1}{Pr_{ст1}} \right)^{0,25} = 828,96 \left( \frac{4,8}{5,2} \right) = 812,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$$

$$\alpha_2 = \alpha'_2 \left( \frac{Pr_2}{Pr_{ст2}} \right)^{0,25} = 1034,03 \left( \frac{4,8}{5,2} \right) = 1021,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{812,54} + 12,8 \times 10^{-4} + \frac{1}{1021,18}} = 286,53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

$$\Delta t_1 = \frac{K \cdot \Delta t_{cp}}{\alpha_1} = \frac{286,53 \times 38,39}{812,54} = 13,54^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = \frac{K \cdot \Delta t_{cp}}{\alpha_2} = \frac{286,53 \times 38,39}{1021,18} = 10,77^\circ\text{C}$$

$$\Delta_1 = 0,014\%$$

$$\Delta_2 = 0,021\%$$

Розходження між прийнятими та отриманими значеннями  $\Delta t$  не перевищують 5%, розрахунок проведено правильно. Визначаємо поверхню теплообміну:

$$F = \frac{25\,475,2}{286,53 \times 38,39} = 23,16 \text{ м}^2$$

Із знайденої поверхні теплообміну визначаємо довжину кристалізатору:

$$L = \frac{F}{\pi D_6} = \frac{23,16}{3,14 \times 0,747} = 9,87 \text{ м}$$

$$D_6 = \frac{D_6 + D_{6H}}{2} = 0,747 \text{ м} - \text{середній діаметр барабану, м}$$

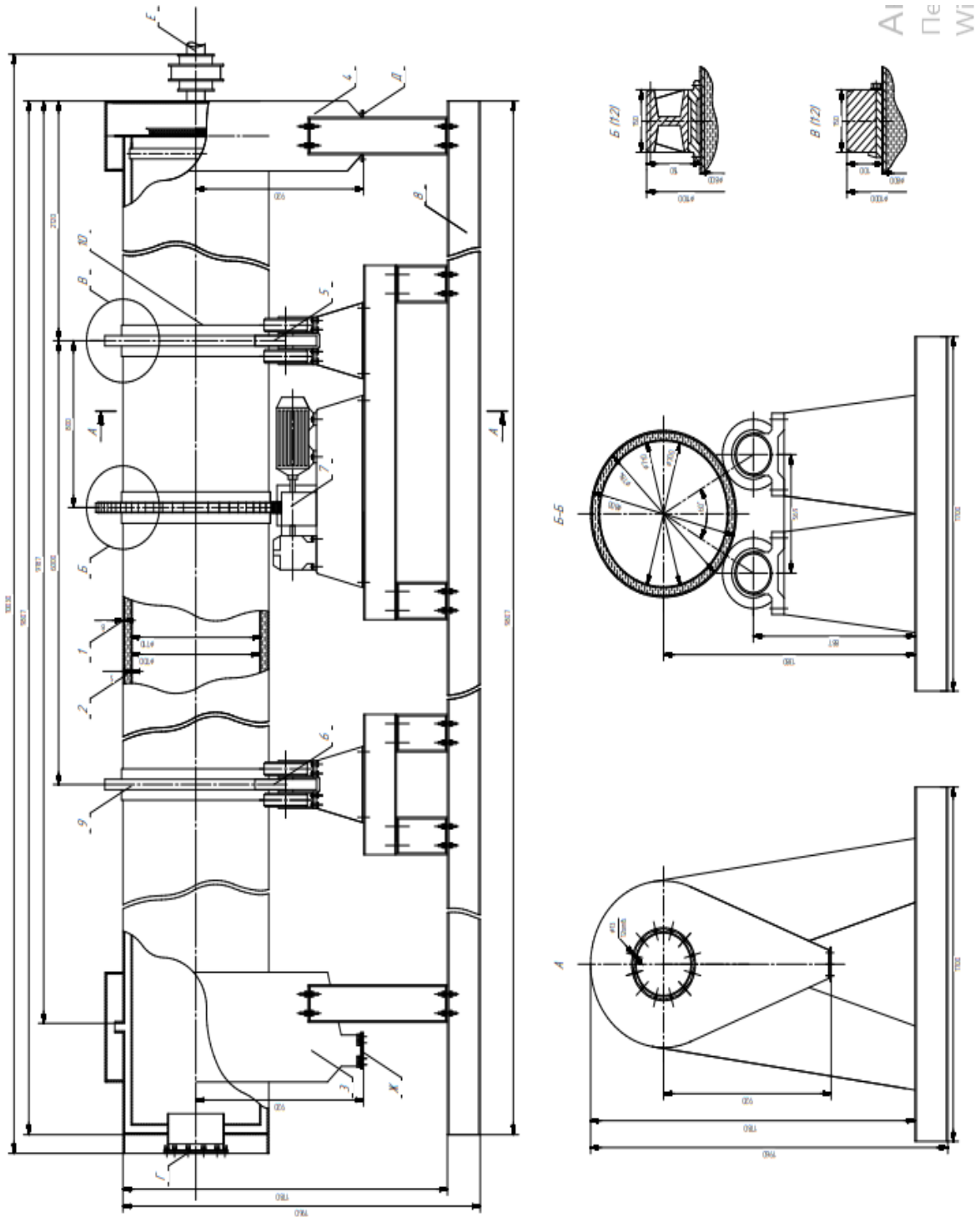
Відношення довжини барабану до його діаметру повинно знаходитись в межах 8 – 25

$$9,87/0,747=13,21$$

Записуємо розраховані параметри для креслення барабанного кристалізатора з водяним охолодженням:

- діаметр барабану 0,7 м;
- діаметр охолоджуючої сорочки 0,8 м;
- довжина барабану 9,87 м.

Рисунок 2.8—Загальний вигляд барабанного кристалізатора



## РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

### Оцінка капітальних витрат

Капітальні витрати включають закупівлю обладнання, монтаж, будівництво інфраструктури.

Ціна обладнання:

- Апарат ВТН для нейтралізації—50000 доларів,
- доейтралізатор – 30000 доларів,
- випарник високого тиску – 70000 доларів,
- кристалізатор типу – 60000 доларів,
- муфельна піч (3–5 м<sup>3</sup>) – 40000 доларів,
- охолоджувальна ємність— 50000 доларів,
- пакувальна лінія – 30000 доларів.

Допоміжне обладнання:

- теплообмінники – 15000 доларів,
- транспортери та насоси – 10000 доларів,
- мембранний апарат—12000 доларів.

Загальна вартість обладнання: 50000 + 30000 + 70000 + 60000 + 40000 + 50000 + 30000 + 20000 + 15000 + 10000 + 15000 = 367000 доларів.

У гривнях (курс 41 UAH/USD): 367000 \* 41 = 15047000UAH

Монтаж і налагодження обладнання – 15% від вартості обладнання

367000\*0,15=55050

у гривнях: 55050 \* 41 = 2257050

Будівництво виробничого приміщення (500 м<sup>2</sup>, 1000 доларів/м<sup>2</sup>):

500000 доларів, у гривнях: 500000 \* 41 = 20500000 UAH.

Витрати на енергоресурси зображено в таблиці 3.1.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Лебедева В.О	Назва, додаткова назва  РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.053.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 20.02.2025	Мова ua	Аркуш 53/67

Інфраструктура (електрика, водопостачання, вентиляція):

100000 доларів, у гривнях:  $100000 * 41 = 4100000$  UAH

Разом базові капітальні витрати:

$367000+55050+500000+100000=1022750$ доларів= $41932750$ грн

*Оцінка операційних витрат за цикл*

З матеріального балансу для 1000 кг  $\text{NaNO}_3$  потрібно:

- $\text{HNO}_3$  – 1479.57 кг (56%),
- $\text{NH}_3$  – 81.46 кг,
- $\text{NaHCO}_3$  – 1003.21 кг.

$\text{HNO}_3$ :  $785,5 * 20 = 15710$  грн.

$\text{NH}_3$ :  $217,5 * 25 = 5437,5$  грн.

$\text{NaHCO}_3$ :  $998,1 * 15 = 14971,5$  грн.

Загалом на сировину:  $15710+5437,5+14971,5 = 36119$  грн за цикл.

Електроенергія та вода для обладнання – на 1000 кг готового продукту

Енергоресурс	Одиниця вимірювання	Норма витрат	Ціна , грн
Електроенергія	кВт	1375	8
Вода	1 м <sup>3</sup>	50	16,8
<b>Всього</b>			<b>11808,5</b>

5 працівників на зміну, нова зарплата – 1200 грн/день на людину,

витрати:  $5 * 1200 = 6000$  грн

Термін служби обладнання – 10 років, 300 циклів на рік:

$41932750 / (10 * 300) = 13977,58$  грн за цикл.

*Загальні витрати за цикл:*

$36119 + 11808,5 + 6000 + 13977,58 = 67905,08$  грн

Кінцевий продукт: 1000 кг  $\text{NaNO}_3$  за цикл.

Розподіл продажів:

700кг продаємо в мішках по 50кг=14 мішків.

Ціна мішка=6000грн

$$6000*14=84000$$

300кг продаємо по одному кілограму. Ціна 250 грн\кг.

$$300*250=75000\text{грн}$$

*Загальний дохід за цикл:*

$$84000+75000=159000\text{грн}$$

*Річний дохід:*

$$159000*300=47700000\text{грн}$$

*Прибуток за цикл:*

$$159000-67905,08=91094,92\text{грн}$$

*Річний прибуток:*

$$91094,92*300=27328206\text{грн}$$

Рентабельність:

$$\text{Прибуток/дохід}*100=27328206/47700000*100=37\%$$

### ***Розрахунок економічної ефективності***

*Розрахунок NPV (чиста приведена вартість)*

Ставка дисконтування – 15% (0.15, враховує інфляцію та ризики).

Термін проекту – 10 років.

Початкові інвестиції: 41932750грн.

Коефіцієнт дисконтування:

$$(1 - (1 + 0.15)^{-10}) / 0.15 = (1 - (1.15)^{-10}) / 0.15 = (1 - 0.2472) / 0.15 = 0.7528 / 0.15 = 5.0188.$$

*Термін окупності*

Простий термін окупності:

Початкові інвестиції ділимо на річний прибуток:

$$41932750/27328206 = 1.5,$$

Приблизно 1.5роки потрібно для окупності підприємства.

## РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Визначення, ідентифікація, чистота нітрат натрію згідно регламенту Комісії (ЄС) No 231/2012 від 9 березня 2012 року про встановлення специфікацій для харчових добавок показана в таблиці 4.1

Таблиця 4.1[18]

1	2	3
<b>E 251 нітрат натрію</b>	<b>(i) твердий нітрат натрію</b>	<b>(ii) рідкий нітрат натрію</b>
<b>Синоніми</b>	Чилійська селітра; кубічна або натрієва селітра	
<b>Визначення</b>		Рідкий нітрат натрію - це водний розчин нітрату натрію, отриманий безпосередньо в результаті хімічної реакції між гідроксидом натрію та азотною кислотою у стехіометричних кількостях безподальшої кристалізації., можуть містити надмірні кількості

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Бойчук Т.М	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i>  НУХТ	<i>Розробник документа</i> Лебедева В.О	<i>Назва, додаткова назва</i> РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКТУ		<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.053.КР.ПЗ</i>		
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 20.02.2025	<i>Мова</i> ua

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
		Стандартизовані форми, виготовлені з рідкого нітрату натрію згідно з цими специфікаціями, можуть містити надмірні кількості азотної кислоти, якщо це чітко зазначено або марковано.
Номер Eіnecs	231-554-3	
Хімічна назва	Нітрат натрію	
Хімічна формула	NaNO <sub>3</sub>	
Молекулярна маса	85,00	
Вміст основної речовини	Не менше ніж 99 % у перерахунку на безводну речовину	Від 33,5 % до 40,0 % NaNO <sub>3</sub>
Опис	Білий кристалічний порошок, злегка гігроскопічний	Прозора безбарвна рідина
<b>Ідентифікація</b>		
Проба на нітрат	Позитивна	Позитивна

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
Проба на натрій	Позитивна	Позитивна
pH	5,5-8,3 (5 % розчин)	1,5-3,5
<b>Чистота</b>		
Вільна азотна кислота		Не більше ніж 0,01 %
Втрата при сушінні	Не більше ніж 2 % (105 °С, 4 години)	
Нітрити	Не більше ніж 30 мг/кг, виражені як NaNO <sub>3</sub>	Не більше ніж 10 мг/кг, виражені як NaNO <sub>2</sub>
Миш'як	Не більше ніж 3 мг/кг	Не більше ніж 1 мг/кг
Свинець	Не більше ніж 2 мг/кг	Не більше ніж 1 мг/кг
Ртуть	Не більше ніж 1 мг/кг	Не більше ніж 0,3 мг/кг

У великих дозах нітрат натрію є токсичним. Допустима норма його використання – до 50 мг на кг готового продукту. У Євросоюзі він дозволений у концентрації до 0,6% в складі посолочних сумішей.

Об'єднаний комітет експертів ФАО/ВООЗ з харчових добавок встановив під порогову дозу нітриту нижче 100 мг/кг маси тіла в добу. На цій підставі з урахуванням коефіцієнта запасу 100 була прийнята величина ДДН рівна 0,4 мг/кг маси тіла (за винятком дітей грудного віку), яка була знижена до 0,2 мг нітриту натрію на 1 кг маси тіла[2].

## РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Охорона праці

Для безпечного ведення технологічного процесу отримання нітрат натрію необхідно дотримуватися на виробництві таких основних умов:

1. До роботи допускаються особи не молодші 18 років, які не страждають на алергічні захворювання та пройшли медичний огляд, мають медичний висновок, допуск до роботи на даній категорії виробництва, які пройшли спеціальне навчання та інструктажі і склали іспити на допуск до самостійної роботи.
2. Виробничий персонал повинен вести виробничий процес у відповідності з цією технологічною інструкцією та інструкціями з техніки безпеки і охорони праці, пожежної безпеки та електробезпеки.
3. Всі роботи повинні проводитися при ввімкненій і справно працюючій приточно-витяжній вентиляції та за наявності огорож рухомих механізмів.
4. Усі станки та електрообладнання повинні бути заземлені зовнішнім контуром згідно вимог ПУЕ.
5. Уникати зашарженості виробничих і складських приміщень, щоб, за необхідності, можна було провести швидку евакуацію робітників.
6. У приміщеннях повинні постійно перебувати засоби пожежогасіння та індивідуального захисту.
7. Пролиту сировину або препарат своєчасно збирати в збірник для відходів.
8. Під час виконання робіт забороняється приймати їжу, і палити на робочих місцях.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Лебедева В.О	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.059.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 20.02.2025	Мова ua	Аркуш 59/67

9. Особи, які працюють на виробництві, повинні періодично проходити медичні огляди згідно з наказом МОЗ України від 31.03.94 № 45 «Про затвердження порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій».

10. Інструктажі з охорони праці, пожежної безпеки, з питань безпеки на підприємстві мають проводитись не рідше раз на три місяці.

### **Основні заходи безпечного ведення технологічного процесу:**

1. *Електротравмування.* Експлуатацію і ремонт електрообладнання необхідно здійснювати відповідно до "Правил устрою електроустановок".

Не допускати пошкоджень ізоляції струмопровідних частин.

Забороняється виконувати ремонтні роботи на включеному електрообладнанні.

При ураженні електричним струмом відключити електрообладнання, звільнити потерпілого від струмопровідних частин, надати першу допомогу.

2. *Отримання опіків і механічне травмування при виникненні пожежі.*

В приміщеннях, де знаходяться займисті речовини, необхідно перед кожною зміною проводити вологе прибирання

### **5.2 Екологічна частина**

Як і будь яке виробництво, виготовлення нітрат натрію має вплив на навколишнє середовище. Тому для забезпечення сталого розвитку та зменшення негативного впливу впроваджують заходи з охорони довкілля.

Виробництво нітрату натрію може супроводжуватися такими екологічними ризиками:

- Забруднення атмосферного повітря, через викиди аміаку, оксидів азоту.
- Забруднення водних ресурсів через викиди стічних та помивних вод

- Утворення відходів, що вимагати спеціальної утилізації або переробки.

### **Забруднення повітря:**

В процесі виробництва нітрат натрію в навколишнє середовище викидається багато вуглекислого газу, в якому також може бути присутній аміак.

Викиди вуглекислого газу призводять до глобальних змін температури та клімату, а також це один з чинників підвищеної кислотності у водоймах.

Для того, щоб зменшити вплив CO<sub>2</sub> на довкілля потрібно шукати альтернативні методи використання або переробки вуглецю. Одним з таких способів може бути відділення вуглекислого газу на мембранних установках. Після розділення зтиснути CO<sub>2</sub> в балони. Такий вуглекислий газ можна використовувати, як екстрагент або інертне середовище при виробництві біологічно активних добавок.

### **Стічні води**

В результаті діяльності підприємств різних галузей щодня у водойми та ґрунти потрапляє велика кількість шкідливих речовин. Все це призводить до порушення екологічного балансу. Забруднене хімічними компонентами, бактеріями і мікробами середовище не тільки погіршує стан флори і фауни, а й негативно впливає на здоров'я людей.

Для **очищення стічних вод**, застосовують *механічну очистку* для видалення нерозчинних домішок, а також *фізико-хімічну* очистку (нейтралізація, коагуляція, флокуляція) для видалення важких металів та інших забруднювачів. *Біологічна очистка* використовує мікроорганізми для розкладу органічних речовин та зменшення концентрації нітратів/нітритів. Для глибокого очищення та рециркуляції води

застосовують мембранні технології, такі як зворотний осмос та ультрафільтрація. Важливо впроваджувати системи замкнутого водокористування для максимального повторного використання очищених стічних вод.

### **Викиди аміаку**

Викиди аміаку (NH<sub>3</sub>) з підприємств є значною екологічною та медичною проблемою. Аміак – це безбарвний газ з різким, характерним запахом нашатирного спирту. Він є природною складовою циклу азоту, його надмірні викиди в атмосферу, ґрунт та воду від промислових підприємств становлять серйозну загрозу.

В першу чергу аміак негативно впливає на здоров'я людей. Він є їдкою та корозійною речовиною. При вдиханні викликає сильне подразнення слизових оболонок очей, носа, горла та дихальних шляхів. Високі концентрації можуть призвести до хімічних опіків дихальних шляхів, бронхіту, пневмонії і навіть смерті. Постійний вплив аміаку, навіть у низьких концентраціях, може викликати головний біль, нудоту, запаморочення, а також впливати на центральну нервову систему[19].

Для того щоб запобігти викидам потрібно впроваджувати в системи виробництва етапи очищення та уловлювання.

Для цього можна використати:

- **Абсорбцію (мокрі скрубери):** Викиди аміаку пропускають через рідину (абсорбент), яка поглинає аміак. Часто використовують воду або розчини кислот (наприклад, сірчаної кислоти), які реагують з аміаком, утворюючи солі (наприклад, сульфат амонію), що можуть бути використані[20].
- **Адсорбцію:** Використання твердих адсорбентів (наприклад, активованого вугілля, цеолітів) для поглинання аміаку з газового

поток. Після насичення адсорбент регенерують, виділяючи концентрований аміак[21].

- **Біофільтрацію:** Застосування мікроорганізмів, які метаболізують аміак у біофільтрах. Цей метод є екологічно чистим, але ефективний при невисоких концентраціях аміаку.
- **Термічна обробку (спалювання):** Застосовується для висококонцентрованих викидів аміаку, але може бути енергоємним і вимагає контролю за утворенням оксидів азоту (NO<sub>x</sub>).
- **Каталітична конверсію:** Перетворення аміаку на безпечніші речовини (наприклад, азот та воду) за допомогою каталізаторів.

Уловлений аміак можна пускати на рецикл виробництва, що в свою чергу зменшує витрати підприємства. Також можна продати підприємствам, що використовують аміак у виробництві, наприклад при виготовленні добрив. Це дасть змогу збільшити рентабельність підприємства.

## ВИСНОВОК

1. В процесі виконання роботи було зроблено аналіз науково технічної літератури та вивчено фізико-хімічні властивості нітрат натрію, його сфери застосування та методи виробництва.
2. Робота містить детальний огляд на виробництво нітрат натрію реакцією гідрокарбонату натрію та азотної кислоти. Для цієї технології розроблено удосконалення виробництва нітрат натрію, яке полягає у відділенні та уловленні парів аміаку та вуглекислого газу.
3. Розроблено апаратурно-технологічну та принципову схеми виробництва. Прораховано матеріальний баланс, який показав, що для отримання 1000 кг нітрат натрію потрібно 2048кг вихідної сировини. Технологічні втрати-1%.
4. Зроблено економічний розрахунок виробництва, що показав рентабельність підприємства 37%.
5. Зроблено підбір обладнання та розраховано барабанний кристалізатор. Для кристалізатору зроблене креслення згідно з обрахунків.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Лебедева В.О	Назва, додаткова назва  ВИСНОВОК	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.064.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 20.02.2025	Мова ua	Аркуш 64/67

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Смоляр В. І., Циганенко О. І., Петрашенко І. Нітрати, нітрити та нітрузоаміни у харчових продуктах і раціонах. Проблеми харчування. 2007. № 3. С. 15–23
2. Харчові добавки: тексти лекцій для студентів спеціальності 181 "Харчові технології" / Уклад.: Гуменюк О.Л. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 177 с.
3. Швець В. І., Юрчук В. О. Технології мінеральних солей : навч. посіб. – Черкаси : ЧДТУ, 2018. – 256 с.
4. Ковальчук П. І., Кулик Г. М. Хімічна технологія неорганічних речовин : підручник. – Київ : Центр учбової літератури, 2020. – 276 с.
5. Дудкін А. О., Гаращенко Л. М. Фізико-хімічні властивості нітратів лужних металів // Вісник ОНУ. Серія: Хімія. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 84–89.
6. Паламарчук І. С. Фізико-хімічні характеристики  $\text{NaNO}_3$  як основи для неорганічного синтезу // Наукові праці ХНУ. Серія: Хімія. – 2022. – № 1. – С. 33–39.
7. Кравченко Л. М. Стан сировинної бази для виробництва неорганічних солей в Україні // Хімічна промисловість України. – 2022. – № 3. – С. 12–17.
8. Kimura H., Okamoto Y. Economic and Environmental Aspects of Nitrate Production Using Renewable Energy // Chemical Engineering Journal. – 2022. – Vol. 439. – P. 135673. DOI:10.1016/j.cej.2022.135673
9. Попович І. О., Жовнір Т. А. Принципова схема виробництва неорганічних солей на прикладі натрію нітрату // Вісник НУВГП. Серія: Хімічні технології. – 2020. – № 2(82). – С. 45–51

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Бойчук Т.М	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Лебедева В.О	Назва, додаткова назва  СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.065.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 20.02.2025	Мова ua	Аркуш 65/67

10. Vivochem. Order Sodium Nitrate | CAS No. 7631-99-4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.vivochem.com/en/p/sodium-nitrate> (дата звернення: 18.04.2025).
11. Технологія неорганічних речовин. Частина 3. Мінеральні добрива : навчальний посібник / М. Д. Волошин, Я. М. Черненко, А. В. Іванченко, М. А. Олійник. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2016. — 354 с.
12. Натрієва селітра (азотнокислий натрій, нітрат натрію, чилійська селітра). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/pqxkuv> (дата звернення: 21.05.2025).
13. Гідрокарбонат натрію (сода харчова, бікарбонат натрію, натрій вуглекислий кислий). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/binizs> (дата звернення: 23.05.2025).
14. Промисловість та сода харчова . [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/cc/omzwea> (дата звернення: 21.05.2025).
15. Спосіб отримання нітрату натрію. Патент на винахід. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/mfmmsl> (дата звернення: 22.05.2025).
16. Поджарський, М. А., Парілов, О. С. (2014). Методичні вказівки до лабораторних та практичних занять за темою «Виробництво амонійної селітри». (О. В. Бец, ред.). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://library.dnu.dp.ua/Methodichki/metod\\_am\\_selitra.pdf](http://library.dnu.dp.ua/Methodichki/metod_am_selitra.pdf) (дата звернення: 23.05.2025).
17. Технологічне обладнання харчових виробництв: Навчальний посібник / В.І. Теличкун, Ю.С. Теличкун, О.О. Губеня, С.В. Стефанов, С.Т. Дамянова. – Київ: Видавництво «Сталь», 2023. – 634 с.
18. РЕГЛАМЕНТ КОМІСІЇ (ЄС) № 231/2012 від 9 березня 2012 року про встановлення специфікацій для харчових добавок, перелічених у додатках II та III до Регламенту Європейського Парламенту і Ради

(ЄС) № 1333/2008

19. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2004, вересень). *ATSDR Ammonia ToxFAQs* (Division of Toxicology ToxFAQs™). U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts126.pdf>.
20. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з курсу “Основні процеси та апарати хімічної технології”. Розділ «Абсорбція» для студентів III-V курсів усіх спеціальностей і форм навчання / Укл.: О.О. Тертишний, С.О. Опарін, П.В. Рябік. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2010. – 45 с.
21. Абсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / І.М. Іваненко, Т.А. Донцова, Ю.М. Феденко; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 232 с.