

**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: Модернізація технології виробництва бензоату натрію

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

КОСОВЕЦЬ Олександр Юрійович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Керівник РОМАНОВА Олеся Олександрівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

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

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент Світлана КОВАЛЬОВА  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_  
(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

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Косовець Олександр Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація технології виробництва бензоату натрію

керівник роботи РОМАНОВА Олеся Олександрівна, к.т.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 бензоат натрію

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	01.05.2025	
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	03.06.2025-10.06.2025	

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олександр КОСООВЕЦЬ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Олеся РОМАНОВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Косовець О.Ю.** Модернізація технології виробництва бензоату натрію  
ЗАПИСКА ПОЯСНЮВАЛЬНА: 81 С., 19 РИС., 20 ТАБЛ., 3 ДОДАТКИ,  
40 ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.

В даній кваліфікаційній роботі розглянуто модернізацію технології виробництва бензоату натрію як харчової добавки Е-211. Основну увагу приділено сучасному методу синтезу шляхом взаємодії бензойної кислоти з активним натрієм із використанням активованого вугілля. Завдяки адсорбційним властивостям сорбенту вдалося досягти високої чистоти продукту та зменшити вміст токсичних домішок.

Для порівняння розглянуто традиційний метод — нейтралізацію бензойної кислоти з гідроксидом натрію, який широко застосовується у промисловості, однак поступається новій технології за якістю кінцевого продукту та екологічною безпекою.

Описано фізико-хімічні властивості бензоату натрію, вплив умов зберігання на його стабільність, а також особливості використання у харчовій та фармацевтичній галузях.

Здійснено підбір обладнання відповідно до технології. Особливу увагу приділено обґунтуванню використання стрічкової сушарки та розрахунку матеріального балансу виробництва.

Економічний розрахунок свідчить про ефективність та доцільність впровадження запропонованої технології.

Розглянуто вимоги охорони праці та заходи щодо зменшення впливу виробництва на довкілля, зокрема вдосконалення систем очищення стічних вод і повторне використання ресурсів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** БЕНЗОАТ НАТРІЮ, КОНСЕРВАНТ, ВИРОБНИЦТВО, АКТИВНИЙ НАТРІЙ, БЕНЗОЙНА КИСЛОТА, АКТИВОВАНЕ ВУГІЛЛЯ, СТРІЧКОВИХ СУШАРКА, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЯ.

## **ABSTRACT**

**Kosovets O.Y.** Modernization of sodium benzoate production technology

EXPLANATORY NOTE: 81 PAGES, 19 FIGURES, 20 TABLES, 3 APPENDICES, 40 REFERENCES.

This qualification work considers the modernization of sodium benzoate production technology as food additive E-211. The main focus is on the modern method of synthesis through the interaction of benzoic acid with active sodium using activated carbon. Thanks to the adsorption properties of the sorbent, it was possible to achieve a high product yield and reduce the content of toxic impurities.

For comparison, the traditional method of neutralizing benzoic acid with sodium hydroxide, which is widely used in industry, is considered, but it is inferior to the new technology in terms of the quality of the final product and environmental safety.

The physicochemical properties of sodium benzoate, the effect of storage conditions on its stability, and the specifics of its use in the food and pharmaceutical industries are described.

Equipment was selected in accordance with the technology. Particular attention was paid to justifying the use of a belt dryer and calculating the material balance of production.

The economical calculation demonstrates the effectiveness and feasibility of implementing the proposed technology.

Occupational safety requirements and measures to reduce the impact of production on the environment were considered, in particular the improvement of wastewater treatment systems and the reuse of resources.

**KEYWORDS:** SODIUM BENZOATE, PRESERVATIVE, PRODUCTION, ACTIVE SODIUM, BENZOIC ACID, ACTIVATED CARBON, BELT DRYER , EQUIPMENT , MATERIAL BALANCE ,OCCUPATIONAL SAFETY ,ECOLOGY.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	9
1.1 Консервування та роль консервантів в нашому житті .....	9
1.2 Бензоат натрій його застосування та властивості.....	11
1.3 Аналіз потужних виробників бензоат натрію в світі .....	16
1.4 Існуючі технології виробництва бензоат натрію .....	18
1.5. Прогресивна технологія виготовлення бензоат натрію .....	20
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	21
2.1 Характеристика вхідної сировини.....	21
2.2 Опис принципово технологічної схеми виробництва бензоат натрію .....	30
2.3 Матеріальний баланс отримання бензоат натрію .....	34
2.4 Підбір основного технологічного обладнання.....	43
2.5. Опис апаратурно-технологічної схеми .....	46
2.6 . Розрахунок стрічкової сушарки.....	48
2.7. Тепловий баланс сушіння бензоату натрію.....	63
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	64
РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....	69
РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	71
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	77

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
Власник документа  НУХТ	<i>Розробник документа</i> Косовець О.Ю.	Назва, додаткова назва  ЗМІСТ	<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.006.КР.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 6/81

## ВСТУП

Бензоат натрію E211 широко використовується як консервант у харчовій та фармацевтичній промисловості завдяки своїм антимікробним властивостям. Його ефективність у кислих середовища забезпечує стабільність продукції, що зберігається тривалий час. У зв'язку з високим попитом на цю речовину, зростає потреба в удосконаленні виробництва з урахуванням сучасних вимог до безпеки та екологічності.

Традиційні методи синтезу включають застосування сировини обробка якої потребує суворого контролю через токсичні властивості толуолу.

Тому актуальним є впровадження технологій, що базується на використанні активованого вугілля як безпечного компоненту виробництва, а також на реакції бензойної кислоти з активним натрієм, що дозволяє уникнути шкідливих побічних речовин та спростити очищення кінцевого продукту.

**Мета роботи:** розробити безпечну технологію виробництва бензоату натрію з використанням активованого вугілля

**Об'єкт дослідження :** технологія одержання із залученням альтернативної сировини

**Предмет дослідження:** бензоат натрію.

### Завдання роботи :

1. Проаналізувати існуючі технологічні рішення щодо отримання бензоату натрію .
2. Дослідити властивості альтернативної сировини та її вплив на якість кінцевого продукту.
3. Розробити принципову та апаратурно-технологічні схеми.
4. Провести матеріальний розрахунок процесу за продуктивністю
5. Здійснити технічний вибір обладнання для ключових стадій виробництва

ідповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Косовець О.Ю.	Назва, додаткова назва ВСТУП	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.007.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 7/81

6. Оцінити енерговитрати собівартість та потенційні переваги впровадження нової схеми
7. Описати показники якості готового продукту
8. Дослідити відповідність продукту санітарно-гігієнічним та галузовим стандартом.

### **Апробація**

Результати роботи було представлено на 91 Міжнародній науковій конференції молодих учених, студентів та аспірантів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті”. Косовець О., Романова О., Бензоат натрію Е211— консервант від якого варто відмовитися, - 7 квітня 2025 р. Київ: НУХТ. Ч. 2. 291 с.

# РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Консервування та роль консервантів в нашому житті

Консервування харчових продуктів - це стало народним способом оброблення їжі, що використовується для збільшення тривалості зберігання.

Сенс процесу полягає у створенні певних умов зберігання, котрі дозволяють пригнічувати розмноження мікроорганізмів та функціонування ферментів, що спричиняє швидке псування

Необхідним аспектом у цьому процесі є зміна властивості продуктів в позитивному чи негативному ключі. Наприклад смакові якості консервовані їжі (скажімо, шинки, солінь, кисломолочних виробів) можуть бути вищими аніж у свіжих. Втім, зазвичай не уникнути зменшення поживної цінності, певного втрачання вітамінного, амінокислотного та мікроелементного складу .

Одним з найпоширеніших способів консервування сьогодні є глибоке заморожування. Ефективність полягає не лише у зниженні температури продукту до (-6 ...-8°C) але й створенні умов (t -18... - 25°C), за яких біохімічні процеси майже повністю зупиняються, а патогенні мікроорганізми втрачають здатність до розвитку така технологія дозволяє тривалий час зберігати м'ясо рибу овочі без істотних змін їхньої якості. Іншим важливим способом є пастеризація — термічна обробка сировини, що виконується за помірною температури.

Залежно від часу впливу температури розрізняється класичну (63-65°C, 30 хвилин ) та експрес-пастеризацію (85-90° С 1-1,5 хв). Цей метод ефективно знищує більшість вегетативних мікроорганізмів, однак спорові форми можуть залишатися живими, що обмежує термін зберігання таких продуктів, як молочні напої, фруктові соки , пиво, джеми та варення.

Сушіння може здійснюватися або природним шляхом, або в штучно змодельованих умовах (із застосуванням спец. сушильного обладнання). Застосовують його для плодів та овочів, грибів і риби, молока та яєць.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Косовець О.Ю.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.009.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 9/81

Маринування – це введення 0,6-1,2 % оцтової кислоти в овочі, плоди, гриби, рибу та ін., унаслідок якого припиняється розвиток мікроорганізмів, а продукти стають специфічними на смак.

Сульфитація фруктів і ягід передбачає використання сірчистої кислоти або сірчистого газу, бензойної кислоти або бури, зберігає природне забарвлення і пригнічує мікроорганізми.[1]

Існує три типи консервантів, що використовуються в продуктах харчування: антимікробні, антиоксиданти та антикоагулянти.

Антимікробні препарати — є важливими у подовженні терміну придатності численних снєків і напівфабрикатів, а останніми роками вони стали ще більш популярними, оскільки зросла занепокоєність у виробників щодо мікробної безпеки продуктів харчування.

Антиоксиданти — (INS 300-326 і E300-E326) використовуються для запобігання окисленню ліпідів, вітамінів у харчових продуктах. Вони використовуються насамперед для запобігання автоокисненню і подальшому розвитку гіркого та неприємного смаку.

Вони варіюються від природних сполук, зокрема вітамінів С і Е, до синтетичних хімічних речовин, на кшталт бутильований гідроксианізол (ВНА) та бутильований гідрокситолуол (ВНТ).

Антикоагулянти — це хімічні речовини, що використовуються для запобігання як ферментативного, так і неферментативного підрум'янювання харчових продуктів, особливо підрум'янення харчових продуктів, особливо сушених фруктів і овочів.

Вітамін С (E300), лимонна кислота (E330) і сульфит натрію (E221) є найпоширенішими добавками в цій категорії. [2]

## 1.2 Бензоат натрію його застосування та властивості

Бензоат натрію - це натрієва сіль, представлена хімічною формулою  $C_7H_5O_2Na$ , з молекулярною масою 144,1 г.моль<sup>-1</sup>, сполука без запаху, розчинна у воді та етанолі.

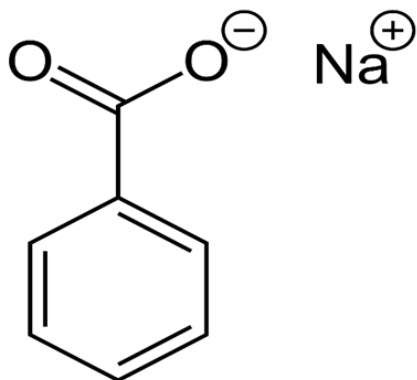


Рисунок 1.1. Структурна формула та зовнішній вигляд бензоату натрію

Зазвичай використовується як консервант у деяких продуктах косметичної, фармацевтичної та харчової промисловості.

**У фармацевтичній промисловості:** його застосовують для лікування різних захворювань, таких як порушення циклу сечовини, хвороби печінки та розсіяний склероз.

Використання у лікарських засобах:

0,02-0,5% у пероральних ліках;

0,5% у ін'єкційних препаратах;

Бензоат натрію також знаходить застосування як мастильний компонент для таблеток, з концентрацією 2–5% за вагою.

Розчини бензоату натрію можуть використовуватися перорально або внутрішньовенно для оцінки функціональності печінки.

При потраплянні в організм, бензоат натрію проходить процес кон'югації з гліцином у печінці, утворюючи гіпурову кислоту, яка виводиться з сечею.

Симптоматика системної токсичності бензоату аналогічна проявам саліцилатів. Хоча введення вільної кислоти пероральним шляхом може спричинити значне подразнення шлунка, солі бензоату демонструють добру переносимість навіть у великих дозах.

Приміром, 6 г бензоату натрію в 200 мл води використовують перорально як тест для оцінки функцій печінки.

Згідно з клінічними дослідженнями, бензоат натрію здатний викликати неімунологічну контактну кропивницю та негайні контактні реакції .

Однак, визначено, що ці реакції обмежуються шкірою, і тому бензоат натрію вважається безпечним для використання в концентраціях до 5%.

Цей неімунологічний феномен слід враховувати при розробці лікарських форм для немовлят та дітей.[6]

У харчовій промисловості: бензоат натрію використовують у продуктах харчування та напоях, оскільки він ефективно пригнічує ріст грибків і бактерій під час зберігання, крім того, його легко вносити .

Він показаний для консервування маргаринів, соусів, мармеладу, желатину, лікерів, пива, фруктових соків і безалкогольних напоїв.

Для безалкогольних напоїв ця сполука є одним з найвигідніших економічно шляхів для забезпечення мікробіологічної стабільності протягом усього періоду придатності.



Рисунок 1.2 Напої які містять бензоат натрію

Регулювання вмісту бензоату натрію у напоях здійснюється відповідно до міждержавного стандарту ГОСТ 30059–93 «Напої безалкогольні. Методи визначення аспартаму, сахарину, кофеїну та бензоату натрію». Відповідно до цього документу, вимірювання концентрації.

бензоату відбувається за допомогою високопродуктивної рідинної хроматографії з фотодетектором на хвилі 210 нм.

Даний метод дозволяє з точністю визначити кількість речовини та гарантує відповідність якості продукції чинним санітарним і технологічним нормам.[5]

Отже, бензоат натрію не тільки реалізує функцію дієвого консерванта, але також піддається суворому лабораторному аналізу у відповідності до державних стандартів.

**У косметичній промисловості :** дозволений у концентрації 0,5% у шампунях, лосьйони, гелі, креми.

Всі інгредієнти потребують коректного маркування: обов'язково вказувати міжнародну назву (INCI) та номер CAS, а їхня концентрація у формулі має відповідати встановленим нормам Регламенту № 1223/2009 ЄС [3]

Частота застосування певних консервантів у продуктах із двома консервантами демонструється на рис. 1.3.

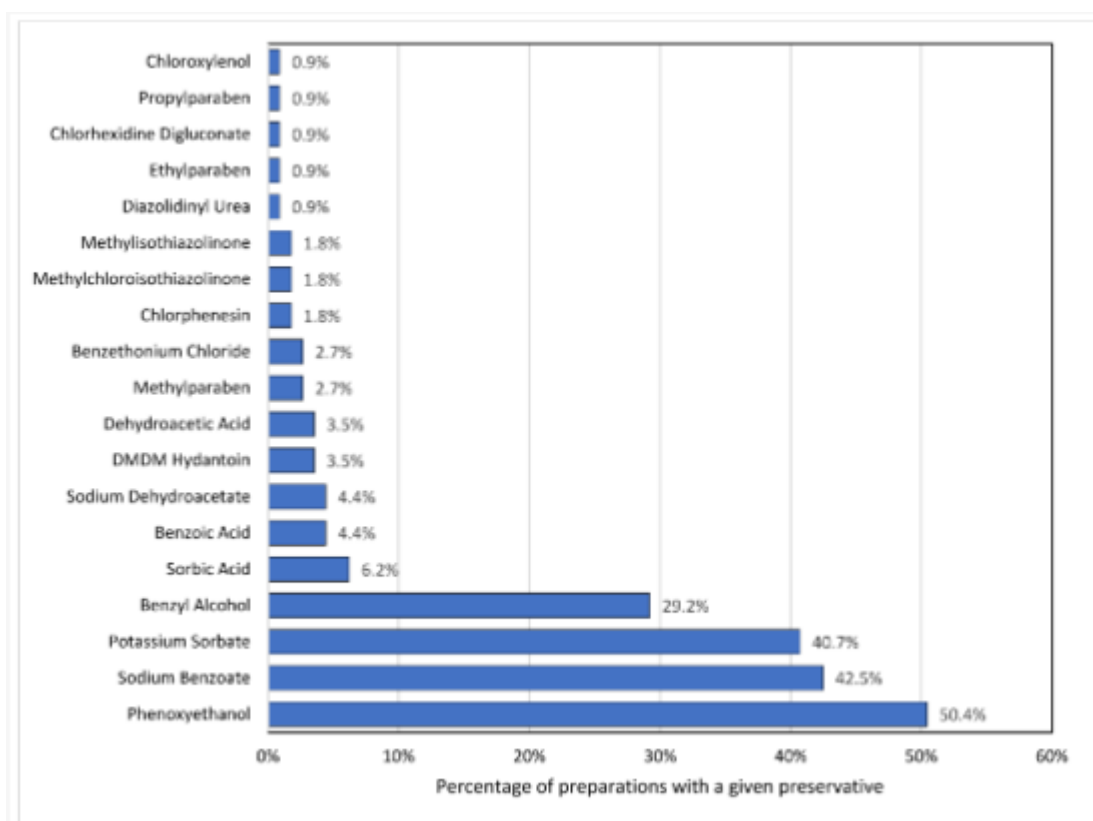


Рисунок 1.3. Діаграма використання консервантів

Найвищу позицію посів феноксиетанол, що був присутній у 50,4% косметичних виробів, що містять два консерванти.

Друге та третє місця, з показниками 42,5% та 40,7% відповідно, зайняли бензоат натрію та сорбат калію, які використовувалися найчастіше у комбінації.[7]

### **Токсикологія та дія на організм дюдини**

Бензоат натрію вже багато років використовується як консервант через його хорошу стабільність і відмінну розчинність у воді . FDA вважає його «загалом безпечним» і він може бути присутнім у продуктах харчування в концентрації понад 0,1%.

Для ФАО та ВООЗ ІДА для продуктів харчування з бензоатом натрію становить 5 мг/кг-1 маси тіла, максимальна межа вмісту бензоату натрію як консерванту становить 0,05 г/100 мг або 0,05 г/100 мл .

За даними Європейського агентства з безпеки харчових продуктів (EFSA), смертельна доза (LD50) для консерванту становить 2000 мг/кг-1 (EFSA, 2017).  
Номер GRAS — 3

Є повідомлення про те, що пероральні дози від 8 до 10 г можуть викликати нудоту і блювоту, а також про те, що малі дози мають незначний або нульовий ефект .[4]

### **Металургія:**

Органічні інгібітори корозії, що формують плівку, оберігають метал, створюючи на його шарі гідрофобну плівку. При належній концентрації вони впливають на всю площину.

Дієвість цих речовин залежить від їх хімічного складу, структури молекул та здатності прилипати до металу. Цей процес поглинання залежить від температури, тиску, електричного заряду поверхні металу та молекул інгібітора.

Критичне значення має концентрація інгібітора: захисний шар утворюється тільки при достатній кількості речовини, і для кожного інгібітора, а також для конкретного середовища, визначена оптимальна концентрація (наприклад, бензоат натрію - ~0.05%, циннамат натрію - ~0.2%у воді). [8]

## Сільське господарство:

Вплив бензоату натрію на пшеницю за умов стресу, спричиненого важкими металами:

Стимулюючий ефект був при: обприскування розчином бензоату натрію 2–4 г·л<sup>-1</sup>.

Сприяло підвищенню активності коренів порівняно з рослинами без обробки, які перебували у стресовому стані.

Збільшувало концентрацію хлорофілу а, b та загального хлорофілу (a+b) у листках, пік якого спостерігався при ~4 г·л<sup>-1</sup>.

Зменшувало шкідливий вплив важких металів на обидва досліджені показники.



Рисунок 1.4. Обробленна пшениця за допомогою бензоат натрію

При високих дозах був інгібуючий ефект:

Використання бензоату натрію у концентраціях понад 6 г·л<sup>-1</sup> призводило до зменшення активності коренів нижче показників навіть необроблених рослин, що знаходились у стресі.

Спричиняло зменшення вмісту хлорофілу а, b та сукупного хлорофілу (a+b) відповідно до зростання концентрації (на 10-41%). Підсилювало токсичний вплив важких металів на пшеницю.[9]

### 1.3 Аналіз потужних виробників бензоат натрію в світі

Світовий ринок натрію бензоату оцінювався приблизно в 440 тисяч тонн у 2023 році, і передбачається, що він демонструватиме зростання із середньорічним темпом у 5,05% упродовж прогнозованого періоду, який триватиме до 2033 року.[10]

Збільшення обсягів споживання бензоату натрію безпосередньо корелює з розвитком фармацевтичної та харчової галузей, які відчувають помітний зріст через збільшення кількості населення планети.

Подальший прогрес цих сфер діяльності відіграє роль головних каталізаторів попиту на бензоат натрію, підкреслюючи його критичну важливість у продовженні терміну зберігання та гарантуванні безпечності продуктів у різноманітних секторах.

Сукупність економічної доцільності, багатофункціональності та специфіки використання виводить бензоат натрію на передову як ключовий елемент, який супроводжує розширення цих ключових галузей.

Світовий ринок бензоату натрію, як передбачається, наблизиться до показника близько 720 тисяч тонн до 2033 року.

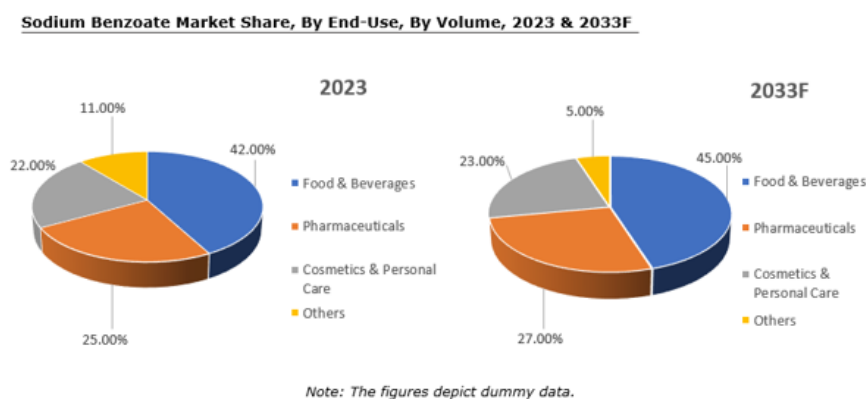


Рисунок 1.5. Діаграма в відсотковому співвідношенні використання бензоат натрію у світі та прогноз на 2033

Серед потужних виробників в світі виділяють такі компанії:

**Японія** — Компанія Tokyo Chemical Industry Co., Ltd. (TCI), один з лідерів у світі з виготовлення спеціалізованих органічних хімікатів, бере початок з 1946 року. TCI спеціалізується на постачанні органічних лабораторних хімікатів, разом з тим пропонуючи продукцію для

фармацевтики, косметики та функціональних матеріалів. Завдяки більш ніж сімдесятирічному досвіду в синтезі та багатофункціональним виробничим потужностям, TCI може запропонувати асортимент, що перевищує 30 000 продуктів, а також послуги з синтезу під індивідуальне замовлення. З метою забезпечення клієнтів по всьому світу, TCI має філії у Північній Америці, Європі, Китаї та Індії.[11]

**Китай** — Компанія Sartol, заснована у 1996 році та офіційно відкрита в 2004 році, базується у місті Ханчжоу, що в Китаї. Це підприємство, що є лідером у галузі синтезу різноманітних хімічних речовин на замовлення.

Сфера діяльності охоплює широкий спектр галузей, включаючи фармацевтику, нові матеріали та спеціалізовану хімію, пропонуючи клієнтам з усього світу, зокрема з фармацевтичної промисловості, галузі функціональних матеріалів та тонкої хімії, видатні виробничі потужності та передові послуги з досліджень та розробок. [12]

**США** — InvivoChem провідний постачальник низькомолекулярних інгібіторів, біоактивних сполук та активних фармацевтичних інгредієнтів (API). Ми спеціалізуємось на розробці, виробництві та реалізації зазначеної продукції. Основні дослідницькі та виробничі потужності компанії розташовані в США.[13]

**Україна** — не має поки своїх виробників, але має компанії дистриб'ютерів.

ТОВ Компанія НОВОХІМ - успішно працює на ринку промислової хімії України з 1995 року має широкий і продуманий асортимент сировини і матеріалів для більш ніж 800 провідних підприємств нашої країни.

«Система Оптимум» Приватне підприємство є провідною компанією в Західній Україні, що реалізує хімічні реактиви та сировину, лабораторний та хімічний посуд, лабораторне обладнання та меблі, супутню продукцію.[14]

Компанія «Хім-компонент» — є прямим дилером продукції відомих зарубіжних брендів, займається прямими поставками широкого асортименту товарів .[15]

**Таблиця 1.1 — Ціноутворення на ринку України**

Компанія	Ціна за 1 кг	Сировина
ТОВ Компанія НОВОХІМ	89,40 грн	Бензоат натрію / Європа
«Система Оптимум»	82.80 грн	Бензоат натрію/Польща
Компанія «Хім- КОМПОНЕНТ»	98,00	Бензоат натрію/Китай

#### 1.4 Існуючі технології виробництва бензоат натрію

Метод 1 : Згідно патенту **CN100463895C ,ЧЖАО ФУГІ [16]**

Помістіть 850 кг промислової бензойної кислоти  $\geq 98,0\%$  та 860 кг 32% гідроксиду натрію в резервуар для нейтралізації та проведіть реакцію нейтралізації в резервуарі для нейтралізації.

Значення рН контролюйте на рівні 7,5, температура реакції: 95 °С, час реакції: 40 хвилин. Після завершення реакції нейтралізації утворюється розчин неочищеного бензоату натрію ; додайте від 5 до 15 кг активованого вугілля в резервуар для знебарвлення, час знебарвлення – 45 хвилин.



Тиск фільтрації становить 0,3 МПа, і отримується чистий розчин бензоату натрію ;

Розчин бензоату натрію транспортується в грануляційну вежу через 4 рівномірно розподілені сопла, і одночасно повітря транспортується в вежу з цих 4 сопел, а температура в вежі контролюється в діапазоні 145 °С, об'єм всмоктуваного повітря: 6 м<sup>3</sup>/хв, тиск всмоктування контролюється на рівні 0,3 МПа, завдяки чому рідкий матеріал та 25 кг гранульованого кристалічного натрію , розміщеного в вежі, неодноразово контактують у шарі вежі, утворюючи стандартний гранульований бензоат натрію розміром 1,5-2 мм , вихід становить близько 500 кг. Нарешті, після сушіння та просіювання при 150 °С, упаковка готова. [16]

Винахід цієї форми продукту спрощує процес виробництва наступних продуктів, економить робочу силу та матеріальні ресурси, а також суттєво покращує робоче середовище та умови праці, підвищує безпеку експлуатації та розширює сферу застосування продуктів бензоату натрію.

Метод 2 : Згідно патенту **CN100410227C, ГУО ДЕЦАЙ; ЧЕНЬ ЧЖЕНЬ; ЛІ ХУНЛІ [17]**

Спочатку додають 980 кг дистильованої води, потім 850 кг розчину бензойної кислоти з основним вмістом  $\geq 98\%$  (мас.%) та 870 кг рідкого лугу з основним вмістом 32% (мас.%) для реакції нейтралізації з утворенням розчину бензоату натрію, а потім після знебарвлення та фільтрації в резервуарі для знебарвлення активованим вугіллям отримують водний розчин бензоату натрію, що містить 37% (мас.%) бензоату натрію.

Цей розчин бензоату натрію додають до парорізальної машини з підігрівом, скибочки сушать та концентрують до вмісту води 23% (мас.%) листового бензоату натрію, загальний тиск пари скибочки підтримується на рівні 0,45 МПа, температура контролюється на рівні 160 °С, а швидкість скибочки становить 3 об/хв. Потім через силос потрапляє в екструзійний гранулятор для грануляції. Екструдер одношнековий, діаметр шнека 120 мм, швидкість обертання 85 об/хв. Після грануляції його транспортують до сушарки для сушіння.

Температура на вході сушарки становить 150 °С, а на виході – 70 °С.

Після сушіння колончастий бензоат натрію просіюється на вібраційному грохоті, утворюючи колончастий бензоат натрію діаметром 1,2 мм, довжиною від 3 до 5 мм та вмістом основної речовини 99,81% (масова частка), який потім транспортується до силосу готової продукції для упаковки.

Гаряче повітря сушарки очищується високоефективним очищувачем повітря, а повітря через повітродувку подається до теплообмінника, а пара одночасно подається до теплообмінника для утворення, а потім подається в сушарку. Висушений відпрацьований газ відділяється циклонним сепаратором, а потім проходить через мішок для збору пилу, після чого витяжний вентилятор видаляє газ, що відповідає нормам викидів.[17]

## 1.5. Прогресивна технологія виготовлення бензоат натрію

Згідно патенту : CN109796330A ,СУНЬ СІНБІН; ДІНЬ ЛІ [18]

Технологічний процес отримання бензоату натрію:

Процес починається з підготовки реакційного середовища: у реакційну ємність подається азот, щоб створити інертну атмосферу та запобігти небажаним реакціям.

Далі поетапно додають металевий натрій та бензойну кислоту, після чого суміш ретельно перемішують для рівномірного перебігу реакції.

Потім реакційну масу нагрівають до температури 40–60°C та витримують 10–30 хвилин, у результаті чого утворюється розчин бензоату натрію.

Для очищення додають активоване вугілля та проводять процес знебарвлення, який триває 45 хвилин, після чого суміш фільтрують для відокремлення домішок.

Після фільтрації рідка фаза відводиться, а тверда речовина бензоат натрію піддається подальшій обробці. [18]

Отриманий продукт висушують і подрібнюють у порошкоподібний стан, що забезпечує його зручне зберігання та подальше використання.

### **Висновки розділ 1:**

Класичні підходи, зокрема нейтралізація бензойної кислоти лугом натрію (CN100463895C), прості у виконанні, але споживають багато енергії та передбачають багато етапів обробки: знебарвлення, висушування, гранулювання. Метод екструзії (CN100410227C) гарантує високу якість продукту, проте вимагає дорогого обладнання та значних витрат пари й енергії.

Найбільш багатообіцяючою виглядає технологія з використанням металічного натрію (CN109796330A).

Вона відбувається за менших температур, у контрольованому середовищі, з мінімальною кількістю побічних реакцій.

Кінцевий продукт одразу отримують у зручній порошковій формі, яка придатна для зберігання та використання.

Цей спосіб відзначається чистотою, економічністю та безпечністю за умови дотримання правил роботи з натрієм

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика вхідної сировини

**Бензойна кислота** — (молекулярна маса 122,1), яку також називають фенілоцтовою або бензенкарбоною кислотою зустрічається в чистому вигляді у вигляді безбарвних або білих голок чи листочків.

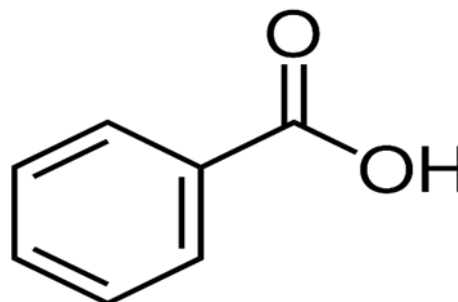


Рисунок.2.1. Структурна формула та зовнішній вигляд бензойної кислоти

У воді розчиняється в обмеженій кількості (0,18, 0,27 і 2,2 г розчиняються в 100 мл води при 4°C, 18°C і 75°C відповідно).

Бензойна кислота зустрічається в природі в деяких продуктах харчування і товарах . На її частку припадає приблизно 16% приросту світового споживання бензойної кислоти.

Приблизно 16% пригнічення росту *Saccharomyces bayanus* та *Pseudomonas fluorescens* з етанольних екстрактів журавлини .

Бензойна кислота також була визначена як «основний компонент в екстрактах ожини грибів, залежно від сорту (Abdulla et al.)[7]

Понад 90% комерційної бензойної кислоти йде на виробництво фенолу, шляхом окислювального декарбоксилювання, а потім на виробництво капролактаму і нейлону шляхом гідрування, оксидування та перегрупування Бекмана.

Похідні бензойної кислоти та споріднених бензольних сполук, такі як бензоати натрію, калію і кальцію, алкілбензоатні ефіри, гідроксибензоатні ефіри

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Косовець О.Ю.	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 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 21/81

(парабени), бензиловий спирт, бензальдегід і перекис бензоїлу, можна знайти в природі та/або хімічно синтезовані, і широко використовуються в різних галузях промисловості.

Якісні методи, які просто вказують на наявність бензойної кислоти, є найпростішими .

До них відносяться тест на хлорид заліза в розчині, тонкошарова хроматографія (ТШХ) і модифікований тест Молера.

Тест на хлорид заліза передбачає гомогенізацію зразка та підкислення HCl, екстракцію ефіром, випарювання і розведення у воді, і, нарешті, додавання хлориду заліза, який дає осад бензоату заліза лососевого кольору.

У методі ТШХ зразок екстрагують перегонкою з водяною парою та ефіром, випаровують і наносять на силікагелеву пластинку, яку обробляють етанол: аміак, висушують на повітрі і обприскують пероксидом заліза хлоридом заліза, при цьому бензойна кислота з'являється у вигляді плями лілового кольору.

У модифікованому тесті Молера водний розчин, отриманий в результаті тесту на хлорид заліза, обробляють NaOH, сірчаною кислотою і нітратом калію, нагрівають, кип'ятять, а потім додають розчин сульфід амонію, при цьому спостерігається у присутності бензойної кислоти утворюється червоно-коричневе кільце.[19]

Бензойна кислота—консервант у харчовій сфері. Суть роботи бензойної кислоти у харчових виробках зводиться до гальмування ферментів у одноклітинних організмах. Це сповільнює обмін речовин в них, а як результат – гальмує розмноження цвілі, дріжджів і деяких бактерій.

Ефект кислоти запускається з моменту її всмоктування клітиною. Оскільки крізь мембрани клітин може проходити лише нерозщеплена бензойна кислота, антимікробний вплив проявляється винятково в кислому середовищі продуктів.

У випадку, коли внутрішньоклітинний рН становить  $\leq 5$ , анаеробне зброджування глюкози за допомогою фосфорфруктокінази скорочується на 95 %. Відповідно, бензойна кислота є доцільною для консервації фруктових соків із лимонною кислотою, газованих напоїв із вугільною кислотою, безалкогольних напоїв з фосфорною кислотою та інших.

Стандартні концентрації в продуктах харчування варіюються від 0,05 до 0,1 %. При цьому бензойна кислота та її солі (бензоати) не впливають на смакові властивості харчових продуктів. Розчини з 0,14% бензойної кислоти застосовують для попередньої обробки ягід перед заморожуванням, щоб призупинити розвиток дріжджів. Бензойна кислота добре всмоктується і виводиться нирками у вигляді гіпсурової кислоти.

Дозволена добова доза (ДДД) її становить 5 мг/кг, що складає 350 мг в день на людину масою 70 кг. Перевищення ДДД негативно впливає на печінку і нирки. Крім того, існують обґрунтовані побоювання, що бензойна кислота і бензоати можуть вступати у реакцію з аскорбіновою кислотою (E300), утворюючи невеликі кількості вільного бензолу – сильного канцерогену. [37]



Рисунок 2.2 Використання бензойної кислоти

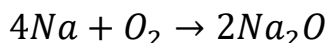
**Натрій** – сріблясто-білий метал, що має фіолетовий відблиск у тонких пластинах, пластичний та доволі м'який (його легко розрізати ножом), свіжий зріз натрію виблискує.

Електропровідність та теплопровідність натрію є досить високими, густина становить  $0,96842 \text{ г/см}^3$  (за температури  $19,7^\circ\text{C}$ ), температура плавлення –  $97,86^\circ\text{C}$ , а кипіння –  $883,15^\circ\text{C}$ . За кімнатної температури натрій кристалізується у кубічній сингонії, просторова група  $I m \bar{3} m$ , параметри елементарної комірки  $a = 0,42820 \text{ нм}$ ,  $Z = 2$ .

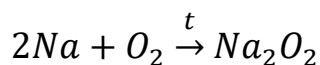
При температурі  $-268^\circ\text{C}$  ( $5 \text{ K}$ ) натрій перетворюється на гексагональну фазу, просторова група  $P 6 3 / mmc$ , параметри комірки :

$$a = 0,3767 \text{ нм}, c = 0,6154 \text{ нм}, Z = 2.$$

Лужний метал на повітрі легко окислюється до оксиду натрію . Для захисту від кисню повітря металевий натрій зберігають під шаром гасу або мінеральної олії.

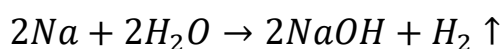


При горінні на повітрі або в кисні утворюється пероксид натрію :



З водою натрій реагує дуже бурхливо, поміщений у воду шматочок натрію спливає, через тепла, що виділяється, плавиться, перетворюючись на білу кульку, яка швидко рухається в різних напрямках по поверхні води, реакція йде з виділенням водню , який може спалахнути.

Рівняння реакції:



Як і всі лужні метали, натрій є сильним відновником і енергійно взаємодіє з багатьма неметалами (за винятком азоту , йоду , вуглецю , шляхетних газів):

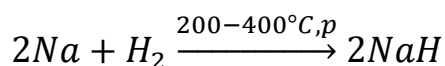
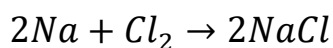


Рисунок 2.3.Зберігання та горіння натрію

Чистий металевий натрій є вогнебезпечним. На повітрі схильний до самозаймання. Особливо небезпечний контакт з водою та вологими поверхнями, так як натрій дуже активно реагує з водою, часто з вибухом, утворюючи їдкий луг (NaOH). У лабораторіях невеликі кількості натрію (приблизно до 1 кг) зберігають

Чистий металічний натрій – речовина легкозаймиста. На повітрі має тенденцію до самоспалахування. Контакт з водою та вологими поверхнями вкрай небезпечний, адже натрій надзвичайно активно взаємодіє з водою, часто з вибухом, утворюючи їдкий луг (NaOH).

У лабораторних умовах невеликі об'єми натрію (орієнтовно до 1 кг) зберігають у герметично закритих скляних банках під шаром гасу, лігроїну, бензину або вазелінової олії, щоб рідина повністю покривала весь метал. Банка з натрієм має зберігатися в металевій, вогнетривкій шафі (сейфі).

Натрій беруть пінцетом чи щипцями, відрізають скальпелем (натрій пластичний та легко ріжеться ножем) на сухій поверхні (у скляній чашці); необхідну кількість та залишки негайно повертають у банку під шар гасу, а відрізаний шматок або поміщають в гас, або безпосередньо вводять у реакцію.

До початку роботи з натрієм обов'язково проходять інструктаж з техніки безпеки. Особи, що вперше працюють з натрієм, повинні виконувати цю роботу під контролем досвідчених співробітників. Зазвичай, у лабораторних умовах для реакцій використовують. [20]

**Азот (N<sub>2</sub>)** — проста газувата сполука, що утворена з двох атомів Нітрогену та зараховується до макроелементів. Вперше відкритий Д. Резерфордом у 1812 році. Загальна кількість N<sub>2</sub> в земній корі оцінюється приблизно в 0,016%. Основна частина міститься у повітрі у формі азоту — N<sub>2</sub>. Сухе повітря в середньому містить 78,09% за об'ємом (або 75,6% за масою). Нітроген у сполуках з іншими елементами є компонентом всіх рослинних і тваринних організмів, а також кам'яного вугілля та нафти.

Це газ, що не має кольору, смаку та запаху. Завдяки міцності молекули N<sub>2</sub> він хімічно інертний, при кімнатній температурі взаємодіє лише з літієм, утворюючи літій нітрид (Li<sub>3</sub>N). Зі збільшенням температури активність N<sub>2</sub> зростає. При високих температурах та за наявності каталізаторів N<sub>2</sub> реагує з неметалами: киснем, воднем, галогенами та іншими.

Він є одним з компонентів амінокислот, білків (до 17%), вітамінів та гормонів.

**Активоване вугілля (АВ)** – це надзвичайно багатогранний матеріал, який зазвичай виробляють з екологічно чистих вуглецевих джерел, інколи його іменують активованим вугіллям, біовугіллям або ж просто активним вугіллям.

Його можна отримати за допомогою термохімічної обробки вуглецевмісної сировини, як-от біомаса, вугілля, кокс, біологічні відходи та різноманітні відходи лісництва.

Маючи здатність утворювати мережу з різними органічними та неорганічними сполуками. Така властивість виробленого активованого вугілля використовується у різноманітних застосуваннях, що базуються на явищах адсорбції та абсорбції.

Активоване вугілля демонструє надзвичайну активність поверхні, що зумовлено великою площею контактів і модифікованою структурою пір. Це дозволяє широко використовувати активоване вугілля як засіб для очищення, видалення хлору, дезодорації та знебарвлення газів, рідин і парів.

Водночас, активоване вугілля є економічним та ефективним адсорбентом у різноманітних галузях промисловості та в побуті.

Його застосування варіюється від простих фільтрів для води у домівках до селективних систем для вилучення золота у переробці руди.

Основні промислові сфери його використання включають: харчову промисловість та виробництво напоїв, очищення питної води, обробку стічних вод, косметичну галузь, очищення газів, обробку викидів, збагачення ґрунтів та видобуток дорогоцінних металів.

Крім того, активоване вугілля використовується як адсорбуюча речовина у фармацевтиці, хімічній та військовій промисловості, а також у сільському господарстві та охороні довкілля для видалення небажаних компонентів з технологічних потоків та кінцевої продукції.

Він також служить для нейтралізації токсичності різних речовин у технологічних процесах та стічних водах.

Додатково, його використовують для поглинання звукових хвиль, радіохвиль і мікрохвиль. Також активоване вугілля є критичним компонентом повітряних фільтрів та респіраторів, які застосовуються в медицині та хімічній промисловості. Разом з цим, активоване вугілля використовується як основа для каталізаторів і активних речовин.



Рисунок 2.4 Сфери застосування та отримання активованого вугілля

Активоване вугілля — використовується в харчовій індустрії для усунення барвників, ароматизаторів та запахів з розчинів та напоїв.

Сполук з розчинів і напоїв. Перше застосування активованого вугілля у харчовій промисловості було зафіксовано в 1974 році, коли вперше застосували для знебарвлення свіжовиготовленого сиропу.

Пізніше, було визнано безпечною речовиною для харчової галузі спеціальним комітетом науковців у 1981 році, його використання ще більше розширилося. На сьогоднішній день широко використовується на підприємствах харчової промисловості та напоїв.

Активоване вугілля — має широке медичне та фармацевтичне застосування з давніх часів. АВ використовується як адсорбент у різноманітних медичних продуктах, таких як маски, фільтри для діалітичних апаратів, гемоперфузійні колонки та перев'язувальні матеріали.[21]

**Водень (H<sub>2</sub>)** – проста речовина, що складається з двох атомів Гідрогену. Гідроген – елемент I групи першого періоду періодичної системи елементів Д.І.

Менделєєва, має порядковий номер 1, атм. маса 1,00797.

H<sub>2</sub> вперше виявлено Г. Кавендішем у 1766 році, котрий описав його властивості, визначив відмінність H<sub>2</sub> від інших газів та назвав його горючим повітрям.

Сукупний вміст H<sub>2</sub> у земній корі (літосфері й гідросфері) складає близько 1% за масою, а за кількістю атомів – 16%.

Гідроген є одним з найпоширеніших елементів не тільки на Землі, але й у Всесвіті. В космосі його концентрація досягає 90%.

У формі плазми H<sub>2</sub> формує майже половину маси Сонця, є головною складовою планет Сатурна та Юпітера. В природі H<sub>2</sub> зустрічається переважно у сполуках і досить рідко – у вільному стані (у вулканічних та природних газах, а також міститься у складі повітря, нафти, вугілля, органічних речовин, глини, а також речовин, з яких складаються рослини та тварини).[38]

Україна володіє значним технічним ресурсом для водневого виробництва, потенціал якого оцінюється від 18 до 38 мільйонів тонн щорічно. Це стало можливим завдяки великому обсягу відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячної та вітрової генерації. Відповідно до даних Міжнародного енергетичного агентства (IEA), теоретичний потенціал ВДЕ в Україні коливається від 1 300 до 2 300 ТВт·год на рік, що дає можливість виробляти приблизно 26–46 мільйонів тонн водню. [39]

### **Виробництво аміаку:**

Аміак, як ключовий складник добрив та низки хімічних сполук, традиційно отримується з природного газу, використовуючи процес Габера-Боша, який супроводжується значними викидами вуглекислого газу. Однак відновлювальний водень відкриває сталий спосіб виробництва аміаку, забезпечуючи його синтез без вуглецевих викидів. Відновлюваний аміак є перспективним для підтримки світового сільського господарства, підвищення продовольчої безпеки та зменшення впливу виробництва добрив на навколишнє середовище, прокладаючи шлях для більш стійких методів ведення сільського господарства.

### **Нафтопереробка:**

Нафтопереробка також є сферою, де водень відіграє ключову роль у скороченні викидів та підвищенні ефективності. Водень застосовується у різноманітних переробних процесах, таких як гідроочищення, гідрокрекінг та каталітичний риформінг, для видалення забруднень, поліпшення вуглеводневої сировини та виробництва високоякісного палива та нафтохімічних продуктів. Завдяки максимальному використанню водню та впровадженню передових технологій переробки, нафтопереробні заводи можуть мінімізувати вплив на довкілля, покращити якість продукції та оптимізувати експлуатаційні показники у світі, де все більше обмежені викиди вуглецю.

### **Обробка металу:**

У сфері обробки металу та металургії водень виступає як універсальний відновник і джерело тепла, що дозволяє проводити широкий спектр виробничих процесів з меншим негативним впливом на навколишнє середовище.

Водень може використовуватися у виробництві чавуну та сталі для усунення домішок, збільшення виходу та зменшення споживання енергії, що призводить до більш екологічно чистих та стійких методів виробництва сталі. Крім того, водень пропонує потенційне застосування у виробництві кольорових металів, порошковій металургії та обробці поверхонь, стимулюючи інновації та ефективність у металообробній промисловості.[40]

## 2.2 Опис принципово технологічної схеми виробництва бензоат натрію

Виробництво бензоату натрію (E211), важливого харчового консерванту, є багатоетапним технологічним процесом, який включає в себе підготовку реакційного середовища, додавання компонентів, нагрівання та реакцію, очищення та обробку продукту.

На першому етапі, підготовки реакційного середовища, в реакційну ємність подається азот для створення інертної атмосфери та запобігання небажаним реакціям окиснення компонентів.

Далі, на етапі додавання компонентів, послідовно додаються металевий натрій та бензойна кислота у відповідних пропорціях.

Суміш ретельно перемішується для забезпечення рівномірного протікання реакції.

Потім, на етапі нагрівання та реакції, реакційна маса нагрівається до температури 40-60°C та витримується протягом 10-30 хвилин.

За цих умов відбувається реакція між натрієм та бензойною кислотою з утворенням розчину бензоату натрію.

На етапі очищення до розчину додається активоване вугілля для адсорбції домішок та барвників. Процес знебарвлення триває 45 хвилин, після чого суміш фільтрується для видалення активованого вугілля з адсорбованими домішками.

На передостанньому етапі, обробки продукту, рідка фаза, що містить розчин бензоату натрію, відокремлюється від твердого залишку.

Твердий бензоат натрію висушується та подрібнюється до порошкоподібного стану для зручного зберігання та використання.

Важливо зазначити, що на кожному етапі технологічного процесу здійснюється контроль якості для забезпечення відповідності продукту встановленим стандартам. Крім того, необхідно дотримуватися вимог безпеки, оскільки використовуються хімічно активні речовини.

Суміш газів яка утворилася після реакції металевого натрію та бензойної кислоти йде на очищення після чого охолоджується та стискається в балони та йде на продаж.

## **1. Синтез бензоату натрію**

Мета: отримати бензоат натрію шляхом хімічної реакції між натрієм та бензойною кислотою. Натрій, бензойна кислота, азот та активоване вугілля у середовищі подаються в реактор, де відбувається реакція з утворенням бензоату натрію та водню. Синтез температури 90°C впродовж 1 години.

## **2. Відділення твердої фази**

Мета: відокремити бензоат натрію від активованого вугілля.

Неочищений бензоат натрію подається в резервуар, а потім сортується та відділяється використане активоване вугілля та чистий бензоат натрію. Параметри. Час сортування: 40 хвилин.

## **3. Сушіння бензоату натрію**

Мета: видалити зайву вологу для отримання сухого продукту. Відділений бензоат натрію подається в стрічкову сушарку, де відбувається сушіння.

Процес відбувається при температурі 100°C впродовж 40 хвилин.

## **4. Подрібнення бензоату натрію**

Мета: отримати необхідний розмір часток для зручності використання та пакування. Висушений бензоат натрію подається в валкову дробарку, де подрібнюється до 0,5 мм впродовж 60 хвилин.

## **5. Просіювання бензоату натрію**

Мета: забезпечити відділення бензоату натрію, який не відповідає встановленим вимогам, а також усунути пилові фракції.

Подрібнений бензоат натрію за допомогою стрічкового транспортера подається на вібраційне сито з розміром комірки 0,5 мм.

У процесі вібраційного просіювання здійснюється ефективне розділення матеріалу: фракції, що відповідають вимогам, проходять через сито й направляються на подальші етапи; надмірно великі частинки та сторонні вclusions, які не відповідають критеріям якості, залишаються на ситі; пилові домішки, розмір яких менший за вказаний, відокремлюються та відводяться в окрему зону збору.

## **6. Пакування готового продукту**

Мета: забезпечити зручне та безпечне транспортування і зберігання. Подрібнений бензоат натрію подається на стіл пакування, де фасується у пакети по 1 кг.

## **7. Фільтрування газової суміші**

Мета: Видалити тверді частинки та залишки азоту для безпечного використання водню. Водень проходить через, скруббер Вентурі де проходить очищення та виділення чистого водню на стадію зрідження водню.

Параметри: Час фільтрування 20 хвилин,  $d=20$  мкм

## **8. Зрідження водню**

Мета: Підготувати очищений водень для подальшого зберігання. Очищений водень, охолоджується в теплообміннику. Вхідна температура:  $90^{\circ}\text{C}$ . Температура охолодження:  $15-25^{\circ}\text{C}$ . Час охолодження: 20 хвилин.

## **9. Дозування водню**

Мета: Підготувати водень для зберігання у балонах. Охолоджений водень стискається в компресорі при тиску 20 МПа та часу стискання 30 хвилин й упаковується в балони.

Принципова технологічна схема виробництва бензоат натрію зображена на рис.2.5.

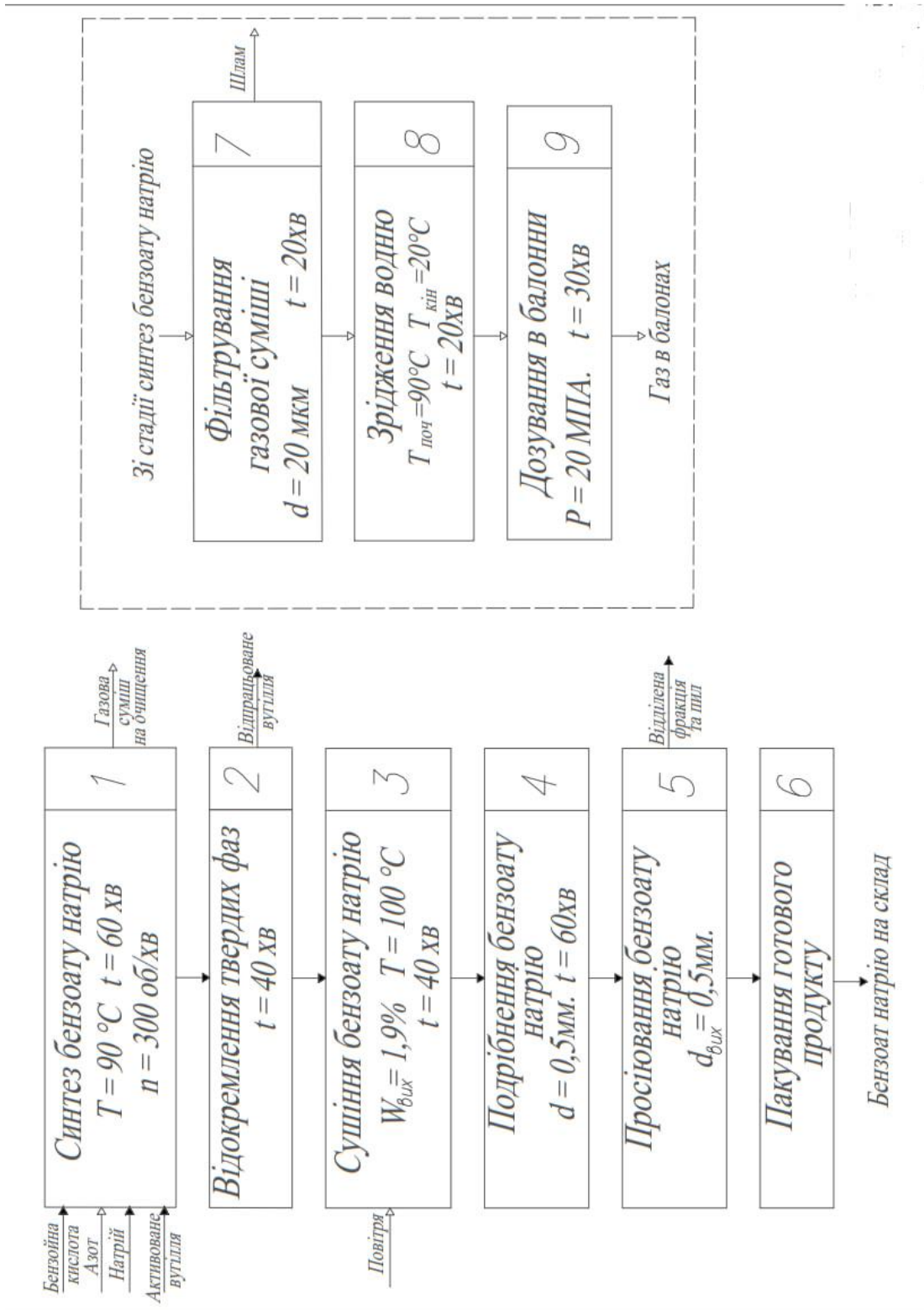


Рисунок 2.5 – Принципова технологічна схема виробництва бензоат натрію

## 2.3 Матеріальний баланс отримання бензоат натрію

### 1. Синтезу бензоату натрію

Для етапу змішування використовуються основні реагенти: бензойна кислота, натрій та активоване вугілля.

Втрати в процесі змішування складають 2%. Враховуючи наведені дані, за формулами (3.3)–(3.4) визначаємо маси реагентів, які можуть вступити в хімічну реакцію.

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 905,03 - 905,03 * 2 \% = 887,28 \text{ кг (2.1)}$$

$$m(\text{Na}) = 169,59 - 169,59 * 2 \% = 166,27 \text{ кг (2.2)}$$

$$m(\text{акт вугілля}) = 20 - 20 * 2 \% = 16 \text{ кг (2.3)}$$

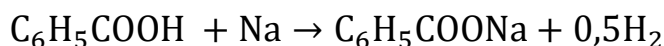
$$m(\text{азот}) = 70 - 70 * 2 \% = 68,6 \text{ кг}$$

Вміст домішок у складі технічного реагенту  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ , 0,1 %

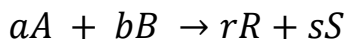
При виробництві необхідно враховувати конверсію реагентів, оскільки вона безпосередньо впливає на кількість компонентів, які вступають в хімічну реакцію та утворюють кінцевий продукт.

Конверсія реагентів становить 99,5% для  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  та 100% для Na.

Реакція для розрахунків:



1. Розраховуємо молярні маси учасників реакції за формулами (2.4) - (2.10):



$$aM_A \quad bM_b \quad rM_R \quad sM_S$$

$$aM_A = 1 * 122 \text{ кг/кмоль} = 122 \text{ кг/кмоль} \quad (2.4)$$

$$bM_B = 1 * 23 \text{ кг/кмоль} = 23 \text{ кг/кмоль} \quad (2.5)$$

Проводимо перевірку результатів за формулою:

$$rM_R = 1 * 144 \text{ кг/кмоль} = 144 \text{ кг/кмоль} \quad (2.6)$$

$$sM_S = 0,5 * 2 \text{ кг/кмоль} = 1 \text{ кг/кмоль} \quad (2.7)$$

Проводимо перевірку результатів за формулою:

$$122 \text{ кг/кмоль} + 23 \text{ кг/кмоль} = 144 \text{ кг/кмоль} + 1 \text{ кг/кмоль} \quad (2.8)$$

$$145 \text{ кг/кмоль} = 145 \text{ кг/кмоль}$$

Для виробництва 1069 кг бензоату натрію необхідно затратити 887,28 кг бензойної кислоти, 166,27 кг натрію та 16 кг активованого вугілля .

2. Знайдемо масу чистої бензойної кислоти за формулою (2.9), знаючи масу технічного реагенту  $C_6H_5COOH$

$$m'_{C_6H_5COOH} \frac{\frac{m''_{C_6H_5COOH}}{100\%}}{100\% - \omega_{\text{дом.}}}}{100\%} = \frac{m''_{C_6H_5COOH} * (100\% - \omega_{\text{дом.}C_6H_5COOH})}{100\%} \quad (2.9)$$

$$m'_{C_6H_5COOH} = \frac{887,28 * (100 - 0,1)}{100} = 886,39 \text{ кг}$$

3. Визначаємо масу домішок технічного реагенту  $C_6H_5COOH$  за формулою (2.10):

$$\Delta m''_{C_6H_5COOH} = m''_{C_6H_5COOH} - m'_{C_6H_5COOH}$$

$$\Delta m''_{C_6H_5COOH} = 887,28 - 886,39 = 0,89 \text{ кг}$$

4. Визначаємо стехіометричну кількість реагенту за формулою (2.11)

$$m_{C_6H_5COOH} = \frac{m'_{C_6H_5COOH}}{1} = X_{C_6H_5COOH} * m'_{C_6H_5COOH} \quad (2.11)$$
$$\overline{X_{C_6H_5COOH}}$$

$$m_{C_6H_5COOH} = 0,995 * 886,39 = 881,96 \text{ кг}$$

5. Розраховуємо масу непрореагованого залишку реагента  $C_6H_5COOH$  за формулою (2.12)

$$\Delta m'_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}} = m'_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}} - m_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}} \quad (2.12)$$

$$\Delta m'_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}} = 886,39 - 881,96 = 4,4 \text{ кг}$$

Розрахунки стосовно продукту  $\text{H}_2$

6. Знайдемо стехіометричну кількість продукту  $\text{H}_2$  за формулою (2.13):

$$m_{\text{H}_2} = \frac{sM_{\text{H}_2} \cdot m_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}}}{rM_{\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}}} \quad (2.13)$$

$$m_{\text{H}_2} = \frac{0,5 \cdot 2 \text{ кг/кмоль} \cdot 1069 \text{ кг}}{1 \cdot 144 \text{ кг/кмоль}} = 7,42 \text{ кг}$$

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці 2.1.

**Таблиця 2.1.**— Матеріальний баланс стадії змішування компонентів

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Бензойна кислота	905,03	Неочищена суспензія бензоату натрію	1 063,87
Підготовлений натрій	169,59	Газова суміш	81,42
Активоване вугілля	20	Втрати	23,29
Азот	70		
<b>Сума</b>	<b>1164,62</b>	<b>Сума</b>	<b>1164,62</b>

## 2. Відділення твердої фази

На стадію відділення твердої фази надходить неочищена суспензія бензоату натрію, що складається з:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}) = 1063,87 \text{ кг}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}) = 4,4 \text{ кг}$$

$$m(\text{акт вугілля}) = 16 \text{ кг}$$

$$m(\text{домішки}) = 0,89 \text{ кг}$$

Розраховуємо втрати неочищеної суспензії за формулою (2.14)

$$m_{\text{втраг}}(\text{неочищ. суспен}) = 1164,62 * 7,5 \% = 81,52 \text{ кг}$$

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці 2.2

**Таблиця 2.2** — Матеріальний баланс відділення твердої фази

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Неочищена суспензія бензоату натрію	1164,62	Відділений натрій бензоат	1 063,87
		Розчин акт вугілля на утилізацію	12,8
		Втрати	81,52
<b>Сума</b>	1164,62	<b>Сума</b>	1164,62

### 3. Сушіння бензоату натрію

Склад відділеного натрій бензоату, що надійшов на сушіння складається з:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}) = 1060,67 \text{ кг}$$

$$m(\text{акт вугілля}) = 3,2 \text{ кг}$$

Усього - 1 063,87кг

На цій стадії висушується 3,2 кг акт вугілля, який залишився у складі відділеного натрій бензоату

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці 2.3

**Таблиця 2.3—Матеріальний баланс сушіння бензоату натрію**

<b>Прихід</b>		<b>Витрати</b>	
<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>
Відділений натрій бензоат	1060,67	Бензоат натрію	1041,03
		Випарене активоване вугілля	3,2
		Втрати	16,44
<b>Сума</b>	<b>1060,67</b>	<b>Сума</b>	<b>1060,67</b>

#### 4. Подрібнення бензоату натрію

На стадію подрібнення надходить 1041,03 кг бензоату натрію. Під час цього процесу враховуються втрати, які становлять 1,5% від маси подрібнюваного матеріалу та розраховуються за формулою (2.15).

$$m(\text{втрат}) = 1041,03 * 1,5\% = 15,62\text{кг}$$

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці 2.4

**Таблиця 2.4 — Матеріальний баланс стадії подрібнення бензоату натрію**

<b>Прихід</b>		<b>Витрати</b>	
<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>
Відділений натрій бензоат	1041,03	Подрібнений бензоат натрію	1025,41
		Втрати	15,62
<b>Сума</b>	<b>1041,03</b>	<b>Сума</b>	<b>1041,03</b>

## 5. Просіювання бензоату натрію

На стадію просіювання надходить 1025,41 кг подрібненого бензоату натрію. Метою цієї стадії є відокремлення порошку, який не відповідає вимогам якості.

В процесі просіювання відділяється 10,25 кг бензоату натрію, що не відповідає вимогам. Решта 1005 кг просіяного бензоату натрію надходить на пакування.

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці 2.5

**Таблиця 2.5** — Матеріальний баланс просіювання бензоату натрію

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Подрібнений бензоат натрію	1025,41	Просіяний бензоат натрію	1015,16
		Втрати	10,25
<b>Сума</b>	<b>1025,41</b>	<b>Сума</b>	<b>1025,41</b>

## 6. Пакування готового продукту

На етап пакування надходить 1015,16 кг просіяного бензоату натрію

Під час пакування враховуються втрати, які визначаються за формулою (2.16) і складають 0,5% від загальної маси продукту.

$$m(\text{втрат}) = 1015,16 * 1,5\% = 15,16 \text{ кг}$$

За формулою (2.16) розраховуємо масу упакованого продукту:

$$m(\text{упакованого продукту}) = 1015,16 - 15,16 = 1000 \text{ кг}$$

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці 2.6

**Таблиця 2.6—Матеріальний баланс стадії пакування готового продукту**

<b>Прихід</b>		<b>Витрати</b>	
<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>
Просіяний бензоат натрію	1015,16	Упакований бензоат натрію	1000
		Втрати	15,16
<b>Сума</b>	<b>1015,16</b>	<b>Сума</b>	<b>1015,16</b>

**Таблиця 2.7—Зведена таблиця матеріального балансу виробництва бензоату натрію**

<b>Прихід</b>		<b>Витрати</b>	
<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>
Бензойна кислота	905,03	Упакований бензоат натрію	1000
Підготовлений натрій	169,59	Газова суміш	81,42
Активоване вугілля	20	Розчин активованого вугілля на утилізацію	12,8
Азот	70	Втрати	74,39
<b>Всього</b>	<b>1 164,62</b>	<b>Всього</b>	<b>1 164,62</b>

## 6. Очищення водню

На етап охолодження надійшло 7,42 кг водню. Втрати в процесі очищення становлять 1%, звідси за формулою (2.17) розраховуємо масу водню, що надійде в подальше виробництво:

$$m(\text{H}_2) = 7,42 - 7,42 * 1\% = 7,35 \text{ кг}$$

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці 2.17

**Таблиця 2.17**—Матеріальний баланс очищення водню

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Водень	7,35	Очищений водень	7,28
		Втрати	0,0735
<b>Сума</b>	<b>7,35</b>	<b>Сума</b>	<b>7,35</b>

## 7. Охолодження водню

На етап охолодження надійшло 7,28 кг очищеного водню. Втрати в процесі охолодження становлять 0,25%, звідси за формулою (2.18) розраховуємо масу водню, що надійде в подальше виробництво:

$$m(\text{H}_2) = 7,28 - 7,28 * 0,25\% = 7,26 \text{ кг}$$

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці 2.18

**Таблиця 2.18**—Матеріальний баланс стадії охолодження водню

<b>Прихід</b>		<b>Витрати</b>	
<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>
Водень	7,28	Охолоджений водень	7,26
		Втрати	0,0182
<b>Сума</b>	<b>7,28</b>	<b>Сума</b>	<b>7,28</b>

## 8. Компресія водню

На стадію компресії надійшло 7,26 кг охолодженого водню. Втрати в процесі очищення становлять 2,25%, звідси за формулою (2.19) розраховуємо масу водню, що буде компресовано::

$$m(\text{H}_2) = 7,26 - 7,26 * 2,25\% = 7,1 \text{ кг}$$

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці

**Таблиця 2.19** —Матеріальний баланс стадії компресії водню

<b>Прихід</b>		<b>Витрати</b>	
<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Речовина</b>	<b>Маса, кг</b>
Охолоджений водень	7,26	Водень в балонах	7,1
		Втрати	0,163
<b>Сума</b>	<b>7,26</b>	<b>Сума</b>	<b>7,26</b>

Матеріальний баланс розраховано за допомогою відповідної літератури [22]

## 2.4 Підбір основного технологічного обладнання

Підприємство працює 8 годин. Із них шість годин відведено на безперервну роботу виробничої лінії, решта дві години призначені для підготовки обладнання.

Обладнання обиралося за такими критеріями

- Оптимізація ресурсів: Розгляд вартості володіння, рівня споживання енергії та компактності конструкції як ключових факторів для раціонального використання бюджету та простору.
- Комфорт та захист у роботі: Пріоритетність легкості керування та безпеки взаємодії з устаткуванням на всіх етапах – від запуску до планового обслуговування.
- Потенціал та результативність: Оцінка широти функціонального призначення та спроможності забезпечувати високі показники виробничої потужності.

Хімічний реактор – це замкнена ємність, у якій відбувається хімічна реакція. Розробники процесу повинні переконатися, що реакція протікає якомога ефективніше до отримання цільового продукту, що призводить до найкращого виходу, потребуючи при цьому найменших коштів на купівлю та експлуатацію. Споживання енергії, утилізація енергії, вартість сировини, робоча сила та інші витрати є частиною звичайних операційних витрат.

Реактор періодичної дії - це реактор неперервної дії, що складається з закритих ємностей, в яких відбуваються реакції. Спочатку всі реагенти додаються в реактор одночасно. Реактори періодичної дії зазвичай мають мішалку, яка ретельно перемішує реагенти для виконання реакції і ефективного синтезу продукту. Характер реактора періодичної дії залишається досить однорідним завдяки перемішуванню. Це означає, що ступінь перетворення не залежить від розташування реактора. Ступінь реакції в будь-якій частині реактора залишається однаковою в будь-який момент часу.[23]



Рисунок 2.6. Реактор для синтезу бензоат натрію

1 – Двигун (опціонально: вибухозахищений); 2 – Кришка резервуара з 9 отворами; 3 – Рубашковий реактор; 4 – Зливний клапан; 5 – Конденсатор зі спіраллю; 6 – Труба зворотного потоку; 7 – Шафа керування (опціонально: вибухозахищена) ; 8 – Приймальний резервуар; 9 – Рама-основа

Фільтрування — це процес розділення суспензій за допомогою пористих фільтрувальних перегородок, що пропускають рідку фазу і затримують тверді частинки, утворюючи шар осаду. Від правильного вибору фільтрувальної перегородки залежать якісні й кількісні показники роботи фільтрів.

У харчовій промисловості використовують багато конструкцій фільтрів періодичної і безперервної дії.[24]

Принцип дії кожухотрубного теплообмінника:

Кожухотрубні теплообмінники можуть бути двох типів: Н -нерухомими трубними решітками: К з лінзовим компенсатором різних температурних подовжень кожуха і труб, Найбільша допустима різниця температур кожуха і труб для апаратів типу Н може становити 20...60 К залежно від матеріалу кожуха й труб, тиску в кожусі та його діаметраи.[25]

Теплообмінники можуть бути встановлені горизонтально або вертикаль без них у міжтрубному просторі, у трубному просторі, а перегородками або

Труби, кожух та інші елементи конструкції виготовляють із вуглецевої або пержавійної сталі, а для конденсаторів також із міді чи латуні. Стандартний двоходовий у трубному просторі кожухотрубний теплообмінник зображено на рисунку 2.7



Рисунок 2.7. Кожухотрубний теплообмінник

Стрічкові сушарки застосовують для сушіння хліба, макаронних виробів, овочів, фруктів, крохмалю. Основний елемент стрічкової сушарки горизонтальна нескінченна стрічка, що рухається в сушильній камері.

Стрічка, виконана з пористого матеріалу (тканини, металевої сітки), натягнута між ведучим і веденим барабанами.

В однострічковій сушарці матеріал надходить на один кінець стрічки і виходить з іншого, у багатострічковій він безперервно подається на верхню стрічку і пересипається потім з однієї стрічки на іншу, завдяки чому поліпшується його контакт із повітрям.

Переміщення повітря і матеріалу в стрічкових сушарках може бути прямотечіним і протитечіним, але найчастіше використовується перехресний потік, коли повітря проходить перпендикулярно до площини стрічки: вгору або вниз.

Між холостою і робочою гілками стрічки встановлюють калорифер для проміжного підігрівання повітря (у багатострічкових сушарках).[26]

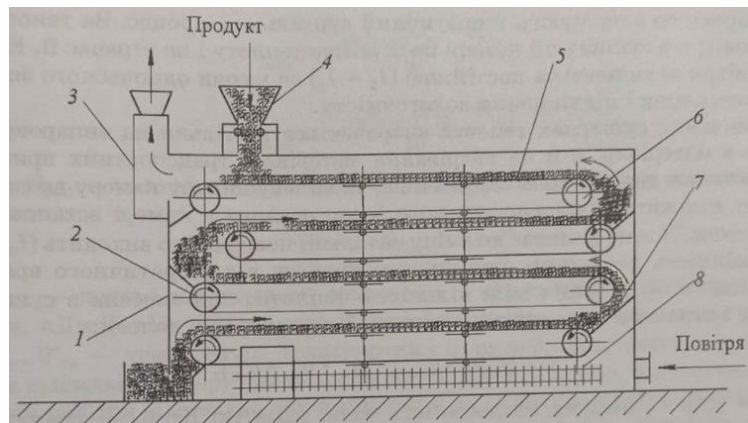


Рисунок 2.8. Будова стрічкової сушарки

1 — каркас сушарки; 2, 6 — ведений і ведучий барабани; 3 — відвідний канал відпрацьованого повітря; 4 — завантажувальний пристрій; 5 — стрічка; 7 — напрямні; 8 — паровий калорифер

## 2.5. Опис апаратурно-технологічної схеми

Активоване вугілля потрапляє на шнековий транспортер (1) надходить у реактор (2), туди також подається натрій та бензойна кислота. Азот та водень виходять через боковий патрубок на очищення. Через низ реактора виходить бензоат натрію.

Неочищений бензоат натрію шнековий транспортер (3) подається до резервуара (4), а з нього шнековим транспортером (5) до сортувальної машини (6), де відділяється вугілля, а відділений бензоат натрію подається до стрічкової сушарки (7).

Висушений бензоат натрію надходить стрічковим конвеєром (8) до валкової дробарки (9). Подрібнений бензоат натрію стрічковим конвеєром (10) надходить до вібраційного сита (11), де відділяється бензоат натрію, що не відповідає вимогам, а також пилова фракція.

Просіяний бензоат натрію стрічковим транспортером (12) надходить до пакувальної машини (13).

Неочищенні гази водень та аміак подаються у скруббер Вентурі (14), очищений водень йде на охолодження в теплообмінник (15), після чого компресором (16) пакується у балони на продаж.

Апаратурно – технологічна схем виробництва бензоат натрію наведена на рис. 2.9.

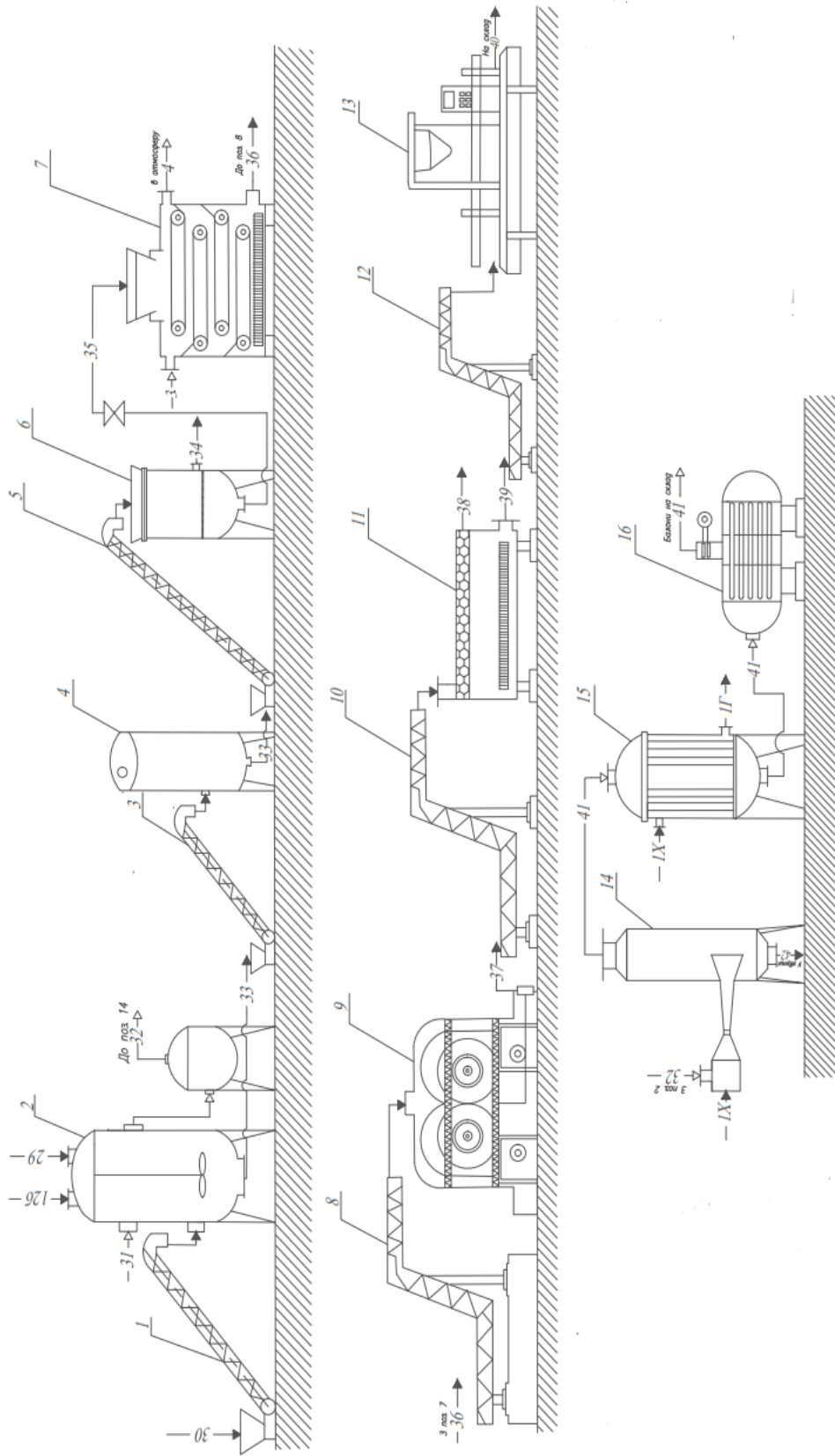


Рисунок 2.9. Апаратурно – технологічна схем виробництва бензоат

## 2.6 . Розрахунок стрічкової сушарки

Розрахунок стрічкової сушильної установки

З розрахованого матеріального балансу визначають продуктивність сушарки і кількість вологи, що виділяється.

Продуктивність сушарки  $G_2$  кг/год, по висушеному матеріалу за відомої початкової маси матеріалу  $G_1$  кг/год , розраховують за формулою 2.1:

$$G_2 = G_1 \times \frac{100 - w_1}{100 - w_2}$$

Продуктивність по сирому матеріалу розраховують за формулою 2.2:

$$G_1 = G_2 \times \frac{100 - w_2}{100 - w_1}$$

де,  $w_1$  – початкова вологість продукту, %  $w_2$  – кінцева вологість продукту, %.  
 $w_1=5$  %,

$w_2=0,3$  %.

Кількість випаровуваної вологи розраховується по формулі 2.3:

$$W = G_1 - G_2$$

Її можна розрахувати також за одним із рівнянь 2.4 та 2.5:

$$W = G_1 \times \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2}$$

$$W = G_2 \times \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1}$$

Розрахунок продуктивності сушарки по сировині:

$$G_1 = G_2 \times \frac{100 - w_2}{100 - w_1} = 150 \times \frac{100 - 0,3}{100 - 5} = 157,42 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

$$W = G_1 - G_2 = 157,42 - 150 = 7,42 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = 0,00206 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Волога в стрічкових сушарках випаровується по зонам нерівномірно. При цьому максимальна кількість вологи видаляється з перших по ходу надходження матеріалу стрічок. На підставі даних про експлуатацію стрічкових сушарок приймемо наступний розподіл випареної вологи по зонам, починаючи з першої стрічки зверху: I-0.35, II-0.32, III – 0.25, IV – 0,08.

Знаючи загальну кількість випареної вологи, розрахуємо кількість вологи, що видаляється при сушінні в кожній зоні (номера зон визначені в напрямку надходження повітря)

$$W_1 = 7,42 \times 0,35 = 2,60 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

$$W_2 = 7,42 \times 0,32 = 2,37 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

$$W_3 = 7,42 \times 0,25 = 1,86 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

$$W_4 = 7,42 \times 0,08 = 0,59 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

### Конструктивний розрахунок апарату

Розраховуємо робочу довжину стрічки за формулою 2.6:

$$S = \frac{G_2 \times t}{\rho_n \times f}$$

де  $t$  – час сушіння на стрічці, тобто  $t_1 = 0.5$  год.,  $t_2 = 0.5$  год.,  $t_3 = 2$  год.,  $t_4 = 4$  год.

$\rho_n$  – насипна густина висушеного продукту,  $\rho_n = 1,330 \text{ г/см}^3 = 1330 \text{ кг/м}^3$

$f$  – площа поперечного перерізу висушеної речовини матеріалу на стрічці розраховується за формулою 2.7:

$$f = b \times h \quad (2.7)$$

де  $b$  – ширина шару,  $b = 0,9 \times B_s - 0,05 = 0,9 \times 1,0 - 0,05 = 1,2 \text{ м}$  ( $B_s$  – ширина конвеєрної стрічки, по стандарту приймаємо 1,2 м)

$h$  – висота шару,  $h = 0,040 \text{ м}$ .

$$S = \frac{150 \times 7}{0,048 \times 1330} = 16 \text{ м}$$

$$S = \frac{16}{4} = 4 \text{ м}$$

Розраховуємо швидкість руху стрічок по формулі:

Для першої стрічки швидкість розраховується за формулою 2.8:

$$\vartheta_1 = \frac{S}{\tau} = \frac{4}{0,5} = 8 \frac{\text{м}}{\text{год}} \quad (2.8)$$

Відповідно  $\vartheta_2 = 8 \text{ м/год.}$ ,  $\vartheta_3 = 2 \text{ м/год.}$ ,  $\vartheta_4 = 1 \text{ м/год}$

Довжина сушильної камери розраховується за формулою 2.9:

$$l_k = S_0 + d + r = 4 + 0,246 + 0,6 = 4,85 \text{ м} \quad (2.9)$$

де  $S_0$  – відстань між центрами барабанів, що ж дорівнює довжині стрічки  $d$  – діаметр барабана

$r$  – зміщення стрічок відносно одна одної та відстань барабанів до стінок сушильної камери (приймаємо за 0,6 м.).

Виходячи із ширини стрічки та відстані від стрічки до стінки камери знаходимо ширину камери за формулою 2.10:

$$b_k = B_s + 2 \times 0,05 = 1,2 + 2 \times 0,05 = 1,3 \text{ м.} \quad (2.10)$$

При розрахунку висоти камери  $h_k$  за формулою 2.11 відстань між барабанами приймається 0,15 м, між барабаном і стелею 0,27 м, між барабаном і полом 0,3 м.

$$h_k = 0,246 \times 4 + 0,15 \times 3 + 0,3 + 0,027 = 2 \text{ м} \quad (2.11)$$

Розрахунок основних параметрів вологого повітря

До основних параметрів вологого повітря відносять:

Температура  $t, ^\circ\text{C}$

Відносна вологість повітря  $\varphi, \%$

Питомий вологовміст повітря  $x, \text{ кг/кг}$

Ентальпія  $I, \text{ кДж/кг}$

Температура і відносна вологість на вході в калорифер:

Температура  $t_0 = 10^\circ\text{C}$

Відносна вологість  $\varphi_0 = 82\%$ .

Питомий вологовміст повітря розраховується по формулі 2.12:

Довжина 3.5 м

$$x = 0,622 \times \frac{\varphi \times P_n}{B - \varphi \times P_n}$$

де 0,622 – відношення мольних мас водяної пари та повітря,

$P_n$  - тиск насиченої водяної пари при даній температурі повітря, Па, приймаємо  $P_n = 2330$  Па при  $t_0=20^\circ\text{C}$

$B$  – барометричний тиск повітря, Па (приймається 99100 Па) Питомий вологовміст повітря на вході в калорифер:

$$0,622 \times \frac{0,4 \times 2330}{99100 - 0,4 \times 2330} = 0,006$$

Так як підігрів повітря в калорифері відбувається при незмінному вологовмісту, то питомий вологовміст повітря на вході в калорифер такий же, як і на вході в сушильну камеру:

$$x_1 = x_0 = 0,006 \text{ кг/кг}$$

Ентальпія вологого повітря представляє собою суму ентальпій сухого повітря та водяної пари, що приходиться на 1 кг сухого повітря та розраховується за формулою 2.13:

$$I = C_{с.в.} \times t + x \times i \quad (2.13)$$

де  $C_{с.в.}$  – середня питома теплоємність сухого повітря (при  $t < 200^\circ\text{C}$   $C_{с.в.} = 1,004$  кДж/(кг·К)

$t$  – температура вологого повітря  $^\circ\text{C}$ ,

$x$  – питомий вологовміст повітря кг/кг

$i_n$  – питома ентальпія перегрітого пара кДж/кг за формулою 2.14:

$$i = r_0 + c_n \times t \quad (2.14)$$

де  $r_0$  – питома теплота пароутворення води (при  $0^\circ\text{C}$   $r_0 = 2500$  кДж/кг),  $c_n$  – середня питома теплоємність водяної пари  $c_n = 1,842$  кДж/(кг·К) Ентальпія повітря на вході в калорифер:

$$I_0 = 1,004 \times 10 + 0,006 \times (2500 + 1,842 \times 10) = 25,15 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Ентальпія повітря на виході із калорифера:

$$I_1 = 1,004 \times 100 + 0,006 \times (2500 + 1,842 \times 100) = 116,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Для наглядної перевірки розглядаємо процес сушіння на I-x діаграмі. За станом зовнішнього повітря  $t_0$  і  $\varphi_0$  на діаграмі знаходимо точку А і відповідні їй тепловміст  $I_0$  і вологовміст  $x_0$ .

Нагрівання повітря в калорифері відбувається при постійному вологовмісті ( $x_0 = 0,006$  кг / кг) до температури  $t_1$  (точка В, з наступною температурою  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  і відносною вологістю  $w_2 \approx 0,82\%$ , ентальпія  $I_1 = 25,15$  кДж / кг). За температури повітря на виході з сушарки  $t_2$  знаходимо точку С закінчення теоретичного сушильного процесу і значення  $x_2 = 0,021$  кг/ кг з температурою  $t_2 = 60^\circ\text{C}$  (відповідно до діаграми).

Виходячи з балансу вологи кожної зони розподіл перепаду вологовміст повітря по зонах приймаємо пропорційною до кількості випареної вологи в зоні:

$$\Delta 1 = \frac{x_2 - x_0}{W} \times W_1 = \frac{0,032 - 0,006}{17,35} \times 6,07 = 0,009 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

$$\Delta 2 = \frac{0,032 - 0,006}{17,35} \times 5,55 = 0,008 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

$$\Delta 3 = \frac{0,032 - 0,006}{17,35} \times 4,34 = 0,006 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

$$\Delta 4 = \frac{0,032 - 0,006}{17,35} \times 1,38 = 0,0020 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

Тоді:

$$x_2^1 = x_2 - \Delta 1 = 0,032 - 0,009 = 0,023 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

$$x_2^2 = x_2 - \Delta 2 = 0,032 - 0,008 = 0,024 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

$$x_2^3 = x_2 - \Delta 3 = 0,032 - 0,006 = 0,026 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

$$x_2^4 = x_2 - \Delta 4 = 0,032 - 0,0020 = 0,03 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

Питомі витрати теплоти на нагрів повітря у кожній зоні розраховується за формулою 2.17:

$$q_{\text{кал}} = \frac{I_1 - I_0}{d_2 - d_1} \quad (2.17)$$

де  $I_1, I_0$  – ентальпія повітря відповідно на вході та виході із калорифера кожної зони, кДж/кг,

$d_2, d_1$  – вологовміст повітря на вході та виході із певної зони сушильної камери, г/кг

$$q_1 = \frac{(118 - 115) \times 1000}{21 - 17,3} = \frac{810 \text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_2 = \frac{(115 - 105) \times 1000}{17,3 - 11,9} = 2000 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_3 = \frac{(105 - 76) \times 1000}{11,9 - 6} = 4833 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_4 = \frac{75 \times 1000}{6} = 12500 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Загальний баланс теплоти по зонам розраховується за формулою 2.18:

$$Q = q \times W \quad (2.18)$$

$$Q_1 = 810 \times 6,07 = 4916,7 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$$

$$Q_2 = 2000 \times 5,55 = 11100 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$$

$$Q_3 = 4833 \times 4,34 = 20975,22 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$$

$$Q_4 = 12500 \times 1,38 = 17250 \frac{\text{кДж}}{\text{год}}$$

Загальні витрати теплоти у сушильній установці  $Q=54241,92$  кДж/год.

## Розрахунок витрат повітря у сушильній установці

Питомі витрати абсолютно сухого повітря розраховується за формулою 2.19:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{0,032 - 0,006} = 38,46 \text{ кг повітря на кг води (2.19)}$$

$$L = W \times l = 285,4 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = 0,0793 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \text{ (2.20)}$$

Середня температура повітря у сушильній камері розраховується за формулою 2.21:

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{160}{2} = 80^\circ\text{C}$$

Середній вологовміст повітря у сушильній камері розраховується за формулою 2.22:

$$X_{\text{сер}} = \frac{x_2 + x_0}{2} = \frac{0,032 + 0,006}{2} = 0,019 \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \text{ (2.22)}$$

Середня об'ємна продуктивність по повітря розраховується за формулою 2.23:

$$V = L \times \vartheta_{\text{пит}} = 0,0793 \times 1,07 \times 3600 = 305,5 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \text{ (2.23)}$$

де  $\vartheta_{\text{пит}}$  - питомий об'єм вологого повітря, що припадає на 1 кг абсолютно сухого повітря, м<sup>3</sup> / кг.

Питомий об'єм вологого повітря розраховується за формулою 2.24:

$$\vartheta_{\text{пит}} = \frac{R_B \times T}{B - \varphi \times P_H} \text{ (2.24)}$$

де  $R_B$  – газова постійна для повітря 287 Дж/(кг К);

$T$  – абсолютна температура повітря К, що дорівнює 2.25

$$T = t_{\text{сер}} + 273 \text{ (2.25)}$$

$$T = 80 + 273 = 353\text{К}$$

$$\vartheta_{\text{пит}} = \frac{287 \times 353}{99100} \times (1 + 1.608 \times 0.019) = 1,07 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

## Тепловий розрахунок апарату

Розрахунок для сушильної камери з подальшим розподілом теплоти по зонам сушарки розраховується за формулою 2.26:

$$\Delta_{\text{заг}} = 4,2 \times \theta - q_{\text{м}} - (q_{\text{ст}} + q_{\text{пот}} + q_{\text{пол}}) \quad (2.26)$$

де  $\theta$  - температура продукту на вході в сушильну камеру, приймаємо  $\theta = 20^{\circ}\text{C}$ ;

$q_{\text{м}}$  - питомі витрати теплоти на нагрівання, кДж / кг;

$q_{\text{ст}}$  - питомі витрати теплоти на бічні і торцеві стінки камери, кДж / кг;

$Q_{\text{пот}}$  - питомі втрати теплоти через стелю, кДж / кг;  $Q_{\text{пол}}$  - питомі втрати теплоти через підлогу, кДж / кг

Розрахуємо питомі витрати теплоти на нагрівання продукту в сушильній камері за формулою 2.27:

$$q_{\text{м}} = \frac{G_k \times C''_{\text{м}} \times (\theta_2 - \theta_1)}{W}$$

Де  $C''_{\text{м}}$  - питома теплоємність висушеної добавки розраховується за формулою:

$$C''_{\text{м}} = \frac{C_w \times w_2 + C_{\text{м}}(100 - w_2)}{100} = \frac{4,19 \times 0,3 + 2,16(100 - 0,3)}{100} = 2,17 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ К} \quad (2.28)$$

$c_w$  - питома теплоємність води,  $c_w = 4,19$  кДж / кг · К,;

$c_{\text{м}}$  - питома теплоємність абсолютно сухого матеріалу,  $c_{\text{м}} = 1,91$  кДж / кг · К;

$\theta_1$  - температура матеріалу на вході в сушильну камеру, приймаємо  $\theta_1 = 10^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_2$  - температура матеріалу на виході з камери, приймаємо  $\theta_2 = 45^\circ\text{C}$

$$q_m = \frac{150 \times 2,17 \times 35}{7,42} = 15 \text{ кДж/кг}$$

Визначимо питомі витрати теплоти на бічні і торцеві стінки камери за формулою 2.29:

$$q_{\text{ст}} = \frac{K \times F_{\text{ст}} \times \Delta t_{\text{ср}} \times 3600}{W \times 100} \quad (2.29)$$

де  $K$  - коефіцієнт теплопередачі через стіни, підлогу, стелю, Вт / (м<sup>2</sup> · К);

$F_{\text{ст}}$  - поверхня огороження (стін, підлоги, стелі), м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{\text{ср}}$  - середня різниця температур, між середньою температурою повітря  $t_{\text{ср}}$  в сушильній камері і температурою зовнішнього повітря  $t_{\text{н}}$ .

Коефіцієнт теплопередачі  $K$ , Вт / м<sup>2</sup> · град визначимо за формулою 2.30:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.30)$$

де  $\alpha_1$  - коефіцієнт тепловіддачі від повітря до внутрішньої поверхні сушильної камери, Вт / (м<sup>2</sup> · К);

$\alpha_2$  - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні камери до навколишнього повітря;

$\delta_i$  - товщина окремих шарів огороження камери, м;

$\lambda_i$  - коефіцієнт теплопровідності відповідного шару огорожі, Вт / (м · К)

Визначимо критерій Рейнолдса за формулою 2.31:

$$Re = \frac{\vartheta \times d}{\nu} \quad (2.31)$$

де  $\vartheta$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості

повітря, м<sup>2</sup>/с;  $\nu$  - швидкість руху повітря, м/с;

$d_e$  - еквівалентний діаметр камери в напрямку потоку, м

Еквівалентний діаметр камери в напрямку потоку повітря визначається з рівняння 2.32:

$$d_e = \frac{4 \times (l_k \times b)}{2 \times (l_k + b)} \quad (2.32)$$

$$d_e = \frac{4 \times (4,85 \times 1,3)}{2 \times (4,85 + 1,3)} = 1,025 \text{ м}$$

Швидкість переміщення повітря в сушильній камері розраховуємо виходячи з об'ємної витрати повітря по рівнянню нерозривності потоку:

$$f = l_k \times b \quad (2.33)$$

$$f = 4,85 \times 1,3 \times 0,5 = 3,15 \text{ м}^2$$

Вільний перетин для проходу повітря приймаємо рівним  $0,5f$  тоді:

$$v = \frac{L}{3600 \times f} \quad (2.34)$$

$$v = \frac{305,5}{3600 \times 3,15} = 0,027 \text{ м/с}$$

$$Re = \frac{0,027 \times 1,205}{21,2 \times 10^{-6}} = 1305$$

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_1$  розраховується:

$$Nu = 0,66 \times (Re)^{0,5} \quad (2.35)$$

$$Nu = 0,66 \times (1305)^{0,5} = 23,85$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu \times \lambda}{1,2} = \frac{23,85 \times 0,030}{1,025} = 0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (2.36)$$

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності повітря при середній температурі

Коефіцієнт тепловіддачі розраховується за рівнянням критерію Грастофа 2.37:

$$Gr = \frac{g \times h_k^3}{\nu^2} \times \left( \frac{T_{\text{сер}} - T_{\text{ств}}}{T_{\text{сер}}} \right) \quad (2.37)$$

$$Gr = \frac{9,81 \times 2,20^3}{(21,2 \times 10^{-6})^2} \times \left( \frac{353 - 333}{333} \right) = 1,33 \times 10^{11}$$

Температуру внутрішньої поверхні стінки приймаємо:  $T_{ст.в} = 333$

Значення коефіцієнтів кінематичної в'язкості і теплопровідності повітря приймаються при температурі:

$$t_{сер} = \frac{t_{сп} + t_{ст,в}}{2} = \frac{45 + 46}{2} = 45,5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.38)$$

$$Nu = 0,15 \times (Gr \times Pr)^{0.33} \quad (2.39)$$

$$Nu = 0,15 \times (9,20 \times 10^{10})^{0.33} = 67,6 \quad (2.40)$$

$$\ddot{\alpha}_1 = \frac{Nu \times \lambda}{h_k} = \frac{67,6 \times 0,030}{2} = 0,922 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (2.41)$$

$$\alpha_1 = 1,2 \times (\dot{\alpha}_1 + \ddot{\alpha}_2) = 1,2 \times 1,622 = 1,946 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (2.42)$$

Температуру зовнішньої поверхні стінки приймаємо  $t_{ст.н} = 28^\circ \text{C}$ ,  $t_{н} = 15^\circ \text{C}$ .  
Задають, що таку ж температуру має стінка цеху, протилежна стінці сушарки:  $t_{ст} = 10^\circ \text{C}$ .

Параметри повітря приймаються при середній температурі  $t_{н.сп} = 24^\circ \text{C}$ .  
Згідно з прийнятими умовами,  $T_{н.ст.} = 303\text{К}$   $T_{н} = 286\text{К}$ . Число Грасгофа:

$$Gr = \frac{9,81 \times 2^3}{(16,1 \times 10^{-6})^2} \times \left( \frac{303 - 286}{303} \right) = 4,9 \times 10^9$$

$$Nu = 0,15 \times (4,9 \times 10^9 \times 0,7)^{0.33} = 210$$

$$\ddot{\alpha}_2 = \frac{Nu \times \lambda}{h_k} = \frac{210 \times 2,6 \times 10^{-2}}{2} = 2,73 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (2.43)$$

$$\alpha_{л} = \frac{4,14 \times \left[ \left( \frac{303}{100} \right)^4 - \left( \frac{286}{100} \right)^4 \right]}{28 - 15} = 5,53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Приймаємо коефіцієнт випромінювання для стінок сушарки (пофарбована поверхня)  $c_1 = 4,5 \text{ Вт / м}^2\text{К}$ ; Для стінки цеху (штукатурка)  $c_2 = 5,33 \text{ Вт / м}^2\text{К}$ . З рівнянь отримаємо:

$$c_{1-2} = \frac{4,5 \times 5,33}{5,8} = 4,14 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

$$\alpha_2 = 2,73 + 5,53 = 8,23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Бокові та торцеві стінки стрічкової сушарки та двері представляють собою панелі, зібрані з двох сталевих листів товщиною 1 мм.

Простір між листами заповнено шаром ізоляції (мінеральною ватою) товщиною 10 мм.

Коефіцієнт теплопередачі для бічних і торцевих стінок розраховуємо за рівнянням:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{3,06} + \frac{0,001}{45,4} + \frac{0,01}{0,046} + \frac{1}{8,23}} = 1,173 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (2.44)$$

Тоді:

$$q_{\text{ст}} = \frac{K \times F_{\text{ст}} \times \Delta t_{\text{ср}} \times 3600}{W \times 1000} = \frac{1,78 \times 6,305 \times 70 \times 3,6}{7,42} = 381,4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (2.45)$$

Поверхня бокових та торцевих стін:

$$F_{\text{ст}} = 2(l_k \times h_k + b \times h_k) = 2(4,85 \times 2,20 + 1,3 \times 2,20) = 6,305 \text{ м}^2 \quad (2.46)$$

У верхній частині стрічкової сушарки монтуються дві витяжні камери, виконані з дерева або металу.

Ізоляцію витяжних камер і стелі приймаємо таку ж, як для стін сушарки. Виходячи з конструкції витяжних камер, поверхня стелі стрічкової сушарки складе 13 м<sup>2</sup>.

Щоб спростити розрахунок коефіцієнта теплопередачі, приймемо

знайдені раніше коефіцієнти тепловіддачі і, замінивши їх відповідно 30%:

$$\alpha_1 = 1,85 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}; \quad \alpha_2 = 1,89 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Тоді для стелі:

$$\alpha_1 = 1,2 \times (\dot{\alpha}_1 + \ddot{\alpha}_1) = 1,2 \times (2,14 + 1,85) = 4,78 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (2.47)$$

$$\alpha_2 = (\alpha_{\text{л}} + \ddot{\alpha}_2) = (1,89 + 5,53) = 7,42 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{4,78} + \frac{2 \times 0,001}{45,4} + \frac{0,01}{0,046} + \frac{1}{7,42}} = 1,78 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (2.48)$$

Питомі втрати теплоти через стелю:

$$q_c = \frac{K \times F_{\text{ст}} \times \Delta t_{\text{ср}} \times 3600}{W \times 1000} = \frac{1,78 \times 13 \times 31 \times 3600}{17,35 \times 1000} = 29,8 \text{ кДж/кг} \quad (2.49)$$

Питомі витрати теплоти через підлогу:

$$q_{\text{п}} = \frac{F \times t_0 \times 3600}{W \times 1000} = \frac{10 \times 10 \times 3600}{380 \times 1000} = 9,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Розподіл теплових втрат по зонам. Загальні втрати теплоти в сушильній установці знаходиться з рівняння:

$$\Delta_{\text{заг}} = 4,19 \times \theta - q_{\text{м}} - (q_c + q_{\text{с}} + q_{\text{п}}) \quad (2.51)$$

$$\Delta_{\text{заг}} = 4,19 \times 20 - 31,58 - (1,070 + 29,8 + 30,6) = -1,078,18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Питомі втрати теплоти на нагрів матеріалу відносимо до третьої зони. Сюди ж віднесемо втрати теплоти в навколишнє середовище через стелю. До першої зони відносимо втрати теплоти через підлогу. Теплоту, що вноситься в сушильну камеру з вологою матеріалу і втрачаємо в навколишнє середовище через бічні і торцеві стіни, розподілимо пропорційні кількості видаляється в кожній зоні вологи. Тоді:

$$\Delta IV = -55,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\Delta III = -269,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\Delta I I = -345 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\Delta I = -408 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

За даними розрахунками була представлена та накреслена стрічкова сушарка на рис.2.7.



## 2.7. Тепловий баланс сушіння бензоату натрію

На сушіння надходить 150,81 кг відділеного натрій бензоату у годину, що містить 0,5 кг акт вугілля.

Температура вологого гідроксиду, що поступає на сушіння  $T_m = 70^\circ\text{C}$ . В сушарці з бензоатом випаровується активоване вугілля  $W = 0,475$  кг/год

Із сушарки видаляється  $G_k = 145,71$  кг/год висушеного матеріалу при температурі  $T_{mk} = 90^\circ\text{C}$ .

Питома теплоємність бензоату натрію  $C_m = 1,5$  кДж/(кг·°C).

Теплоємність акт вугілля:  $1,15$  кДж/(кг·°C)

1. Кількість тепла для нагрівання бензоату натрію

$$Q_{\text{бензоат}} = G_k * C_m * (T_{mk} - T_m)$$

$$Q_{\text{бензоат}} = 145,71 * 1,15 * (90 - 70) = 3351,33 \text{ кДж}$$

2. Кількість тепла для нагрівання акт вуг:

$$Q_{\text{вугілля}} = W * C_{\text{вугілля}} * (T_{mk} - T_m)$$

$$Q_{\text{вугілля}} = 0,475 * 1,15 * (90 - 70) = 10,925 \text{ кДж}$$

3. Загальне тепло за одну годину:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{бензоат}} + Q_{\text{вугілля}}$$

$$Q_{\text{заг}} = 3351,33 + 10,925 = 3362,26 \text{ кДж}$$

Тоді за 7 годин необхідно затратити :  $3362,26 \text{ кДж} * 7 = 23535,785 \text{ кДж}$

$$6,5 \text{ кВт} + 10,52 \text{ кВт} = 17 \text{ кВт}$$

### РОЗДІЛ 3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

#### Дохід

Розрахунок доходу базується на вартості 1 кг натрій бензоату, яка становить 210 грн. Щоденний обсяг виробництва - 1000 кг.

Дохід від натрій бензоату =  $1000 * 210 = 210\ 000$  грн

Річний дохід =  $210\ 000$  грн/день\*360 днів= $75\ 600\ 000$  грн

Витрати на сировину

Для виробництва необхідна сировини – бензойна кислота, натрій та активоване вугілля . Витрати сировини на виробництво бензоату натрію наведені в таблиці 2.20.

**Таблиця 2.20.**—Витрати сировини на виробництво бензоату натрію

Назва сировини	Кількість сировини, кг	Вартість за кілограм, грн	Загальна вартість, грн
Бензойна кислота	905	109	98 645
Натрій	170	225	38 250
Активована не вугілля	20	150	3000
Азот	70	30	2 100
Сума			141 995

Витрати на пакування

Для пакування 1000 кг продукції використовуються пакувальні мішки по 1 кг

Ціна мішка 1 кг складає 2,34 грн.

Звідси витрати на пакування визначаємо за формулою (2.20):

Витрати на пакування =  $1000 * 2,34 = 2\ 340$  грн

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Косовець О.Ю.	Назва, додаткова назва Розділ 3. ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.064.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 20.02.2025	Мова ua	Аркуш 64/81

## Витрати на заробітні плати

На виробництві натрій бензоату працює 8 працівників. Перший працівник займається роботою на молотковій дробарці, де подрібнюється натрій. Другий працівник працює на реакторі, де відбувається хімічна реакція з бензойною кислотою та натрію.

Третій працівник відповідає за роботу на резервуарі та сортувальній машині, де відбувається відділення активованого вугілля та отримання чистого продукту. Четвертий працівник працює на сушарці, де висушується бензоат натрію.

П'ятий працівник також працює на молотковій дробарці, подрібнюючи вже висушений продукт. Шостий працівник займається пакуванням готового продукту. Два працівники відповідають за регенерацію водню, очищаючи його для подальшого використання.

Останній працівник займається контролем якості, перевіряючи готовий продукт на відповідність стандартам.

Зарплата кожного працівника на виробництві складає 24 000 грн на місяць

За формулою (2.21) визначаємо суму заробітних плат за день:

$$\frac{168\,000}{20} = 8\,400 \text{ гривень}$$

### Податки

ЄСВ для 8 працівників: 22% від мінімальної заробітної плати щомісячно, в 2024 році він складає 1760 грн. Для 8 працівників ця сума складає 14 080 гривень на місяць.

Для обчислення на день використовуємо формулу (2.22)

$$\text{ЄСВ на день} = \frac{14\,080}{20} = 704 \text{ грн на день}$$

Єдиний податок: 15 000 грн.

Військовий збір (1% від доходу): 2 100 грн.

Тоді визначаємо розмір загального податку за формулою (2.23):

Загальні податки = 15 000 + 2 100 + 704 = 17 804 грн.

## Комунальні затрати

Комунальні витрати для виробництва натрій бензоату становлять 1600 грн на місяць. Ці витрати охоплюють різні витрати на обслуговування виробничого процесу, зокрема електроенергію, водопостачання, опалення та утримання іншого обладнання, необхідного для безперебійної роботи виробництва.

Загальні витрати на день:

Підсумовуючи всі витрати на сировину, пакування, заробітні плати, податки та комунальні послуги, загальну суму витрат можна визначити за допомогою формули:

$$\text{Витрати} = 141\,995 + 2\,340 + 8\,400 + 17\,804 + 1\,600 = 172\,139 \text{ грн}$$

## Прибутковість

За формулами (2.24) - (2.25) визначаємо прибуток та рентабельність.

$$\text{Прибуток} = \text{Дохід} - \text{Витрати} = 210\,000 - 172\,139 = 37\,861 \text{ грн (2.24)}$$

$$\text{Рентабельність} = \frac{\text{Прибуток}}{\text{Дохід}} * 100\% = \frac{37\,861}{210\,000} * 100 = 18,02\% \text{ (2.25)}$$

**Таблиця 2.21**—Кошти на придбання обладнання

№	Назва устаткування	Оптова ціна тис.грн	Транспортування грн	Вартість монтажу грн	Первісна вартість грн
1	Реактор	420000	1100	900	500000
2	Стрічкова сушарка	120000	1200	1300	160000
3	Шнековий транспортер	15000	200	100	25000
4	Валкова дробарка	82000	550	300	95000

5	Резервуар	7500	300	200	10000
6	Стрічковий конвеєр	32000	300	400	40000
7	Вібраційне сито	10000	200	300	15000
8	Сортувальна машина	10000 0	100	150	120 000
9	Скрubber Вентурі	8000	100	120	10000
10	Компресор	10000	150	150	15000
11	Теплообмінник	15000	100	100	17000
12	Пакувальна машина	10000 0	200	200	110000
Всього					1117000

### Обрахунок на придбання устаткування

Капітальні витрати на автоматизацію, трубопроводи та інше обладнання приймаються в розмірі 15% від загальної вартості основного устаткування:

$$1117000 * 0.15 = 167550 (\text{тис. грн.})$$

Сума первісної вартості і капітальних витрат:

$$K_{\text{заг}} = 1117000 + 167550 = 1284550 (\text{тис. грн.})$$

$$K_{\text{заг}} = 1284550 (\text{тис. грн.})$$

Прийнято прямолінійний метод амортизації на 8 років:

Річна амортизація:

$$A_{\text{річна}} = \frac{1284550}{8} = 160568,75 \text{ грн}$$

$$A_{\text{на 1 тону}} = \frac{160568,75}{360} = 445,47 \text{ грн/день}$$

Період окупності:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{1284550}{37861 \times 360} = 1,13 \text{ місяця}$$

Розрахунок оборотного фонду на 5 днів:

Сировина (5 днів):

$$5 \text{ днів} \times 141995 = 709975 \text{ грн}$$

Незавершене виробництво ( $\approx 46\%$  від денних витрат):

$$0,46 \times 141995 = 65317 \text{ грн}$$

Енергоносії (5 днів):

$$5 \times 1600 = 8000 \text{ грн}$$

**Разом оборотний фонд:**

$$\Phi_{об} = 709975 + 65317 + 8000 = 783292 \text{ грн}$$

У процесі виробництва утворюється побічний продукт — **водень**, який після очищення та стиснення може бути реалізований.

Ринкова ціна технічного водню  $\approx 600$  грн/кг

$$\text{Дохід з водню за добу} = 7,1 \times 600 = 4\,260 \text{ грн}$$

$$\text{Річний дохід з водню} = 4\,260 \times 360 = 1\,533\,600 \text{ грн}$$

**Висновок :** Підсумуючи отримані результати , можемо побачити що виробництво економічно вигідне період окупності 1,3 місяця, а річний прибуток з додаткового продажу водню складає в рік 1 533 600 грн.

## РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Консерванти, зокрема бензоат натрію (E211), є критично важливими для запобігання мікробіологічного та ферментативного псування продуктів.

Відповідно до міжнародних стандартів Codex Alimentarius, а також специфікацій провідних виробників, процедура контролю якості бензоату натрію включає такі етапи: відбір проб, органолептичну оцінку, хімічний аналіз та визначення умов зберігання.

Відбір та підготовка проб

Відбір проб відповідає рекомендаціям Codex Alimentarius CAC/GL 50-2004 та специфікаціям виробників:

Миттєві проби: З кожної упаковки стерильним пробовідбірником відбирають проби з різних глибин (не менше 3/4 глибини тари). Маса кожної проби – до 100 г.

Сформована сумарна проба: Проби об'єднують у суху скляну або полімерну ємність, перемішують та ділять на дві частини (по 250 г). Одна частина направляється до лабораторії, друга – зберігається в герметичній тарі (18–25°C, вологість  $\leq 70\%$ ) до 2 років для повторного аналізу.[27]

Органолептична оцінка

Органолептичні властивості оцінюють за методикою Codex Alimentarius:

Зовнішній вигляд та колір: 50 г проби розсипають на білому аркуші паперу під розсіяним світлом (освітленість  $\geq 500$  лк). Стандартний бензоат натрію має бути білим кристалічним порошком без сторонніх включень, що підтверджують виробники [30].

Запах: Готують 2% водний розчин (2 г проби + 98 см<sup>3</sup> дистильованої води). Запах повинен бути відсутнім або слабким, не стороннім [28].

### Хімічний аналіз

Визначення масової частки основної речовини

Метод ґрунтується на кислотно-основному титруванні згідно з Європейською фармакопеею (Ph. Eur. 11.0) [29]:

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Косовець О.Ю.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ 4. ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.069.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 20.02.2025	Мова ua	Аркуш 69/81

*Реактиви:* 0.5 М розчин  $\text{HNO}_3$ , індикатор бромфеноловий синій.

*Процедура:* Наважку бензоату натрію ( $m = 0.5$  г) титрують  $\text{HNO}_3$  до переходу індикатора у жовтий колір.

*Розрахунок:*

$$W1 = V \cdot 0.07205 \cdot K \cdot 100m,$$

$$W1 = mV \cdot 0.07205 \cdot K \cdot 100,$$

*Допустимі значення:*  $\geq 99.0\%$  , що узгоджується з даними виробників

Умови зберігання та транспортування

Згідно з Codex Alimentarius та специфікаціями :

*Транспортування:* У закритих контейнерах, захищених від вологи та сонячного світла.

*Зберігання:* У оригінальній упаковці на дерев'яних піддонах у сухих складах ( $t = 10-30^\circ\text{C}$ , вологість  $\leq 70\%$ ).

*Термін придатності:* 24 місяці з дати виробництва.

### **Висновки**

Контроль якості бензоату натрію базується на міжнародних стандартах Codex Alimentarius та практиці провідних виробників .

Суворі умови зберігання ( $t = 10-30^\circ\text{C}$ , вологість  $\leq 70\%$ ) запобігають деградації речовини під час транспортування .

## РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.

Хімічна промисловість, зокрема виробництво харчових добавок, потребує підвищеної уваги до питань безпеки праці та екологічного захисту.

Одним із таких виробництв є синтез бензоату натрію — харчового консерванта з кодом E211.

Технологічний процес його отримання передбачає хімічну взаємодію бензойної кислоти з натрієвмісними реагентами, що супроводжується виділенням тепла та можливим утворенням парів, токсичних у високих концентраціях. Такий характер виробництва накладає особливі вимоги до систем охорони праці та екологічної безпеки.

### *Система охорони праці на підприємстві*

Служба охорони праці підприємства здійснює координацію всіх заходів, пов'язаних із запобіганням професійних ризиків та нещасних випадків. Основні завдання цієї служби включають:

- забезпечення працівників сертифікованими засобами індивідуального захисту (ЗІЗ);
- розробка та впровадження внутрішніх нормативних документів з безпеки праці;
- організація навчання та проведення інструктажів (вступного, первинного, повторного, цільового);
- медичний контроль — попередні та періодичні огляди;
- участь у введенні в експлуатацію нових об'єктів, перевірка робочих місць, аудит технологічних процесів. [31]

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Косовець О.Ю.	Назва, додаткова назва Розділ 5. ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.071.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 71/81

Всі працівники, допущені до роботи, зобов'язані пройти навчання, підтверджене протоколами інструктажів. Також персонал проходить щорічні перевірки знань з охорони праці.

Особливу увагу приділяють електробезпеці. Зважаючи на наявність парів розчинників та інших летких речовин, навіть короткочасне іскріння може стати джерелом займання. Тому всі електроустановки мають бути справними, заземленими та оглянутими відповідно до графіка.

Обслуговування здійснюють лише працівники з відповідною групою допуску. Робочі місця обладнані діелектричними килимками, рукавицями та інструментом з ізоляцією[33]

### ***Безпека в лабораторії***

На підприємстві діє лабораторія технологічного контролю, яка відповідає за аналіз сировини, проміжних і кінцевих продуктів. У лабораторії використовуються хімічні реактиви, органічні розчинники, кислотні й лужні середовища.

Для мінімізації ризиків отруєнь та вибухонебезпечних ситуацій:

- усі аналітичні роботи виконуються у витяжних шафах;
- приміщення обладнане аварійним душем, станцією промивання очей, вентиляцією, датчиками витоку газу;
- проводиться систематичний моніторинг мікроклімату та вмісту небезпечних речовин у повітрі.

Лаборанти проходять поглиблений інструктаж не рідше ніж раз на шість місяців.[32]

**Водень** :Категорія 1А: Надзвичайно легкозаймистий газ (H220)

Заходи з безпеки:

Тримати подалі від джерел запалювання (P210)

У випадку пожежі з витоком газу – не гасити, поки не буде можливості його безпечно зупинити (P381)

Захищати від сонця, зберігати у добре провітрюваному місці (P410 + P403)

### Бензойна кислота :

Подразнення шкіри категорія 2,серйозне пошкодження очей категорія1.Специфічна токсичність для певних органів (при неодноразовому впливі) – категорія 1 (шляхом інгаляції).

Відповідно до вказаної класифікації, речовина має такі фрази попередження (H-фрази):H315 – Спричиняє подразнення шкіри,H318 – Спричиняє серйозне пошкодження очей,H372 – Спричиняє пошкодження органів при тривалому або неодноразовому вдиханні.

**Бензоат натрія:**Категорія 2,H319 Спричиняє серйозне подразнення очей P280: Використовувати захисні рукавички/одяг/засоби захисту очей.

У разі потрапляння в очі: обережно промити водою протягом кількох хвилин. Зняти контактні лінзи, якщо є. Продовжити промивання.

**Азот: 2.2** (Незаймистий, нетоксичний газ),H280 Містить газ під тиском; може вибухнути при нагріванні. Може витіснити кисень та спричинити швидке задушення.

**Активоване вугілля :** Не класифіковано як небезпечну речовину, вибух пилу(концентрація $\geq 50\text{г/м}^3$ ), Подразнення дихальних шляхів при вдиханні



Рисунок 5.1 Знаки безпеки

З метою запобігання негативному впливу на навколишнє середовище підприємство впроваджує систему екологічного управління, що охоплює поводження з відходами, контроль якості стічних вод та очищення повітря. Основні напрямки:

відходи: небезпечні речовини маркуються, сортуються та передаються ліцензованим компаніям на утилізацію;

стічні води: проходять попереднє очищення у локальних очисних спорудах. Параметри якості контролюються лабораторно відповідно до ДСТУ ISO 5667-10:2001;

надзвичайні ситуації: діє затверджений План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), що передбачає дії у разі витоку, пожежі, вибуху.

Також проводиться щорічний екологічний аудит, результати якого фіксуються у звіті для Державної екологічної інспекції.[34]

Крім того, підприємство проводить інформаційно-просвітницьку діяльність, залучаючи працівників до участі в екологічних ініціативах, зокрема еко-моніторингу, сортуванню відходів і програмах озеленення.

Виробництво бензоату натрію належить до підприємств із потенційним впливом на навколишнє природне середовище, тому екологічні аспекти контролюються з підвищеною увагою.

З метою зниження впливу на довкілля, на підприємстві впроваджено систему екологічного менеджменту, яка передбачає:

- постійний екологічний моніторинг (вода, повітря, ґрунт);
  - автоматичні станції вимірювання складу повітря (вміст NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, парів розчинників тощо);
  - сортування, маркування та безпечне зберігання відходів;
- утилізацію відпрацьованих хімікатів через акредитовані компанії;
- інвестиції в замкнуті системи водопостачання, що дозволяють зменшити споживання прісної води

#### *Система очищення повітря*

Враховуючи характер виробництва, важливим елементом інженерного захисту є багаторівнева система очищення повітря.

Вона включає:

- місцеву витяжну вентиляцію з фільтрацією парів кислот і розчинників;
- централізовану систему фільтрації з використанням фільтрів тонкого очищення, активованого вугілля, хімічних абсорбентів;
- контрольні пости, оснащені приладами безперервного аналізу повітря на вміст шкідливих речовин (наприклад, бензолу, формальдегіду, хлорорганічних сполук).

Завдяки цим заходам дотримуються нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) відповідно до ДСН 3.3.6.042-99.[35]

## ВИСНОВКИ

1. В рамках виконаної дипломної роботи було здійснено комплексне дослідження та розробку технологічного процесу модернізованого виробництва бензоату натрію. Як об'єкт дослідження було обрано метод синтезу через взаємодію бензойної кислоти з активним натрієм у присутності активованого вугілля, що дозволяє досягти високої чистоти продукту, мінімізувати кількість домішок та підвищити екологічну безпеку процесу.
2. У технологічній частині було проаналізовано всі стадії виробництва, проведено розрахунок матеріального (загальні врати: 1 164,62 кг) та теплового балансів (17 кВт), що дозволило точно визначити витрати сировини, енергії та допоміжних матеріалів.
3. Особливу увагу було приділено вибору основного технологічного обладнання - стрічкової сушарки, яка забезпечує рівномірне сушіння продукту з збереженням його фізико-хімічних властивостей.
4. Виконано інженерний розрахунок параметрів сушарки (температурного режиму, швидкості руху стрічки, тривалості сушіння), що сприяє оптимізації тривалості та енерговитрат на цій стадії. (Параметри сушарки: 5500 x 1300 x 3200)
5. Техніко-економічне обґрунтування продемонструвало рентабельність на рівні 18,02%, що підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології у промислове виробництво. Основний економічний ефект полягає у зменшенні експлуатаційних витрат та покращенні якості готової продукції.
6. У розділі з охорони праці та екологічної безпеки було розроблено комплекс заходів для скорочення викидів, очищення стічних вод та підвищення безпеки роботи з металевим натрієм. Отже, модернізована технологія виробництва бензоату натрію є науково обґрунтованою, технічно реалізованою та відповідає сучасним вимогам промислової безпеки, якості та економічної ефективності.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i>  НУХТ	<i>Розробник документа</i> Косовець О.Ю.	<i>Назва, додаткова назва</i>  ВИСНОВКИ	<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.076. КР.ПЗ</i>				
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 76/81	

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Консервування харчових продуктів. Systopt. URL: <https://www.systopt.com.ua/article-konservyrovanye-pyshhevyh-produktov?srsIid=AfmBOorgqMGLH6zsSDpbBgcVEQgVXPtC4kozpcLakHUG0wq1ex2RzbSu> (дата звернення: 25.05.2025)
2. Food Additives / ред.: J. H. Thorngate Iii та ін. CRC Press, 2001. URL: <https://doi.org/10.1201/9780824741709> (дата звернення: 15.02.2025).
3. Регламент (ЄС) № 1223/2009 – косметична продукція. ICR. URL: <https://icr-cert.com.ua/reglament-kosmetichnoi-produkcii-regulation-ec-1223-2009/> (дата звернення: 15.05.2025).
4. Bruna G. O. L., Thais A. C. C., Lígia A. C. C. Food additives and their health effects: A review on preservative sodium benzoate. African Journal of Biotechnology. 2018. Т. 17, № 10. С. 306–310. URL: <https://doi.org/10.5897/ajb2017.16321> (дата звернення: 13.02.2025).
5. ГОСТ 30059-93 Напитки безалкогольные. Методы определения аспартама, сахарина, кофеина и бензоата натрия. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: [https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=85270](https://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=85270) (дата звернення: 03.06.2025).
6. Rowe R. C., Sheskey P. J., Quinn M. E. Handbook of Pharmaceutical Excipients. 6-те вид. Pharmaceutical Press, 2009.с.67
7. Poddebniak P., Kalinowska-Lis U. A Survey of Preservatives Used in Cosmetic Products. Applied Sciences. 2024. Т. 14, № 4. С. 1581. URL: <https://doi.org/10.3390/app14041581> (дата звернення: 04.06.2025).
8. Roberge P. R. Handbook of Corrosion Engineering. McGraw-Hill Professional, 1999. с.837

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Косовець О.Ю.	Назва, додаткова назва СПИСОК	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.077. КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.	ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 77/81

9. Effects of sodium benzoate on growth and physiological characteristics of wheat seedlings under compound heavy metal stress / P.-р. LIANG та ін. *Journal of Integrative Agriculture*. 2020. Т. 19, № 4. С. 1010–1018.  
URL: [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(19\)62723-1](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(19)62723-1) (дата звернення: 04.06.2025).
10. Sodium Benzoate Market Size, Share, Growth & Forecast. *Global Chemical and Petrochemicals, Specialty Chemicals, Elastomer and Rubber, Fertilizer and Feedstock - Latest Chemical Prices, News and Market Analysis | ChemAnalyst*.  
URL: <https://www.chemanalyst.com/industry-report/sodium-benzoate-market-2988> (дата звернення: 04.06.2025).
11. TCI. *TCIchemicals.com*. URL: <https://www.tcichemicals.com/US/en/p/S0593> (дата звернення: 05.06.2025).
12. Capot Chemical. *A Custom Synthesis Company - Capot Chemical*.  
URL: <https://www.capot.com/aboutUs.html> (дата звернення: 05.06.2025)
13. InvivoChem. *InvivoChem*.  
URL: <https://www.invivochem.com/pages/503.html> (дата звернення: 05.06.2025).
14. Бензоат натрія. *Systopt*. URL: [https://www.systopt.com.ua/ru/item-natrij-benzojnokyslyj-benzoat-natriyu?srsId=AfmBOorJv0\\_sC261TIDI0vC6AkvOdP6QsQ4lyUxKDN4wbKUcHteBMoIy](https://www.systopt.com.ua/ru/item-natrij-benzojnokyslyj-benzoat-natriyu?srsId=AfmBOorJv0_sC261TIDI0vC6AkvOdP6QsQ4lyUxKDN4wbKUcHteBMoIy) (дата звернення: 05.06.2025).
15. Хім-компонент магазин реактивів пропонує Натрій бензойнокислий (порошок). URL: <https://him-component.com.ua/ua/p824062781-natrij-benzojnokislyj-poroshok.html> (дата звернення: 05.06.2025).
16. Preparation process of sodium benzoate : пат. CN100463895C : C07C51/41 ; C07C63/08 ; Заявл. 31.12.2005 ; опубл. 13.08.2008.  
URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/036804766/publication/CN100410227C?q=pn=CN100410227C> (дата звернення: 02.06.2025).

17. ZHAO FUGUI, GUO DECAI, LI HONGLI. Preparation process of sodium benzoate. *Global Chemical and Petrochemicals, Specialty Chemicals, Elastomer and Rubber, Fertilizer and Feedstock - Latest Chemical Prices, News and Market Analysis / ChemAnalyst*.  
URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/036804766/publication/CN100410227C?q=CN100410227C> (дата звернення: 04.06.2025).
18. Production method of sodium benzoate: пат. CN109796330A : C07C51/41; C07C51/47; C07C63/08;. Заявл. 01.03.2019 ; опубл. 24.05.2019.  
URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/066562439/publication/CN109796330A?q=CN109796330A>
19. del Olmo A., Calzada J., Nuñez M. Benzoic acid and its derivatives as naturally occurring compounds in foods and as additives: Uses, exposure, and controversy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015. Т. 57, № 14. С. 3084-3103. URL: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087964> (дата звернення: 15.02.2025).
20. Earnshaw A., Greenwood N. N. Chemistry of the Elements. Elsevier Science & Technology Books, 2012. 42 с.
21. Sajid D. M. Industrial Applications of Activated Carbon. Academia.edu - Find Research Papers, Topics, Researchers. URL: [https://www.academia.edu/117458180/Industrial\\_Applications\\_of\\_Activated\\_Carbon](https://www.academia.edu/117458180/Industrial_Applications_of_Activated_Carbon) (дата звернення: 21.05.2025).
22. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи [Електронний ресурс]: на здобуття освіт. ступ. "Бакалавр" спец. 161 "Хімічні технології та інженерія" освіт.-проф. програми "Хімічна технологія" ден. та заоч. форм здобуття освіти / уклад.: О. В. Подобій, Т. М. Бойчук ; Нац. ун-т харч. технол. - Київ: НУХТ, 2025. - 75 с. - каф. технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів.

23. Chemical Reactors: Types and Operations - EPCM. EPCM. URL: <https://epcmholdings.com/chemical-reactors-types-and-operations/> (дата звернення: 21.05.2025).
24. Chemical Reactors: Types and Operations - EPCM. EPCM. URL: <https://epcmholdings.com/chemical-reactors-types-and-operations/> (дата звернення: 21.05.2025).
25. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб. / За ред. проф. І.Ф. Малєжика. К.: НУХТ, 2012. 25 с.
26. Сидоров Ю. І., Чуєшов В. І., Новіков В. П. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості. Вінниця: НОВАКНИГА, 2009. – 183с..
27. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: Навч. посіб. / За ред. проф. І.Ф. Малєжика. К.: НУХТ, 2012. 237 с.
28. Codex Alimentarius. (2004). \*CAC/GL 50-2004: General Guidelines on Sampling\*.
29. Smith J. et al. (2020). Food Additives Quality Control. Elsevier.
30. European Pharmacopoeia (Ph. Eur. 11.0). (2023). Monograph for Sodium Benzoate.
31. Talent Chemicals. (2023). \*Специфікація бензоату натрію CAS 532-32-1\*. URL: <https://ua.talentchemicals.com/flavors-food-additives/sodium-benzoate-cas-532-32-1.html> (дата звернення: 15.07.2023).
32. Про охорону праці. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 26.05.2025).
33. Кафедра охорони праці, промислової та цивільної безпеки | Офіційний сайт. URL: [http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/gigienichna\\_klasufikacija\\_praci.pdf](http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/gigienichna_klasufikacija_praci.pdf) (дата звернення: 26.05.2025).
34. Електробезпека на робочому місці - Охорона праці і пожежна безпека. Охорона праці і пожежна безпека. URL: <https://oppb.com.ua/news/elektrobezpeka-na-robochomu-mistsi> (дата звернення: 26.05.2025).

35. ДСТУ ISO 5667-10:2005 Якість води. Відбирання проб. Частина 10. Настанови щодо відбирання проб стічних вод (ISO 5667-10:1992, IDT). БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=52415](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52415) (дата звернення: 26.05.2025).
36. ZakonOnline. Наказ № 248 від 08.04.2014 Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» | ZakonOnline - Право знати!. Аналітично-правова система ZakonOnline. URL: [https://zakononline.com.ua/documents/show/339604\\_\\_\\_339669?utm\\_source=](https://zakononline.com.ua/documents/show/339604___339669?utm_source=) (дата звернення: 26.05.2025).
37. Бензойна кислота. Консервант. Максимально допустимі норми в харчових продуктах.. Статті компанії «Клебріг - Гіпермаркет хімічної продукції». "Клебріг - Гіпермаркет хімічної продукції" - контакти, товари, послуги, ціни. URL: <https://klebrig.com.ua/ua/a486855-benzojna-kislota-konservant.html?srsltid=AfmBOorsehquC0fa5gcNN3LrKOpXViM2tneAf5uQ9P7n-dt6QgCZ0htW> (дата звернення: 13.06.2025).
38. Левітін Є., Ключова Р. ВОДЕНЬ. *Фармацевтична енциклопедія*. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1786/voden> (дата звернення: 13.06.2025).
39. МЕА (2025), Розкриття водневих можливостей України: Дорожня карта , МЕА, Париж <https://www.iea.org/reports/unlocking-ukraines-hydrogen-opportunity-a-roadmap>, Ліцензія: CC BY 4.0
40. Hydrogen Applications – World Hydrogen Energy Organization. *World Hydrogen Energy Organization – WHEO*. URL: [https://worldhydrogenenergy.org/hydrogen-energy/hydrogen-applications/?utm\\_source](https://worldhydrogenenergy.org/hydrogen-energy/hydrogen-applications/?utm_source) (дата звернення: 13.06.2025).