

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

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

«___» червня 2025 р.

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

«___» червня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Хімічна технологія
на тему: Удосконалення технології виробництва калій сорбату

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

_____ ЗДОРЕНКО Владислав Вадимович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ 
(підпис)

Керівник БІЛА Галина Миколаївна, к.х.н., доцент
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти Ігор ЖИТНЕЦЬКИЙ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

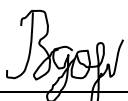
_____ (підпис)

Рецензент Віра ІЩЕНКО
(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

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Здоренка Владислава Вадимовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології виробництва калій сорбату

керівник роботи БІЛА Галина Миколаївна, к.х.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “15”квітня 2025 року № 296-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01.06.2025 р.

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

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

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Житнецький І.В. к.т.н., доцент кафедри МАХтаФВ	15. 04.2025	30.05.2025

7. Дата видачі завдання 15 квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	15.04.2025	
2	РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	16.04.2025-20.04.2025	
3	РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	21.04.2025-28.04.2025	
4	РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	21.04.2025-23.04.2025	
5	РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	24.04.2025-30.04.2025	
6	РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	01.05.2025-07.05.2025	
7	РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	08.05.2025-16.05.2025	
8	ВИСНОВКИ	09.05.2025-19.05.2025	
9	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	20.05.2025-26.05.2025	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	21.05.2025-27.05.2025	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	21.05.2025-27.05.2025	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	02.06.2025-06.06.2025	

Здобувач


(підпис)

Владислав ЗДОРЕНКО
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Галина БІЛА
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ЗДОРЕНКО В. В. Удосконалення технології виробництва калій сорбату. Пояснювальна записка містить: 81 с., 16 рис., 13 табл., 30 літературне джерело.

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню технології виробництва калій сорбату з продуктивністю 1000 кг/добу.

Досліджено основні причини псування харчових продуктів та класифікацію консервантів, їх переваги та недоліки.

Проаналізовано методи отримання калій сорбату та обґрунтовано доцільність використання нейтралізації сорбінової кислоти гідроксидом калію.

Охарактеризовано сировинну базу для виробництва сорбату методом нейтралізації.

Розраховано матеріальний та тепловий баланси виробництва калію сорбату потужністю 1000 кг/добу.

За результатами розрахунків, було розроблено принципово-технологічну та апаратурно-технологічну схеми. Запропоновано удосконалення шляхом впровадження адсорбційного осушувача для зниження енергетичних витрат.

Підібрано ключове обладнання, наведено розрахунок основного устаткування — реактора з лопатевою мішалкою об'ємом 350 л.

Виявлено, що рентабельність технології після удосконалення зросла з 5,5% до 7,4%, що свідчить про збільшення енергоефективності виробництва.

Особливу увагу приділено контролю якості, екології та охороні праці, адже параметри кислотності, вміст важких металів, вологість і умови зберігання мають критичне значення. Неправильне зберігання може спричинити псування сорбату або утворення небезпечних речовин у результаті хімічних реакцій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КАЛІЙ СОРБАТ, ОКИСЛЕННЯ, ХАРЧОВА ДОБАВКА, КОНСЕРВАНТ, НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ, РЕАКТОР, АДСОРБЕНТ, УДОСКОНАЛЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ.

ABSTRACT

ZDORENKO V.V. Improvement of potassium sorbate production technology. Explanatory note contains: 81 p., 16 figures, 13 tables, 30 references.

The qualification work is devoted to the improvement of the technology of potassium sorbate production with a capacity of 1000 kg/day.

The main causes of food spoilage and the classification of preservatives, their advantages and disadvantages are investigated.

The methods of producing potassium sorbate are analyzed and the feasibility of using the neutralization of sorbic acid with potassium hydroxide is substantiated.

The raw material base for the production of sorbate by neutralization is characterized.

The material and heat balances of the production of potassium sorbate with a capacity of 1000 kg/day were calculated.

Based on the results of the calculations, the schematic diagrams of the process and equipment were developed. Improvements were proposed by introducing an adsorption dehumidifier to reduce energy costs.

The key equipment was selected, and the calculation of the main equipment, a 350-liter paddle stirrer reactor, was presented.

It was found that the profitability of the technology after the improvement increased from 5.5% to 7.4%, which indicates an increase in energy efficiency.

Particular attention is paid to quality control, ecology and labor protection, as the parameters of acidity, heavy metal content, humidity and storage conditions are critical. Improper storage can lead to sorbate deterioration or the formation of hazardous substances as a result of chemical reaction.

KEYWORDS: POTASSIUM SORBATE, OXIDATION, FOOD ADDITIVE, PRESERVATIVE, NEUTRALIZATION, REACTOR, ADSORBENT, IMPROVEMENT, TECHNOLOGY.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО - ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1 Основні фактори псування харчових продуктів	9
1.2 Технологічні підходи до консервування харчових продуктів.....	11
1.3 Класифікація консервантів за механізмом дії та походженням	13
1.4 Загальні відомості про калій сорбат.....	15
1.5 Аналіз існуючих технологій виробництва	18
1.6 Стан сировинної бази.....	19
1.7 Шляхи удосконалення виробництва калій сорбату.....	20
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	23
2.1 Сировинна база виробництва калію сорбату	23
2.2 Опис принципово-технологічної схеми виробництва калію сорбату	28
2.3 Матеріальний баланс отримання калій сорбату	32
2.4 Тепловий баланс стадії сушіння калій сорбату.....	43
2.5 Підбір основного технологічного обладнання.....	45
2.6 Розрахунок реактора з лопатевою мішалкою.....	54
2.7 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва	59
РОЗДІЛ III ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	61
РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....	64
4.1 Методи аналізу та контролю калій сорбату	64
4.2 Допустимі рівні споживання та токсикологічна оцінка калію сорбату	67
4.3 Сучасні технології аналізу консервантів у харчових продуктах	69
РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	71
РОЗДІЛ VI ЗАХОДИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	74
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	78

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В.	Назва, додаткова назва ЗМІСТ		ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.006.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.			Інд. змін.	Дата видання 15.04.2025	Мова укра	Аркуш 6/81

ВСТУП

Калій сорбат ($C_6H_7KO_2$) є однією з найпоширеніших органічних солей, що використовується в якості консерванту у харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості. Його основне застосування полягає в запобіганні розвитку грибків і бактерій, що дозволяє продовжити термін зберігання продуктів та запобігти їх псуванню.

Найбільше калій сорбат виготовляють у таких країнах, як Китай, Туреччина та Німеччина, де розвинені потужні виробничі потужності та вдосконалені технології виробництва. Одним з основних виробників в Україні є компанія «Віанокс», яка активно працює на внутрішньому ринку.

Серед великих світових виробників калію сорбату можна відзначити компанії, такі як Ningbo Wanglong Tech, RuGao ChangJiang Food та Арас.

Предметом дослідження є калій сорбат.

Об'єктом дослідження є технологія виробництва калій сорбату.

Метою роботи було: охарактеризувати сировину та технологічний процес виробництва калію сорбату, розробити принципову та апаратурно – технологічну схеми для отримання калію сорбату, провести аналіз його екологічної безпеки та ефективності виробництва.

Актуальність теми обумовлена постійним зростанням попиту на продукти, які не містять шкідливих консервантів. Калій сорбат відповідає сучасним вимогам безпеки та ефективності, що робить його незамінним компонентом у харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості. Вивчення технології його виробництва дозволяє не лише підвищити якість кінцевої продукції, а й сприяти розвитку екологічно безпечних технологій.

Згідно з окресленою метою, визначено такі ключові завдання:

1. Провести аналітичний огляд літературних джерел з метою вивчення консервантів, їх класифікації та причин псування продукції. Здійснити

ідповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В.	Назва, додаткова назва ВСТУП		ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.007.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.			Інд. змін.	Дата видання 15.04.2025	Мова українська	Аркуш 7/81

порівняльний аналіз основних типів консервантів, а також дослідити переваги й напрями застосування калію сорбату.

2. Здійснити порівняльний аналіз основних технологічних методів одержання калію сорбату з обґрунтуванням найефективнішого. Оцінити сировинну базу, що використовується у виробництві.

3. Розробити принципову технологічну та апаратурно – технологічну схеми виробництва.

4. Провести розрахунок матеріального та теплового балансів виробництва калій сорбату.

5. Виконати підбір та розрахунок основного обладнання.

6. Оцінити економічну ефективність виробництва калію сорбату.

7. Дослідити вимоги до якості калію сорбату та методи їх контролю.

8. Проаналізувати аспекти захисту навколишнього середовища та охорони праці на виробництві.

Апробація результатів. Результати роботи було представлено на 91 Міжнародній науковій конференції молодих учених, студентів та аспірантів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті". Здоренко В.В., Біла Г.М. *Комп'ютерне прогнозування впливу ряду факторів на ефективність використання калій сорбату*, – 7 квітня 2025 р. Київ: НУХТ. Ч. 2. 290 с.

РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО - ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Основні фактори псування харчових продуктів

Застосування консервантів є невід'ємною частиною харчової промисловості, воно дозволяє надовго зберегти продукти, захистити їх від псування та мікробного забруднення, а також зберегти їхню поживну цінність.

Зі стрімким прогресом науки і технологій були розроблені сучасні підходи, зокрема хімічні способи збереження продуктів. Люди використовують різні хімічні сполуки для ефективного збереження продуктів, зменшуючи при цьому ризик їх псування та забезпечуючи більш тривалий термін зберігання.

У багатьох країнах застосування харчових добавок перебуває під суворим контролем. Борна кислота активно використовувалася як консервант у харчовій промисловості з 1870-х до 1920-х років. Потім її заборонили, оскільки дослідження на тваринах і людях виявили її токсичність. У роки Другої світової війни, через необхідність в недорогих і доступних харчових добавках, зокрема консервантах, що тимчасово повернуло їх у використання. Проте вже в 1950-х роках їх остаточно заборонили. Такі випадки спричинили зростання недовіри до харчових добавок. Унаслідок цього був запроваджений принцип обережності, згідно з яким у харчових продуктах дозволяється використовувати лише ті добавки, які доведено є безпечними. У США це спричинило ухвалення положення Делейні, яке є поправкою до Федерального закону про харчові продукти, ліки та косметику 1938 року. Це положення забороняє використання будь-яких канцерогенних речовин як харчових добавок. Після заборони цикламатів у Великобританії та США в 1969 році з'ясувалося, що сахарин, який залишився єдиним дозволеним штучним підсолоджувачем, спричиняє рак у щурів. У США це викликало значний суспільний резонанс, який набув широкого розголосу завдяки поштовим листівкам, вкладеним у пакування підсолоджених

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО - ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.009.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.			Інд. змін.	Дата видання 15.04.2025	Мова українська	Аркуш 9/81

напоїв, і спричинив тиск на Конгрес. У підсумку сахарин залишився у використанні, попри порушення вимог положення Делейні [1].

Існують численні суперечки щодо безпеки та ефективності застосування добавок. Деякі природні добавки, попри свою натуральність, можуть бути небезпечними або викликати алергічні реакції у певних осіб. Наприклад, деякі ароматизатори або консерванти, навіть якщо вони мають природне походження, можуть бути токсичними.

Псування харчових продуктів є результатом численних факторів, які можуть бути як фізичними, так і біологічними чи хімічними за своєю природою. Псування впливає на якість, смакові характеристики, а іноді й безпеку продуктів, і є основною проблемою, з якою стикаються виробники та споживачі. Для того, щоб уповільнити чи запобігти цьому процесу, розробляються різні методи зберігання, включаючи застосування консервантів, низьких температур і правильного пакування.

Фізичні пошкодження, мікробіологічне зараження, хімічні реакції та ферментативний розклад — все це веде до того, що продукт втрачає свою свіжість, смакові якості, а іноді стає небезпечним для споживання. Розуміння цих процесів є необхідним для розвитку ефективних методів консервування та продовження терміну зберігання без шкоди для здоров'я. Це також дозволяє зменшити втрати продуктів на різних етапах виробництва, транспортування та зберігання.

Розглянемо причини псування продуктів та фактори, що на це впливають, щоб краще розуміти, як саме забезпечити збереження їх якості.

Фізичне псування. Порушення захисного зовнішнього покриття продуктів харчування підвищує їхню вразливість до мікроорганізмів.

Мікробне псування виникає через активний ріст плісняви та дріжджів, які вражають харчові продукти. У процесі псування на поверхні продукту, і з'являється помітний наліт, структура стає пухкою або м'якою, а запах змінюється на неприємний, що свідчить про його непридатність до споживання.

Хімічне псування продуктів харчування відбувається через природні

киснем, що призводять до утворення шкідливих сполук, або розкладання вітамінів та інших корисних речовин.

- Автоліз: Кожен живий організм використовує спеціалізовані білки, які називаються ферментами, щоб керувати хімічними реакціями у своїх клітинах. Після смерті ферменти відіграють певну роль у розкладанні колись живих тканин, у процесі, який називається автолізом (саморуйнуванням) або ферментативним псуванням [2].

- Протеоліз: Основні поживні речовини, ароматизатори та білки, що модифікують текстуру деградують в результаті ферментативного розщеплення білків ендогенними або мікробними протеазами [2].

1.2 Технологічні підходи до консервування харчових продуктів

Існує багато методів консервування харчових продуктів, кожен з яких має свої особливості, переваги та обмеження. Вибір способу залежить від виду сировини, очікуваного терміну зберігання, умов транспортування та споживчих властивостей готового продукту.

Найпоширенішими методами є сушіння, заморожування, охолодження, копчення, маринування, а також застосування консервантів. Деякі з них базуються на зміні температури, інші — на створенні несприятливих умов для розвитку мікроорганізмів або ферментативної активності.

Сушіння

Сушіння дає змогу суттєво знизити вологість продуктів, що є головною умовою для уповільнення або повного припинення росту бактерій, грибів і плісняви. Цей метод часто використовують для збереження трав, овочів, фруктів, грибів, м'яса та риби. Розрізняють природне (на сонці, на повітрі) та штучне сушіння (в сушильних камерах, з використанням інфрачервоного випромінювання або мікрохвиль).

Переваги:

- тривалий термін зберігання;
- відсутність необхідності зберігати в холодному середовищі.

Недоліки:

- можливі втрати смакових якостей;
- потреба у герметичному пакуванні після сушіння.

Охолодження та заморожування

Охолодження — ефективний і сучасний метод короткотермінового зберігання продуктів, таких як м'ясо, риба, молочні вироби, овочі. Завдяки зниженню температури (зазвичай $+2...+8^{\circ}\text{C}$), сповільнюється ріст мікроорганізмів та ферментів.

Заморожування (до -18°C і нижче) забезпечує тривале збереження продуктів із мінімальними змінами смаку, кольору й текстури. При глибокому заморожуванні (швидкому) утворюються дрібні кристали льоду, що менше ушкоджують клітини продукту.

Переваги:

- збереження свіжості та поживної цінності;
- універсальність для різних типів сировини.

Недоліки:

- високі енергозатрати;
- потреба у безперервному холодовому ланцюгу.

Копчення

Копчення — це метод обробки їжі димом, який утворюється при повільному горінні деревини (дуб, бук, вільха тощо). Дим містить феноли, формальдегід і кислоти, які мають бактерицидну та антиокиснювальну дію. Розрізняють гаряче (до 100°C) і холодне копчення ($15-30^{\circ}\text{C}$).

Продукти: ковбаси, сало, сир, риба.

Копчення надає їжі специфічного аромату, кольору та продовжує термін придатності.

Маринування та засолювання

Ці методи базуються на створенні кислого або високосольового середовища, яке пригнічує життєдіяльність патогенних мікроорганізмів.

Маринування — використання кислот (оцтова, лимонна) та спецій.

Засолювання — використання солі або розсолу (NaCl 10–20%) [3].

Наприклад, при концентрації солі понад 20%, ріст більшості мікроорганізмів припиняється повністю. У деяких регіонах (Азія) для консервування також використовують рослинні олії, які створюють анаеробні умови [3].

Переваги:

- простота;
- збагачення смаку.

Недоліки:

- висока концентрація солі/кислоти може бути неприйнятною для деяких споживачів.

Використання консервантів

Процес консервування не завжди обмежується лише фізичними методами. Важливим інструментом є використання хімічних консервантів, які гальмують розвиток мікроорганізмів або запобігають окисненню.

До поширених консервантів належать:

сорбінова кислота та її солі (сорбати) — ефективні проти дріжджів і грибків;

бензойна кислота та її солі (бензоати) — активні проти бактерій;

нітрати та нітроти — використовуються у м'ясопереробці;

діоксид сірки (E220) — для обробки сухофруктів та вин.

Регуляторні органи, такі як EFSA встановлюють гранично допустимі концентрації (ADI) консервантів, що гарантує баланс між ефективністю зберігання і безпекою для здоров'я споживачів. В Україні такі норми регулюються відповідними наказами МОЗ, ДСТУ та Технічними регламентами харчової продукції.

1.3 Класифікація консервантів за механізмом дії та походженням

Враховуючи важливість консервантів у забезпеченні безпеки та стабільності харчових продуктів, вивчення їх класифікації стає необхідним для кращого розуміння принципів їхнього використання в промисловості. Консерванти виконують захисну функцію, запобігаючи псуванню їжі внаслідок

дії мікроорганізмів, окислення чи ферментативних процесів. Їх застосування дозволяє значно подовжити термін зберігання продуктів та забезпечити стабільну якість на всіх етапах логістичного ланцюга — від виробництва до споживання.

Консерванти можна класифікувати за різними ознаками, зокрема за механізмом дії. Однією з таких категорій є антиоксиданти, які запобігають окисленню. Прикладами антиоксидантів є вітаміни Е і С, а також бутильований гідроксіанізол (ВНА) та бутильований гідрокситолуол (ВНТ). Іншу категорію складають антимікробні агенти, які активно діють проти грампозитивних і грамнегативних мікроорганізмів. До таких консервантів належать бензоати, зокрема бензоат натрію, і сорбати [4].

Консерванти класу І містять натуральні речовини і століттями використовувалися для збереження продуктів харчування завдяки своїм природним антимікробним властивостям. Консерванти ІІ класу мають складнішу хімічну структуру і використовуються для боротьби з різноманітними мікроорганізмами, але їх застосування суворо регламентоване через потенційні ризики для здоров'я людини у разі передозування.

Консерванти класу І включають натуральні речовини, такі як кухонна сіль, цукор, оцет, спеції, мед та інші, які часто використовуються в харчовій промисловості для збереження продуктів. Наприклад, сіль і цукор здавна використовуються як природні методи консервування завдяки своїй здатності пригнічувати ріст мікроорганізмів. Консерванти класу ІІ, такі як бензойна кислота, сірчана кислота, нітрати, сорбінова кислота. Вони мають специфічні функції, наприклад, бензойна кислота бореться з дріжджами і пліснявою, а нітрати використовуються для консервування м'яса [5].

Інші критерії класифікації:

За джерелом походження — природні (натуральні) та синтетичні;

За областю застосування — для м'ясних, молочних, борошняних, консервованих або рідких харчових продуктів;

За температурним режимом стабільності — термостійкі та термочутливі.

1.4 Загальні відомості про калій сорбат

Три найбільш поширених консервантів – це сорбати, пропіонати та бензоати. Вибір серед цих альтернатив значною мірою залежить від рН продукту. Загалом, ефективний верхній ліміт рН для сорбатів становить близько 6,5, для пропіонатів – 5,5, а для бензоатів – 4,5. При використанні на рН рівнях більшості слабо кислих продуктів (рН 5,5 – 6,0) сорбати є більш ефективними консервантами проти більш широкого спектра мікроорганізмів, що спричиняють псування їжі, ніж бензоати чи пропіонати [6].

Калій сорбат є одним із найпоширеніших консервантів, що використовуються в харчовій промисловості через його антимікробні властивості. Його основне призначення – продовження терміну зберігання продуктів без значних змін у їхньому смаковому профілі чи вигляді. Калій сорбат активно застосовується у виробництві соків, безалкогольних напоїв, маргаринів, кондитерських виробів, а також у продуктах молочного та м'ясного виробництва.

Сорбат калію – це калієва сіль сорбінової кислоти. Він хімічно стабільний за звичайних умов зберігання умовах зберігання. Чутливий до ультрафіолету, що може призвести до його деградації. Зазвичай він доступний у вигляді білого кристалічного порошку. Він добре розчинний у воді та етанолі, що робить його особливо корисним для використання в рідких продуктах.

Хімічна формула: $C_6H_7KO_2$

Молекулярна маса: 150,22 г/моль

Зовнішній вигляд: гранули або порошок, без запаху або з легким специфічним запахом.

Розчинність у воді: добре розчиняється (58,2 г/100 мл при 20°C). Утворює прозорі розчини.

Температура плавлення: ~270 °C (з розкладанням).

Розчинність в інших рідинах: малорозчинний в етанолі, практично нерозчинний у жирах та органічних розчинниках.

рН водного розчину: 7–8 (5% розчин).

Гігроскопічність: злегка гігроскопічний, може поглинати вологу з повітря.

Стабільність: стабільний при нормальних умовах зберігання, однак у кислих або лужних середовищах при високій температурі може деградувати.

Галузі застосування:

Харчова промисловість: використовується як консервант (E202) у продуктах харчування, таких як сири, хлібобулочні вироби, напої, йогурти, соуси, ковбаси у кондитерських та шоколадних виробках.

Фармацевтична промисловість: додається до медичних препаратів і косметичних засобів з антибактеріальними і протигрибковими властивостями.

Речовина входить до складу таких лікарських засобів, як:

Солодки кореня сироп виробництва Борщагівського хіміко – фармацевтичного заводу (БХФЗ);

Фосфалюгель гель, виробник "Фарматіс" (Франція);

Фарматон® Кідді

Ензимол Адванс капсули №20, виробник "Баум Фарм";

Рінокросс спреї назальні, вироблений "Артеріум".

Перелік фармацевтичних препаратів, що містять калій сорбат наведено на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 — Фармацевтичні препарати, що містять калій сорбат

Косметична промисловість:

Частка використання калій сорбату у косметичці близько 28–30%, що робить його одним із лідерів серед консервантів.

У косметичних продуктах, зокрема в лосьйонах для тіла та кремах для обличчя, найчастіше використовуються консерванти з груп спиртів і карбонових кислот. Серед спиртів найпоширенішими є феноксіетанол (виявлений у 68% лосьйонів) та бензиловий спирт (у 36% лосьйонів і 23% кремів). До карбонових кислот належать бензоат натрію (36% у лосьйонах, 31% у кремах) і сорбат калію (30% у лосьйонах, 28% у кремах). Також у формулах часто використовуються парабени (метил-, пропілпарабен), донори формальдегіду (наприклад, DMDM гідантоїн) та дегідрооцтова кислота (DHA) — залежно від типу продукту, рН та вимог до зберігання [7].

Кожен із цих консервантів має свої переваги та обмеження:

Феноксіетанол — легкий спирт з антимікробною активністю, добре переноситься шкірою, ефективний при рН до 8. Проте при концентраціях понад 1% може спричиняти подразнення шкіри й очей.

Бензиловий спирт — природного походження, популярний у натуральній косметиці. Має антибактеріальні властивості, але у високих дозах може викликати алергічні реакції, особливо у дітей.

Бензоат натрію — ефективний при низькому рН (до 4,5), активний проти грибів і дріжджів. Може взаємодіяти з аскорбіновою кислотою з утворенням бензолу, а також спричиняти подразнення у чутливих осіб.

Парабени — класичні консерванти з високою стабільністю та широким спектром дії, але деякі з них (бутилпарабен, ізобутилпарабен) обмежені через потенційно естрогеноподібну активність.

Дегідрооцтова кислота (DHA) — ефективна протигрибкова речовина, переважно використовується в шампунях та декоративній косметиці. Втрачає активність при рН вище 6,5, має обмежену стабільність у водному середовищі.

Особливе місце серед консервантів займає сорбат калію. Завдяки ефективності проти дріжджів і плісняви та хорошій переносимості шкірою, він широко застосовується у зволожувальних та живильних косметичних засобах. Його частка в таких продуктах, як креми та лосьйони, становить близько 28–30%, що робить його одним із найпопулярніших консервантів.

Водночас дослідження показали, що сорбінова кислота — активна форма сорбату калію — може викликати алергічні реакції в деяких людей. Наприклад, сорбінова кислота у концентрації 2% в етанолі є більш алергенною, ніж її солі, а сорбат калію у 5% концентрації у вазеліні часто спричиняє позитивні шкірні реакції під час дерматологічного тестування. Це пов'язано з тим, що в косметичних продуктах сорбат калію частково розкладається до сорбінової кислоти. У зв'язку з цим, пацієнтам із сенсibiliзацією до сорбінової кислоти рекомендується уникати засобів, що містять сорбат калію, навіть у низьких концентраціях [8].

1.5 Аналіз існуючих технологій виробництва

Виробництво калій сорбату використовуються різні технології, які включають як хімічні, так і екстракційні процеси. Кожна з цих технологій має свої характеристики, ефективність, також існують певні недоліки, які слід враховувати під час їх впровадження оптимального методу для виробництва сорбату.

1. З лактону триоцтової кислоти

Гідрування лактону триоцтової кислоти до 5,6-дигідро-4-гідрокси-6-метил-2Нпіран-2-он (DHMP). Процес відбувається 17 годин. В присутності каталізатора Ni/SiO_2 . Вихід 96.8%. Далі зневоднення до 4-гідрокси-6-метилтетрагідро-2-пірон (HMP) а потім до парасорбінової кислоти (PSA). PSA становив 84,2% по відношенню до триоцтової кислоти. Потім відбувається розкриття кілець і гідроліз парасорбінової кислоти до калій сорбату. КОН використовували як кореагент для гідролізу. Конверсія 99,9%, тетрагідрофуран використовували для очищення калій сорбату. Загальний вихід калій сорбату по відношенню до лактону триоцтової кислоти становив 77,3% [9].

2. Екстракція з природних джерел

Спосіб включає в себе збір сировини. Як основну сировину використовують горобину або інші рослини, що містять сорбінову кислоту.

Вилучення кислоти: рослинна сировина обробляється водою, спиртом або іншими розчинниками для вилучення кислоти. Для цього можуть бути

використані методи, такі як мацерація, ультразвукова екстракція та екстракція надкритичною рідиною. Очищення: сировину фільтрують і концентрують, щоб відокремити сорбінову кислоту. Для цього використовуються методи кристалізації або випарювання. Нейтралізація: отриману кислоту перетворюють на сорбат калію за допомогою гідроксиду калію.

3. Метод виробництва калію сорбату змішуванням сорбінової кислоти з калій гідроксидом, в результаті чого утворюється розчин сорбату калію.

Вузьке місце у виробництві калію сорбату полягає в значній витраті електроенергії та конверсії лугу, яка досягає лише 90%.

У деяких технологіях регенерація є економічно недоцільною, що збільшує витрати та створює додаткові відходи.

1.6 Стан сировинної бази

Сировинна база для виробництва калію сорбату включає основні компоненти – сорбінову кислоту та калійні сполуки. Виробництво сорбату калію є хімічним процесом, який вимагає стабільних поставок якісних сировинних матеріалів, а також належної організації їх зберігання та обробки.

Сорбінова кислота ($C_6H_8O_2$) є органічною сполукою, що здебільшого отримується синтетичним шляхом або з природних джерел, таких як ягоди горобини.

На сьогоднішній день основними постачальниками сорбінової кислоти на українському ринку є країни, де розвинута хімічна промисловість, зокрема Китай, Індія та країни Європи. Сорбінова кислота в імпорті є основним компонентом для виробництва консервантів, оскільки власне українське виробництво цього компонента обмежене.

В Україні є певні можливості для виробництва сорбінової кислоти на основі природних ресурсів, зокрема через вирощування відповідних рослин, таких як горобина, але це не достатньо для забезпечення потреби в харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості.

Калійні сполуки. Для синтезу калію сорбату потрібна сировина у вигляді калійних солей, зазвичай це калій гідроксид або калієві карбонати. Україна має

багаті ресурси калію, зокрема на заході країни, де розташовані значні родовища калійних солей (Карпати).

Імпорт і ринок сировини.

Через відсутність значних обсягів власного виробництва сорбінової кислоти в Україні, країна здебільшого залежить від імпорту.

У той же час, ринок калію сорбату є досить насиченим, і конкуренція серед постачальників сировини є високою. Імпорт може забезпечити стабільне постачання сировини.

Найбільше калій сорбат виготовляють у Китаї, Туреччині, Німеччині, де розвинені потужні виробничі потужності й вдосконалені технології виробництв. Одним з основних виробників в Україні є компанія Віанокс, яка активно працює на внутрішньому ринку.

Ningbo Wanglong Tech Co., Ltd розташоване в новому місті прибережного міста Юяо поблизу затоки Ханчжоу. Продукція харчові добавки: річна потужність виробництва сорбінової кислоти 50 тис. тонн, сорбату калію 40 тис. тонн, ваніліну 5000 тонн, дегідрооцтової кислоти 5000 тонн, натрію дегідроацетату 5000 тонн; основна органічна сировина: річна потужність виробництва дикетену 50 тис. тонн, оцтового ангідриду 160 тис. тонн;

Компанія RuGao ChangJiang Food Co. Ltd. знаходиться в Ругао, провінція Цзянсу. Річна виробнича потужність 20 000 тонн сорбату калію,

Заводи Арас виробляють сорбінову кислоту та сорбат калію. Мають загальну виробничу потужність 12 000 тонн (з яких 8000 тонн – калій сорбат).

1.7 Шляхи удосконалення виробництва калій сорбату

Виробництво харчових добавок, зокрема калію сорбату, належить до енерго- та ресурсомістких технологічних процесів, що вимагають ретельного планування, оптимізації витрат і впровадження сучасних інженерних рішень.

Калій сорбат отримують шляхом нейтралізації сорбінової кислоти розчином гідроксиду калію з подальшою сушкою утвореної солі. Цей процес включає: синтез калій сорбату, фільтрування суспензії, розчинення калій сорбату, фільтрування водної суспензії, сушіння, просіювання та фасування.

Один з основних ресурсозатратних етапів — це сушіння кінцевого продукту, яке здійснюється повітрям нагрітим до 125 °С. Як видно з таблиці 1.1, для повного циклу виробництва необхідно 18 008,68 кг повітря, що вимагає значних енергетичних витрат, особливо якщо використовується атмосферне повітря з температурою 15–20 °С. Рентабельність виробництва без удосконалень становить 5,5%.

Таблиця 1.1 — Матеріальний баланс виробництва калію сорбату до впровадження удосконалення

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Сорбінова кислота	848,60	Упакований калій сорбат	1000
Розчин калій гідроксид	939,1	Пара	851,85
Вода дистильована	1 000	Водно - лужний розчин	682,13
		Відходи	34,18
		<i>В тому числі</i>	
		Сорбінова кислота	4,18
		Захоплений калій сорбат	30
		Втрати	218,3
Всього	2 787,12	Всього	2 787,12
Сушильний агент			
Повітря	18 008,68	Суміш повітря з парою	17 748,72
		Втрати	259,96
Всього	18 008,68	Всього	18 008,68

Після проходження через сушарку, повітря насичується вологою та частинками продукту. У стандартній схемі воно після очищення просто викидається в атмосферу, що спричиняє теплові втрати. Натомість удосконалена схема передбачає багатоступеневу обробку цього повітря:

Очищення у циклоні

Нагріте повітря, проходить через циклон, де відокремлюються захоплені частинки калію сорбату. Ці частинки не відповідають вимогам – тому утилізовуються.

Осушення та підготовка повітря

Газовий потік повітря та водяної пари спрямовується до регенераційного осушувача, який заповнений адсорбентом — це активний оксид алюмінію (Al_2O_3). Він поглинає водяну пару з повітря, знижуючи його вологість до технологічно прийняттого рівня.

Після осушення повітря має температуру близько 80 °С, що дає змогу заощадити енергію. Таким чином, зменшується навантаження на теплогенеруючі установки.

Після насичення вологою адсорбент періодично регенерується — шляхом нагрівання до високих температур (150 °С).

Упровадження цієї системи має декілька переваг:

Зменшення питомих витрат енергії на тонну готового продукту.

Збільшення рентабельності виробництва до 7,4%.

Зменшення шкідливих викидів у повітря, відповідність вимогам екологічного законодавства.

Рациональне використання вторинних ресурсів, зокрема тепла.

Підвищення стабільності процесу сушіння та якості кінцевого продукту.

РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Сировинна база виробництва калію сорбату

Основною сировиною для виробництва сорбату калію є калій гідроксид і сорбінова кислота, яка може бути отримана синтетичним шляхом або з натуральних продуктів, таких як ягоди горобини.

Будову, фізичний стан та природну сировину, що містить сорбінову кислоту, зазначено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 — Будова та природні джерела сорбінової кислоти

У природі: сорбінова кислота міститься в яблуках, сливах і плодах накамадо. Також сорбінову кислоту та сорбат отримують шляхом хімічного синтезу.

Сорбінова кислота утворює безбарвні пластівці або голки під час кристалізації, вона доступна у вигляді білого порошку, що легко сиплеться, або гранул, має слабкий, але характерний пекучий запах і кислий смак. Комерційно доступні солі включають кальцієву, натрієву та калієву сорбатні солі [10].

Розчинність сорбінової кислоти у воді при кімнатній температурі становить лише 0,15 г на 100 мл, але збільшується з підвищенням температури або рН розчину, або обох чинників. Розчинність сорбінової кислоти також вища в спиртах, особливо в етанолі, та ще в оцтовій кислоті.

Сорбінова кислота сублимується навіть при відносно низьких температурах

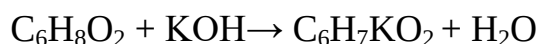
Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.023.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. Змін.	Дата видання 15.04.2025	Мова українська	Аркуші 23/81

(приблизно 80°C), при якій може відбуватися обробка їжі. Деградація спостерігалася відразу після плавлення. Таким чином, використання сорбінової кислоти, здається, обмежене цими температурами [11].

Хімічні властивості сорбінової кислоти

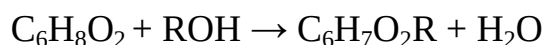
– Нейтралізація до калій сорбату:

Сорбінова кислота реагує з гідроксидом калію (KOH), утворюючи калій сорбат:



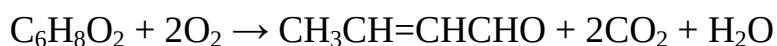
– Етерифікація:

Сорбінова кислота може реагувати зі спиртами, утворюючи сорбатні ефіри:



– Окислення сорбінової кислоти утворює різні карбонільні сполуки, такі як кротональдегід, малональдегід, ацетальдегід, акролеїн, мурашина кислота, маленова кислота та β -карбоксилактолеїн.

– Утворення кротональдегіду – виникає внаслідок розщеплення сорбінової кислоти за подвійним зв'язком.



Що стосується використання сорбінової кислоти в виробництві калій сорбату, то вона піддається хімічній обробці з калій гідроксидом для утворення калієвої солі.

Застосування калій гідроксиду

Сорбінова кислота широко використовується в харчовій промисловості. У випічці вона запобігає росту плісняви в хлібі, тістечках і печиві, у сирах – утворенню плісняви та псуванню. Сорбінова кислота є вихідною речовиною для синтезу деяких полімерів.

У напоях, таких як соки, газовані напої та вина, сорбінова кислота додається для збереження свіжості, а в ковбасних – для захисту від дріжджів і бактерій, що викликають псування.

Сорбінова кислота застосовується як консервант у кремах, лосьйонах,

шампунях і декоративній косметичі, забезпечуючи стабільність продукту та запобігаючи його псуванню.

Використовується у виробництві деяких лікарських форм для стабілізації складу, запобігання мікробному зараженню та збільшення терміну зберігання.

Вимоги якості до сорбінової кислоти:

Вологість, % – $\leq 0,5$

Сульфати, % – $\leq 0,02$

Альдегіди, % – $\leq 0,1$

Важкі метали (як Pb), мг/кг – ≤ 1

Свинець, мг/кг – ≤ 2

Миш'як, мг/кг – ≤ 2

Ртуть, мг/кг – $\leq 0,1$

Калій гідроксид

Харчовий гідроксид калію, виробляється шляхом електролізу розчину хлориду калію (KCl) в присутності пористої мембрани.

Фізичні властивості розчину калій гідроксиду наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 — Зовнішній вигляд розчину калій гідроксиду

Синоніми: Їдкий калій, каустичний калій

Агрегатний стан: розчин або тверда речовина

Молекулярна формула: KOH

Молекулярна маса: 56,11 г/моль

Колір: Безбарвний або злегка жовтуватий, залежно від концентрації

Запах: Без запаху

Щільність / Питома вага: 0,940–0,950 г/см³ (для водного розчину)

Температура плавлення: 250 °C

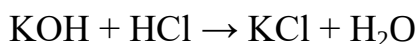
Точка кипіння: 380°C

Розчинний у воді в співвідношенні 1:0,9 (0,9 частини води на 1 частину калій гідроксиду).

Хімічні властивості калій гідроксиду

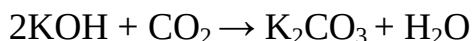
1. Реакція з кислотами (нейтралізація).

Калій гідроксид реагує з кислотами, утворюючи сіль і воду.



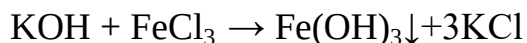
2. Реакція з кислотними оксидами.

Утворює сіль за участі кислотного оксиду.



3. Реакція з солями (обмінна реакція).

Взаємодіє з розчинними солями, утворюючи іншу сіль і гідроксид.



Застосування калій гідроксиду

Калійний гідроксид використовується для виробництва мила, калійних солей, лікарських препаратів, а також як харчова добавка (E525) для корекції кислотності. Він застосовується у лужних акумуляторах, гербіцидах, мийних засобах, дезінфекції та регуляції Ph в косметичі.

Калій гідроксид класифікується як небезпечна речовина — при потраплянні на шкіру чи слизові оболонки він може спричинити сильні опіки.

Вимоги якості до калій гідроксиду

Вміст домішок не більше:

K ₂ CO ₃ , %	0,2
KCl, %	0,006
Fe, мг/кг	0,2
NaOH, %	0,66
Ni, мг/кг	0,2

Оксид алюмінію

Оксид алюмінію (Al_2O_3) – це неорганічна сполука, яка має широке застосування в різних галузях промисловості завдяки своїм фізико-хімічним властивостям. Відомий своєю високою термічною стійкістю, хімічною інертністю та механічною міцністю, він є одним із ключових адсорбентів та сполукою для виробництва різних компонентів.

Використання оксиду алюмінію як сировини обумовлене його унікальними характеристиками. По-перше, він має високу твердість, що робить його ідеальним компонентом для абразивних матеріалів та покриттів, які потребують підвищеної зносостійкості. По-друге, завдяки високій температурі плавлення (близько $2050\text{ }^{\circ}\text{C}$) він застосовується у виробництві вогнетривких матеріалів та кераміки.

У технічних процесах оксид алюмінію часто використовується у вигляді порошку різної дисперсності, що впливає на його властивості в конкретних системах. Завдяки своїй стійкості до агресивних середовищ, він також знаходить застосування в захисних покриттях, які запобігають корозії та механічному пошкодженню поверхонь.

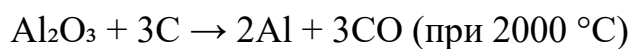
Зовнішній вигляд адсорбенту Al_2O_3 подано на рисунку 2.3.



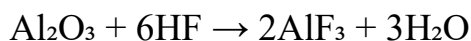
Рисунок 2.3 — Зовнішній вигляд адсорбенту алюміній оксиду.

Хімічні властивості оксиду алюмінію (Al_2O_3):

1. Термічна стійкість (нерозкладність при високих температурах)



2. Реакція з фторидною кислотою



2.2 Опис принципово-технологічної схеми виробництва калію сорбату

Технологія виробництва калію сорбату включає декілька етапів, від підготовки сировини до пакування готового продукту. Кожен етап, включаючи сушіння, фільтрування та хімічні реакції, спрямований на отримання високоякісного калію сорбату, який є ефективним.

Додатковими стадіями виробництва є очищення відпрацьованого аерозолю та осушення повітря, що утворюється в результаті сушіння. Ці етапи спрямовані на зменшення енергетичних витрат і зниження екологічного впливу процесу.

– *Очищення відпрацьованого аерозолю.*

Метою даного етапу є очищення відпрацьованого аерозолю, що містить повітря, водяну пару та дрібнодисперсні частинки, утворені під час сушіння, від

– *Адсорбційне осушення повітря*

Потік повітря з парою надходить у адсорбційний осушувач, у якому в якості адсорбенту використовується оксид алюмінію (Al_2O_3). Пориста структура оксиду алюмінію забезпечує ефективне поглинання водяної пари з повітря.

Очищене повітря з температурою близько 80 °С після видалення вологи повертається назад у виробничу лінію, де проходить подальше нагрівання.

Коли адсорбент насичується вологою і втрачає ефективність, він перенаправляється в середину регенераційного апарату. У цьому апараті оксид алюмінію нагрівається до температури 150 °С, внаслідок чого адсорбована волога випаровується, і матеріал відновлює свою активність. Після охолодження адсорбент знову готовий до повторного використання.

Основні процеси виробництва

1. Синтез калій сорбату

Забезпечується хімічна реакція між калій гідроксидом та сорбіновою кислотою, які утворюють калій сорбат. Час змішування складає 40 хвилин. Швидкість змішування – 800 об./хв. Тиск – 0,3 МПа. Температура – 50 °С.

В ході реакції утворюється вода, яка розчиняє невелику частину калій сорбату. Вихідна суспензія після реактора складається з твердої частини – калій

сорбат, сорбінова кислота й домішки, а також рідин – вода та розчинений у ній калій сорбат.

2. Фільтрування суспензії

Видалення водного розчину калій гідроксиду здійснюється через фільтрування, що дозволяє отримати тверду суміш калій сорбату.

Суспензія подається на фільтр гвинтовим насосом, де рідини, зокрема залишковий калій гідроксид, розчинена частина калій сорбату й вода проходять фільтр і надходять на утилізацію. Тверда суміш калій сорбату, яка містить калій сорбат, непрореаговану сировину, надходить на подальшу обробку. Час фільтрування складає 40 хвилин.

3. Розчинення калій сорбату

Розчинення калій сорбату у воді для отримання чистого розчину та подальшого відокремлення малорозчинних домішок.

Тверда суміш калій сорбату подається в реактор норією В реакторі утворюється водна суспензія калій сорбату. Час змішування становить 30 хвилин. Швидкість змішування – 400 об./хв. Тиск – 0,3 МПа. Температура – 65 °С.

4. Фільтрування водної суспензії

Відокремлення твердих домішок від водного розчину калій сорбату для отримання чистого водного розчину калій сорбату.

Після утворення водна суспензія калій сорбату подається до фільтра гвинтовим насосом. Під час фільтрування тверді частки, такі як залишкові нерозчинені домішки та непрореагована сорбінова кислота, затримуються у фільтрі, а очищений водний розчин калій сорбату проходить через фільтр. Час фільтрування становить 30 хвилин.

5. Розпилювальне сушіння калій сорбату

Основною метою розпилювального сушіння є переведення водного розчину калій сорбату в сухий порошок, що зручно для транспортування, зберігання та подальшого використання. Процес сушіння дозволяє швидко випаровувати воду, залишаючи тільки калій сорбат у вигляді дрібного порошку.

Водний розчин відцентровим насосом надходить у проміжну ємність. Далі розчин калій сорбату з проміжної ємності подається в розпилювальну сушарку за допомогою відцентрового насоса. У сушарці розчин розпилюється на дрібні краплі за допомогою спеціальних форсунок, після чого краплі контактують з гарячим повітрям. Це сприяє висушуванню води з розчину і утворенню сухого порошку калій сорбату, який опадає у пересувну ємність.

Процес здійснюється при вхідній вологості розчину на рівні 49,3%, а після сушіння вологість продукту знижується до 10%. Час сушіння становить 1 годину. Температура теплоносія на вході в сушарку становить 125 °С, а на виході знижується до 80 °С.

6. Просіювання порошку

Відділення дрібних часток від великих шматків, що потребують додаткового подрібнення.

Порошок калій сорбату стрічковим транспортером подається до вібраційного сита. Вібраційне сито складається з кількох сіток різного розміру, що дозволяє розділяти порошок калій сорбату на частки певних розмірів. Розміри сіток: верхній шар – 0,85 мм, нижній – 0,25 мм. Принцип роботи сита базується на вібраціях, які створюють рух частинок і дозволяють їм проходити через сито в залежності від їх розміру.

Твердий порошок калій сорбату потрапляє на сітку, де дрібніші частинки проходять через неї, а більші залишаються на поверхні. Це дозволяє видалити крупні частки та відокремити їх для подальшої обробки.

7. Пакування порошку калій сорбату

Завершення процесу виробництва, забезпечивши зручне і безпечне пакування готового продукту для транспортування та зберігання.

Після подрібнення кінцевий продукт, калій сорбат, транспортується на лінію пакування. 300 кг продукту розфасовано у мішки по 1 кг, решта 700 кг – у мішки по 25 кг.

Принципова технологічна схема виробництва калій сорбату з сорбінової кислоти та калій гідроксиду представлена на рисунку 2.4.

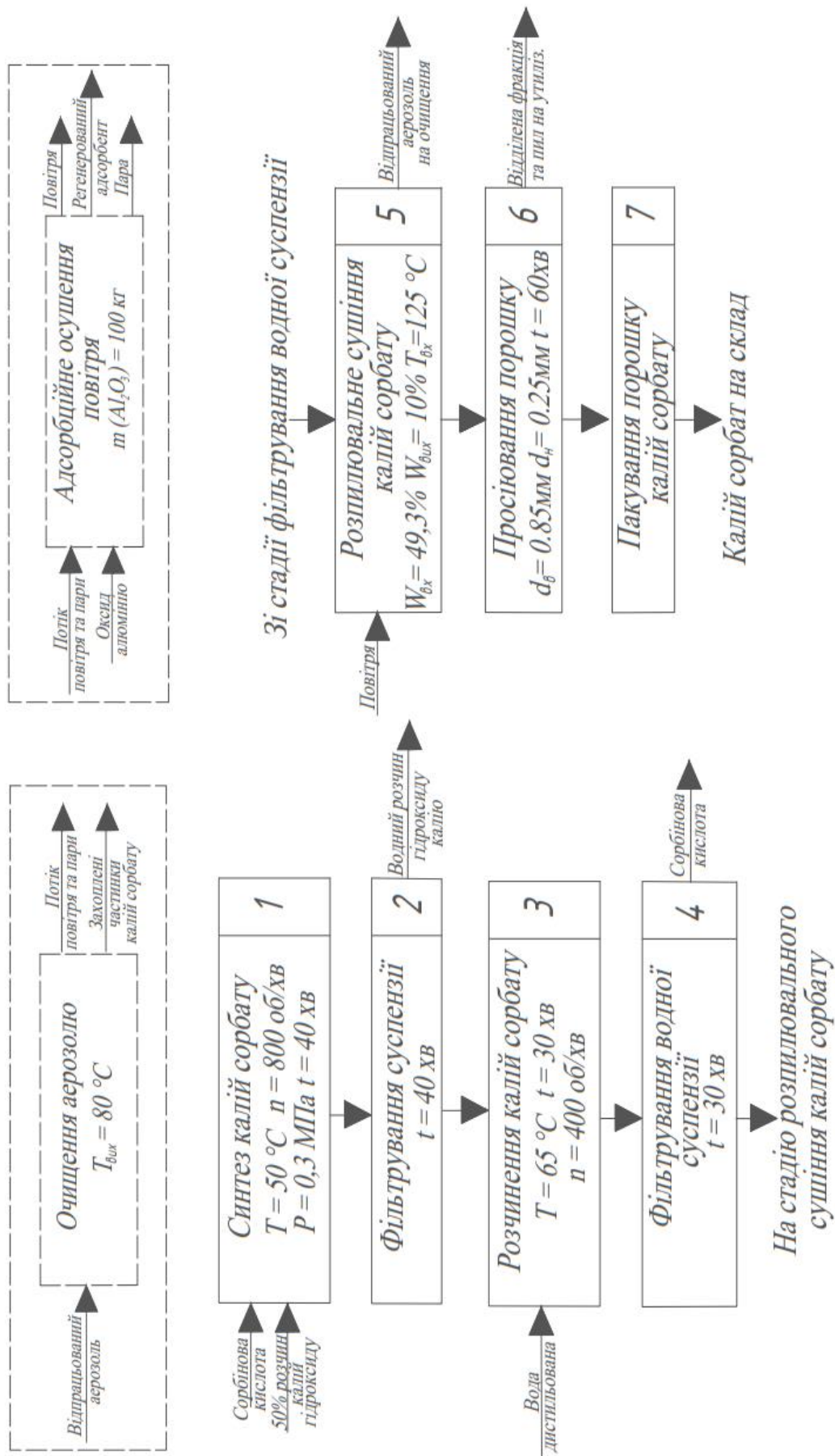


Рисунок 2.4 – Принципова технологічна схема виробництва калій сорбату

2.3 Матеріальний баланс отримання калій сорбату

1. Синтез калій сорбату

Для етапу змішування використовуються два основні реагенти: сорбінова кислота та 50% розчин калій гідроксид.

Вміст домішок у складі технічного реагенту $C_6H_8O_2$, 0,1 %

Вміст домішок у складі технічного реагенту KOH, 0,2%

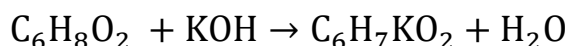
Втрати при змішуванні складають 1.5%. Згідно наведених вище даних за формулами (2.1) – (2.2) розраховуємо маси реагентів, що можуть вступати в реакцію:

$$m(C_6H_8O_2) = 848,60 - 848,60 * 1.5\% = 836,06 \text{ кг} \quad (2.1)$$

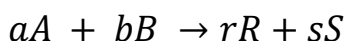
$$m(KOH) = 939,1 - 939,1 * 1.5\% = 925,01 \text{ кг} \quad (2.2)$$

Сорбінова кислота ($C_6H_8O_2$) має низьку температуру сублімації, випаровуючись уже при 80 °С, що ускладнює її використання при високих температурах. Натомість калій гідроксид (KOH) проявляє кращу реакційну здатність при підвищенні температури. При 50 °С конверсія сорбінової кислоти до цільового продукту досягає 99,5%, тоді як для KOH вона становить 90%.

Реакція для розрахунків:



1. Розраховуємо молярні маси учасників реакції за формулами (2.3) - (2.6):



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

$$aM_A = 1 * 112 \text{ кг/кмоль} = 112 \text{ кг/кмоль} \quad (2.3)$$

$$bM_B = 1 * 56 \text{ кг/кмоль} = 56 \text{ кг/кмоль} \quad (2.4)$$

$$rM_R = 1 * 150 \text{ кг/кмоль} = 150 \text{ кг/кмоль} \quad (2.5)$$

$$sM_S = 1 * 18 \text{ кг/кмоль} = 18 \text{ кг/кмоль} \quad (2.6)$$

Проводимо перевірку результатів за формулою 2.7:

$$112 \text{ кг/кмоль} + 56 \text{ кг/кмоль} = 150 \text{ кг/кмоль} + 18 \text{ кг/кмоль} \quad (2.7)$$

$$168 \text{ кг/кмоль} = 168 \text{ кг/кмоль}$$

Для виробництва 1113 кг сорбату калію необхідно затратити 836,06 кг сорбінової кислоти та 462,61 кг калій гідроксиду.

2. Знайдемо масу чистої сорбінової кислоти за формулою (2.8), знаючи масу технічного реагенту $C_6H_8O_2$:

$$m'_{C_6H_8O_2} = \frac{\frac{m''_{C_6H_8O_2}}{100\%}}{100\% - \omega_{\text{дом.}C_6H_8O_2} \%} = \frac{m''_{C_6H_8O_2} * (100\% - \omega_{\text{дом.}C_6H_8O_2} \%)}{100\%} \quad (2.8)$$

$$m'_{C_6H_8O_2} = \frac{836,06 * (100 - 0,1)}{100} = 835,22 \text{ кг}$$

3. Рахуємо масу домішок технічного реагенту $C_6H_8O_2$ за формулою (2.9):

$$\Delta m''_{C_6H_8O_2} = m''_{C_6H_8O_2} - m'_{C_6H_8O_2} \quad (2.9)$$

$$\Delta m''_{C_6H_8O_2} = 836,06 - 835,22 = 0,84 \text{ кг}$$

4. Визначаємо стехіометричну кількість реагенту $C_6H_8O_2$ за формулою (2.10)

$$m_{C_6H_8O_2} = \frac{m'_{C_6H_8O_2}}{X_{C_6H_8O_2}} = X_{C_6H_8O_2} * m'_{C_6H_8O_2} \quad (2.10)$$

$$m_{C_6H_8O_2} = 835,22 * 0,995 = 831,04 \text{ кг}$$

5. Розраховуємо масу непрореагованого залишку реагента $C_6H_8O_2$ за формулою (2.11)

$$\Delta m'_{C_6H_8O_2} = m'_{C_6H_8O_2} - m_{C_6H_8O_2} \quad (2.11)$$

$$\Delta m'_{C_6H_8O_2} = 835,22 - 831,04 = 4,18 \text{ кг}$$

Проводимо перевірку результатів за формулою (2.12):

$$m''_{C_6H_8O_2} = m_{C_6H_8O_2} + \Delta m'_{C_6H_8O_2} + \Delta m''_{C_6H_8O_2} \quad (2.12)$$

$$836,06 = 831,04 + 4,18 + 0,84$$

$$836,06 \text{ кг} = 836,06 \text{ кг}$$

Проводимо аналогічні розрахунки стосовно реагенту КОН

6. Знайдемо масу чистого реагента КОН за формулою (2.13), знаючи масу технічного реагенту КОН

$$m'_{\text{КОН}} = \frac{\frac{m''_{\text{КОН}}}{100\%}}{100\% - \omega_{\text{дом.КОН}} \%} = \frac{m''_{\text{КОН}} * (100\% - \omega_{\text{дом.КОН}} \%)}{100\%} \quad (2.13)$$

$$m'_{\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2} = \frac{462,61 \cdot (100 - 0,2)}{100} = 461,69 \text{ кг}$$

7. Знайдемо масу домішок технічного реагенту КОН за формулою (2.14):

$$\Delta m''_{\text{KOH}} = m''_{\text{KOH}} - m'_{\text{KOH}} \quad (2.14)$$

$$\Delta m''_{\text{KOH}} = 462,61 - 461,69 = 0,92 \text{ кг}$$

8. В стехіометричну кількість реагенту КОН за формулою (2.15):

$$m_{\text{KOH}} = \frac{m'_{\text{KOH}}}{\frac{1}{X_{\text{KOH}}}} = X_{\text{KOH}} \cdot m'_{\text{KOH}} \quad (2.15)$$

$$m_{\text{KOH}} = 461,69 \cdot 0,90 = 415,52 \text{ кг}$$

9. Визначаємо масу непрореагованого залишку КОН за формулою (2.16):

$$\Delta m'_{\text{KOH}} = m'_{\text{KOH}} - m_{\text{KOH}} \quad (2.16)$$

$$\Delta m'_{\text{KOH}} = 461,69 - 415,52 = 46,17 \text{ кг}$$

Проводимо перевірку результатів за формулою (2.17):

$$m''_{\text{KOH}} = m_{\text{KOH}} + \Delta m'_{\text{KOH}} + \Delta m''_{\text{KOH}} \quad (2.17)$$

$$462,61 = 415,52 + 46,17 + 0,92$$

$$462,61 \text{ кг} = 462,61 \text{ кг}$$

Розрахунки стосовно продукту H_2O

10. Знайдемо стехіометричну кількість продукту H_2O за формулою (2.18):

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{sM_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2}}{rM_{\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2}} \quad (2.18)$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1 \cdot 18 \text{ кг/кмоль} \cdot 1113 \text{ кг}}{1 \cdot 150 \text{ кг/кмоль}} = 133,56 \text{ кг}$$

В ході синтезу калію сорбату утворюється неочищена суспензія продукту.

У рідкій фазі знаходиться вода (133 кг утворилися під час реакції, а 462,4 кг надійшли разом із залишком нерозреагованого луку), а також 46,17 кг калію гідроксиду. У цьому розчині розчиняється приблизно 40 кг калію сорбату.

У твердому вигляді залишаються 1074,76 кг калію сорбату та 4,18 кг сорбінової кислоти. Це зумовлено тим, що вода вже насичена іонами калію, тому калій сорбат не може повністю дисоціювати, а сорбінова кислота практично нерозчинна у воді.

Отримані дані розрахунків внесемо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Матеріальний баланс стадії синтезу калій сорбату

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Сорбінова кислота	848,60	Неочищена суспензія калій сорбату	1 761,07
		<i>В тому числі <u>рідка фаза</u></i>	682,13
		- Вода	595,96
		- Калій гідроксид та домішки, які надійшли з сировиною	46,17
		-Невелика частина калій сорбату, що розчинилася	40
		<u>Тверда фаза</u>	1078,94
		- Калій сорбат	1074,76
		- Сорбінова кислота	4,18
Розчин калій гідроксид	939,1	Втрати	26,63
Всього	1 787,7	Всього	1 787,7

2. Фільтрування суспензії

Втрати калій сорбату при фільтруванні становлять 3%, що відповідає 32,37 кг.

Отже, на подальшу обробку надійде 1042,39 кг сорбату та 4,18 кг сорбінової кислоти.

У результаті фільтрування, ми отримуємо розчин, що підлягає подальшій утилізації. Звідси за формулою (2.19) розраховуємо масу водного розчину гідроксиду калію:

$$m(\text{розчину}) = 40 + 595,96 + 46,17 = 682,13 \text{ кг} \quad (2.19)$$

Отримані дані розрахунків внесемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 — Матеріальний баланс стадії фільтрування суспензії

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Неочищена суспензія калій сорбату	1 761,07	Суміш калій сорбату та сорбінової кислоти	1 046,57
		Водний розчин гідроксиду калію	682,13
		Втрати	32,37
Всього	1 761,07	Всього	1 761,07

3. Розчинення калій сорбату

На стадію розчинення калій сорбату надходить суміш, що складається з:

$m(\text{C}_6\text{H}_7\text{KO}_2) - 1\,042,39 \text{ кг}$

$m(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2) - 4,18 \text{ кг}$

Усього - 1 046,57 кг

До твердої суміші додається 1 000 кг дистильованої води. Оскільки в суміші вже відсутній калій гідроксид, калій сорбат розчиняється, тоді як сорбінова кислота залишається у твердому стані.

Втрати калій сорбату при розчиненні твердої суміші становлять 2,5%. Розраховуємо втрати калію сорбату та кількість калій сорбат, що розчиниться за формулами (2.20) – (2.21):

$$m(\text{втрат}) = 1\,042,39 * 2,5\% = 26,06 \text{ кг} \quad (2.20)$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_7\text{KO}_2) = 1\,042,39 - 26,06 = 1016,33 \text{ кг} \quad (2.21)$$

Також під час фільтрування було втрачено 10 кг води. Отже, на подальшу обробку надійде 990 кг води.

На цій стадії отримують 2 010,51 кг водної суспензії калій сорбату, яка містить 1016,33 кг калій сорбату, 4,18 кг сорбінової кислоти та 990 кг води.

Отримані дані розрахунків внесемо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Матеріальний баланс розчинення калій сорбату

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Суміш калій сорбату та сорбінової кислоти	1 046,57	Водна суспензія калій сорбату	2 010,51
		<i>В тому числі</i>	
		Калій сорбат	1016,33
		Вода	990
		Сорбінова кислота	4,18
Вода дистильована	1 000	Втрати	36,99
Всього	2 046,57	Всього	2 046,57

4. Фільтрування водної суспензії

Водна суспензія, що надійшла на стадію фільтрування складається з:

$$m(\text{C}_6\text{H}_7\text{KO}_2) = 1016,33 \text{ кг}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 990 \text{ кг}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2) = 4,18 \text{ кг}$$

$$\text{Усього} - 2\,010,51 \text{ кг}$$

Під час фільтрування відбуваються втрати матеріалу, які складають 3,5%.

Розраховуємо загальні втрати суспензії при фільтруванні за формулою (2.22):

$$m_{\text{втрат}}(\text{водн. суспен}) = 2\,010,51 * 3,5\% = 70,37 \text{ кг} \quad (2.22)$$

В тому числі визначаємо втрати калій сорбату та води за формулами (2.23) – (2.24):

$$m_{\text{втрат}}(\text{C}_6\text{H}_7\text{KO}_2) = 1016,33 * 3,5\% = 35,57 \text{ кг} \quad (2.23)$$

$$m_{\text{втрат}}(\text{H}_2\text{O}) = 990 * 3,5\% = 34,65 \text{ кг} \quad (2.24)$$

Тоді обчислюємо масу калій сорбату та води, що надійде на подальшу обробку за формулами (2.25) - (2.26):

$$m(C_6H_7KO_2) = 1016,33 - 35,57 = 980,76 \text{ кг} \quad (2.25)$$

$$m(H_2O) = 990 - 34,65 = 955,35 \text{ кг} \quad (2.26)$$

Визначаємо загальну масу розчину калій сорбату, що надійде на сушіння за формулою (2.27):

$$m(\text{розчину калій сорбату}) = 980,76 + 955,35 = 1\,936,11 \text{ кг} \quad (2.27)$$

Отримані дані розрахунків внесемо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 — Матеріальний баланс фільтрування водної суспензії

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Водна суспензія калій сорбату	2 010,51	Розчин калій сорбату	1 936,11
		<i>В тому числі</i>	
		Калій сорбат	980,76
		Вода	955,35
		Сорбінова кислота	4,18
		Втрати	70,22
Всього	2 010,51	Всього	2 010,51

5. Розпилювальне сушіння калій сорбату

Склад розчину калій сорбату, що надійшов на сушіння складається з:

$$m(C_6H_7KO_2) = 980,76 \text{ кг}$$

$$m(H_2O) = 955,35 \text{ кг}$$

Усього – 1 936,11 кг

Під час сушіння дрібні частинки розчину калій сорбату, що розпилюються, не осідають у зоні збору продукту, а виносяться разом із потоком повітря.

Ці частинки потрапляють до відпрацьованого аерозолю, який виводиться з сушарки. Загальна маса таких часток становить 30 кг. При цьому маса порошку

калій сорбату, що утворився, дорівнює 1035,3 кг (вміст води у продукті складає 10%). В ході сушіння видаляється 851,85 кг води (141,975 кг/год)

Втрати 45,96 кг включають залишки повітряної фази, а також кількість калій сорбату, що не надійшов на подальшу обробку та не був винесений із сушарки.

Узагальнені результати розрахунків наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 — Матеріальний баланс розпилювального сушіння калій сорбату

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Розчин калій сорбату	1 936,11	Порошок калій сорбат	1035,3
		В тому числі волога	103,5
Нагрітий сушильний агент	2 988	Відпрацьований аерозоль	3 869,85
		В тому числі	2 988
		- Повітря	851,85
		- Пара	30
		- Захоплені частинки калій сорбату	
		Втрати	45,96
Всього	4 924,11	Всього	4 924,11

6. Просіювання порошку

На стадію просіювання надходить 1035,3 кг порошку. Під час просіювання враховуються втрати, утворення пилу та виділення фракцій, що не відповідають вимогам, — загалом вони становлять 20,3 кг, що відповідає 2% від загальної маси поданої сировини.

Визначаємо масу просіяного порошку, який надійде на пакування за формулою (2.28):

$$m(\text{просіяного калій сорбату}) = 1035,3 - 20,3 = 1015 \text{ кг} \quad (2.28)$$

Отримані дані розрахунків внесемо до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 — Матеріальний баланс стадії просіювання порошку

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Порошок калій сорбат	1035,3	Просіяний калій сорбат	1015
		Втрати	20,3
Всього	1035,3	Всього	1035,3

7. Пакування порошку калій сорбату

На стадію пакування надходить 1015 кг калій сорбату,

Під час пакування враховуються втрати, які визначаються за формулою (2.29) і складають 1,5% від загальної маси продукту.

$$m(\text{втрат}) = 1015 \cdot 1,5\% = 15 \text{ кг} \quad (2.29)$$

За формулою (2.30) розраховуємо масу упакованого продукту:

$$m(\text{упак. прод.}) = 1015 - 15 = 1000 \text{ кг} \quad (2.30)$$

Отримані дані розрахунків було внесено до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 — Матеріальний баланс пакування порошку калій сорбату

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Просіяний калій сорбат	1015	Упакований калій сорбат	1000
		Втрати	15,0
Всього	1015	Всього	1015

Очищення відпрацьованого аерозолю

На стадію надходить 3 869,85 кг відпрацьованого аерозолю. В процесі очищення в циклоні видаляється 30 кг захопленого калію сорбату.

Узагальнені результати розрахунків наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 2.8 — Матеріальний баланс очищення відпрацьованого аерозолю

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Відпрацьований аерозоль	3 869,85	Газовий потік повітря з парою	3 830
		Захоплені частинки калію сорбату	30
		Втрати	9,85
Всього	3 869,85	Всього	3 869,85

Адсорбційне осушення повітря

На стадію осушення надходить газовий потік загальною масою 3 830 кг, який складається з 851,85 кг водяної пари та 2 978,15 кг повітря.

Газовий потік подається в адсорбційний осушувач, в якому розміщується 100 кг оксиду алюмінію — ефективного сорбенту з високою здатністю до поглинання водяної пари.

Під час проходження повітря через шар сорбенту відбувається інтенсивне поглинання вологи, завдяки чому знижується вологість газового середовища. Осушене повітря після цього повертається до виробничої лінії для подальшого використання.

Оскільки адсорбент має обмежену ємність, періодично необхідно здійснювати його регенерацію. У цьому апараті сорбент нагрівається до необхідної температури, внаслідок чого 851,85 кг поглинутої пари видаляються з системи.

Втрати повітря складають 11,15 кг. За формулою (2.31) розраховуємо кількість повітря, що повернеться назад у виробництво:

$$m(\text{повітря}) = 2\,978,15 - 11,15 = 2\,967 \text{ кг} \quad (2.31)$$

Узагальнені результати розрахунків наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 — Матеріальний баланс адсорбційного осушення повітря

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Потік повітря з парою	3 830	Повітря	2 967
Оксид алюмінію	100	Регенований адсорбент	95
		Видалена пара	851,85
		Втрати	16,15
Всього	3 930	Всього	3 930

Зведену таблицю виробництва калію сорбату наведено в таблиці 2.10

Таблиця 2.10 — Зведений матеріальний баланс виробництва

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
Сорбінова кислота	848,60	Упакований калій сорбат	1000
Розчин калій гідроксид	939,1	Пара	851,85
Вода дистильована	1 000	Водно - лужний розчин	682,13
Оксид алюмінію	100	Регенований адсорбент	95
Нагрітий сушильний агент	2 988	Повітря	2 967
		Відходи	34,18
		Втрати	245,54
Всього	5 875,70	Всього	5 875,70

2.4 Тепловий баланс стадії сушіння калій сорбату

На стадію сушіння подається $G_1 = 0,09$ кг/с вихідного матеріалу з вологістю $W_{\text{вологи}} = 49,3\%$, та температурою $t_1 = 35$ °С. Теплоємність такого вологого матеріалу становить $c_1 = 2,6$ кДж/(кг·К) [12].

У процесі сушіння з матеріалу випаровується $W = 0,039$ кг/с води, після чого з сушарки виходить $G_2 = 0,048$ кг/с висушеного продукту з температурою $t_2 = 45$ °С і питомою теплоємністю $c_m = 1,42$ кДж/(кг·К). Питома теплоємність водяної пари при цьому дорівнює $c_v = 1,88$ кДж/(кг·К). Для забезпечення сушіння використовується повітря з витратою $L = 0,83$ кг/с сухої маси. Його ентальпія перед калорифером становить $I_0 = 45$ кДж/кг, після нагрівання зростає до $I_1 = 140$ кДж/кг, а на виході з сушарки досягає $I_2 = 138,77$ кДж/кг [12].

Під час сушіння упродовж першої години повітря нагрівається з температури 20 °С, а протягом наступних п'яти годин — із 80 °С. Відповідно, температура на вході в калорифер становить 80 °С, а необхідна температура після нагрівання — 125 °С. Таким чином, різниця температур (ΔT) становить 45 °С.

Ентальпію повітря перед калорифером для періоду з другої по шосту годину розраховуємо за формулою (2.32):

$$I_{0H} = c_{\text{п}} * t + \omega * (r + c_v * t) \quad (2.32)$$

Де $c_{\text{п}}$ — теплоємність сухого повітря, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$

c_v — теплоємність водяної пари, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$

r — теплота пароутворення води, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$

ω — вологовміст повітря, кг/кг

ΔT — різниця температур до та після калорифера (°С).

$$I_{0H} = 1,005 * 45 + 0,03 * (2\,300 + 1,84 * 45) = 116,71 \text{ кДж/кг}$$

Прихід тепла

1. Тепло, що вноситься з повітрям розраховуємо формулою (2.33)

$$Q_1 = L * I_{\text{сер}} * 3\,600 * 6 \quad (2.33)$$

$$I_{\text{сер}} = (45 + 5 * 116,71) / 6 = 104,76 \text{ кДж}$$

$$Q_1 = 0,83 * 104,76 * 3\,600 * 6 = 1\,878\,137,28 \text{ кДж}$$

2. Кількість теплоти, що вноситься з сухим матеріалом визначаємо за формулою (2.34)

$$Q_2 = G_1 * c_m * t_1 * 3\,600 * 6 \quad (2.34)$$

$$Q_2 = 0,09 * 1,42 * 308 * 3\,600 * 6 = 850\,277,84 \text{ кДж}$$

3. Визначаємо кількість тепли, яка надається повітрю, в калориферів продовж всього виробничого циклу за формулою (2.35)

$$Q_3 = (L * (I_1 - I_0) + 5 * (L * (I_1 - I_{0H}))) * 3\,600 \quad (2.35)$$

$$Q_3 = 347\,971,93 \text{ кДж}$$

4. Загальний прихід тепла розраховуємо за формулою (2.36)

$$Q_{\text{заг}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \text{ кДж} \quad (2.36)$$

$$Q_{\text{заг}} = 1\,878\,137,28 + 850\,277,84 + 347\,971,93 = 3\,076\,387,93 \text{ кДж}$$

Витрата тепла

1. Визначаємо кількість теплоти, що виходить з відпрацьованим повітрям за формулою (2.37)

$$Q_4 = L * I_2 * 3\,600 * 6 \quad (2.37)$$

$$Q_4 = L * I_2 = 0,83 * 138,77 * 3\,600 * 6 = 2\,487\,868,56 \text{ кДж}$$

2. Витрату тепла, з висушеним матеріалом визначаємо за формулою (2.38)

$$Q_5 = G_2 * c_m * t_2 * 3\,600 * 6 \quad (2.38)$$

$$Q_5 = G_2 * c_m * t_2 = 0,048 * 1,42 * 318 * 3\,600 * 6 = 468\,177,41 \text{ кДж}$$

3. Визначаємо втрати тепла в навколишнє середовище за формулою (2.39)

$$Q_6 = Q_{\text{заг}} - (Q_4 + Q_5) \quad (2.39)$$

$$Q_6 = Q_{\text{заг}} - (Q_4 + Q_5) = 3\,076\,387,93 - 2\,956\,045,97 = 120\,341,96 \text{ кДж}$$

Після впровадження осушувача витрати на нагрівання повітря становили 96,66 кВт (347 971,93 кДж) теплової енергії, тоді як раніше цей показник становив 522,9 кВт.

Отже, завдяки запропонованим заходам з оптимізації процесу сушіння вдалося зменшити теплове навантаження майже у 5,5 раза.

Втрати в навколишнє середовище становлять близько 3,9 % від загального приходу тепла, що є допустимим для даного процесу.

2.5 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.

Хімічний реактор Промвіт

Реактор з лопатевою мішалкою зображено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 — Зовнішній вигляд хімічного реактора

Реактор з лопатевою мішалкою має такі параметри:

Повний об'єм, л: 350

Робочий об'єм, л: 300

Внутр. діаметр корпусу, мм: 700

Робоча Т, °С: +15...+ 50

Габарити реактора, мм: 950 * 760 * 1500

Обертання мішалки, об/хв: 800

Принцип роботи реактора з лопатевою мішалкою:

У реактор завантажуються сорбінова кислота, розчин гідроксиду калію відповідно до рецептури. Лопатева мішалка приводиться в обертання двигуном. Вона створює інтенсивне перемішування. Під дією перемішування відбувається рівномірна реакція між сорбіновою кислотою та гідроксидом калію, утворюючи калій сорбат. Реактор оснащено рубашкою для подачі теплоносія (води або пари). Це дозволяє підтримувати необхідну температуру (50 °С) для оптимального перебігу реакції. Після завершення процесу, реакційна маса (суспензія калій сорбату) подається на стадію фільтрування.

Обґрунтування вибору реактора з лопатевою мішалкою:

1. *Ефективна при в'язких або неоднорідних сумішах:* лопатева мішалка має просту, але масивну конструкцію, що дозволяє створювати потужні зсувні зусилля у в'язкому середовищі. Завдяки цьому вона здатна рівномірно перемішувати суміші з високою щільністю, густотою або наявністю гетерогенних фаз.

2. *Створює потоки, що перешкоджають осіданню твердих частинок:* форма лопатей формує горизонтальні та вертикальні потоки, які підтримують тверді частинки у зваженому стані. Це особливо важливо у виробництві суспензій, де потрібно запобігти утворенню осаду на дні реактора.

Самоочисний фільтр AFE77

Зовнішній вигляд самоочисного фільтра наведено на рисунку 2.6.

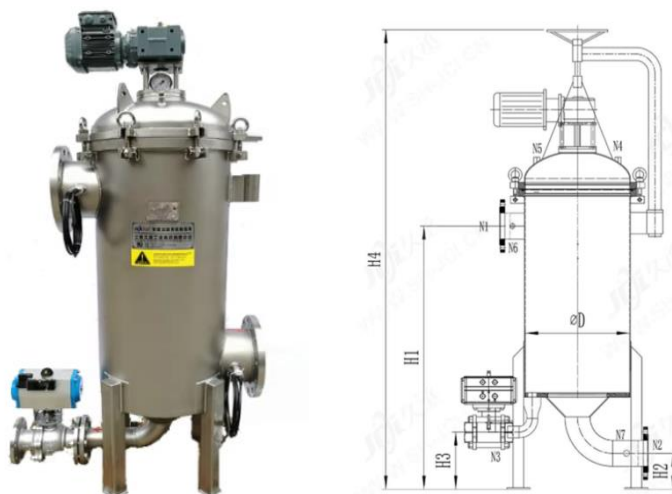


Рисунок 2.6 — Зовнішній вигляд хімічного реактора

Принцип роботи самоочисного фільтру:

Суспензія калій сорбату подається до циліндричної фільтрувальної камери. Рідина проходить крізь фільтруючий елемент, де тверда маса затримується.

В процесі роботи обертається шкребок, який знімає осад з внутрішньої поверхні сітки, тим самим запобігаючи закупорці та підтримуючи постійний потік.

Осад збирається на дні корпусу та періодично або безперервно виводиться через окремий клапан на подальшу обробку.

Обґрунтування вибору самоочисного фільтру:

1. Мінімальні втрати продукту: завдяки ефективному зчищенню осаду втрати мінімізуються (втрати становлять лише 3%).
2. Підходить для в'язких або концентрованих суспензій: калій сорбат утворює щільну суспензію, тому класичні тканинні або картриджні фільтри швидко забивалися б.

Реактор МК–JBG–4

Реактор МК–JBG–4 з якірною мішалкою наведений на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 — Реактор з якірною мішалкою

Реактор з якірною мішалкою має такі параметри:

Швидкість емульгування–змішування до об./хв.: 1300

Діаметр циліндра, мм: 480

Тип змішувача: якірний

Ємність, л 350 л

Принцип роботи:

Завантаження твердої фази (калій сорбат і сорбінова кислота); додавання рідини (дистильована вода); інтенсивне перемішування для досягнення рівномірного розподілу та розчинення калій сорбату; отримання водної суспензії, у якій сорбат переходить у розчин, а сорбінова кислота залишається у твердій формі.

Обґрунтування вибору реактора з якірною мішалкою:

Рівномірне розподілення: при включенні мішалки тверді частинки рівномірно розподіляються у водному середовищі, утворюючи однорідну суспензію.

Змішування по всьому об'єму: завдяки якірній конструкції відбувається перемішування усього об'єму, включаючи нижню та бокові зони (де можливе осідання).

В'язкість середовища: середня, що підходить для якірного типу

Нутч фільтр ARKChem

На рисунку 2.8 зображено зовнішній вигляд нутч фільтра.



Рисунок 2.8 — Зовнішній вигляд нутч фільтра

Нутч фільтр має такі параметри:

Ємність, л 350 л

Потужність, кВт: 4

Розмір, мм: 1 200 * 1 400 * 2 000

Тиск, МПа: 0,3–0,5

Швидкість обертів мішалки, об/хв: 20

Принцип роботи нутч фільтра:

Нутч-фільтр — це герметичний фільтрувальний апарат, який поєднує фільтрацію, перемішування і розвантаження продукту в одному корпусі.

У нутч-фільтр подається водна суспензія калій сорбату (після реактора).

Внизу фільтра — фільтрувальний елемент (сітка або тканина), через яку проходить рідина під впливом: вакууму (знизу) або надлишкового тиску (зверху).

Сорбінова кислота залишається у вигляді осаду.

Мішалка (агітатор), встановлена в апараті, забезпечує: підтримання однорідності суспензії перед фільтрацією; рівномірний розподіл шару осаду; полегшення розвантаження після завершення фільтрації.

Обґрунтування вибору нутч фільтра:

1. *Герметичність:* захищає продукт від зовнішніх забруднень і втрат летких компонентів.
2. *Ефективність:* зменшення втрат продукту та енергозбереження завдяки інтегрованому процесу.
3. *Безпека:* мінімізація контакту оператора з оброблюваними речовинами.

Розпилювана сушарка LPG-150

Розпилювана сушарка LPG-150 зображена на рисунку 2.9



Рисунок 2.9 — Розпилювана сушарка LPG-150

Розпилювальна сушарка має такі параметри:

Температура вхідна пов. $\leq 350^{\circ}\text{C}$

Температура вихідна пові. 80°C

Продуктивність (кг/год): 150

Швидкість обертання диску, об./хв.: до 25 000

розмір (д*ш*в): $5,5 * 4 * 7\text{м}$

Принцип роботи:

Рідкий розчин (водна суспензія калій сорбату) надходить у сушарку через насос і подається в зону розпилення.

За допомогою центрифугального диску розчин розпилюється на мікроскопічні краплі.

Одночасно в сушильну камеру подається гаряче повітря.

Краплі потрапляють у потік гарячого повітря, що рухається зверху вниз.

Завдяки великій площі поверхні крапель, вода миттєво випаровується.

Температура частинок не перевищує температури кипіння води, що запобігає термічному руйнуванню речовин.

Сухий порошок збирається в приймальну ємність, а повітря з залишками пилу може проходити через циклон.

Обґрунтування вибору сушарки:

1. *Швидке сушіння:* розпилювальна сушарка забезпечує миттєве випаровування вологи, що дозволяє зберегти властивості калій сорбату та уникнути термічного розкладу [13].

2. *Гнучкість у налаштуваннях:* можливість регулювання температури та швидкості подачі повітря дозволяє адаптувати процес сушіння до специфіки розчину калій сорбату [13].

Адсорбційний осушувач SDXW

Зовнішній вигляд адсорбційного осушувача наведено на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 — Зовнішній вигляд адсорбційного осушувача

Адсорбційний осушувач має такі параметри:

Продуктивність, кг/хв: 67

Тип адсорбенту: оксид алюмінію

Кількість адсорбенту, кг: 100

Вих. температура повітря оС: 80

Габарити, мм: 2166 × 1100 × 2869

Принцип роботи:

Осушувач складається з двох вертикальних колон (башт), наповнених адсорбентом (активованій оксид алюмінію), а також з нагрівального елемента,

клапанної системи, фільтрів, системи керування і шумоглушника. Вологе стиснене повітря подається до башт.

Під час проходження через адсорбент пара з повітря зв'язується молекулами адсорбенту. На виході отримується сухе повітря, яке повертається назад у виробництві.

Адсорбент надходить в середину апарату, де нагрівається 150 °С та регенерується.

Обґрунтування вибору адсорбційного осушувача:

Менше споживання електроенергії: регенерація знижує споживання повітря та адсорбенту — менші затрати ніж у без нагрівних моделей.

Надійність і довговічність: тривалий ресурс адсорбенту завдяки стабільному температурному циклу й відсутності перегрівів.

Вібраційна просіювальна машина SE-48

Зовнішній вигляд просіювальної машини наведений на рисунку



Рисунок 2.11 — Зовнішній вигляд вібраційного сита

Просіювальна машина має такі параметри:

Ємність, кг/год: 160 – 180

Вага, кг: 150

Розмір (Д*Ш*В), мм: 960 * 960 * 600

Потужність, кВт: 2

Принцип роботи:

Сухий порошок калій сорбату подається у верхню частину установки (на верхнє сито). Мотор створює циклічну вібрацію, що передається на сита.

Під дією цих вібрацій частинки починають рухатися по спіралі по поверхні сит, поступово просіюючись через отвори відповідного діаметра.

Дрібні частинки проходять крізь сита та потрапляють у нижні приймальні ємності.

Великі агломерати або грудки залишаються на ситі та виводяться окремо.

У результаті отримується однорідний за розміром порошок, придатний для пакування або подальшого використання.

Обґрунтування вибору сита:

1. *Однорідність частинок:* забезпечує рівномірний розмір частинок калій сорбату — це критично важливо для пакування.

2. *Легко змінити сита:* конструкція дозволяє швидко змінювати сита відповідно до вимог щодо розміру фракцій або при переході на інший продукт.

3. *Компактний розмір:* завдяки розміру 960×960×600 мм машина займає мінімум місця на виробничій ділянці, що важливо при обмеженій площі. Її можна зручно інтегрувати між етапами сушіння та пакування без зміни логістики.

4. *Простота обслуговування:* простий доступ до сит і вібромеханізму дозволяє легко проводити очищення, огляд і технічне обслуговування, що знижує ризик зупинок виробництва.

Автоматична машина для упаковки DCS-F-50 Single Auger

Зовнішній вигляд пакувальної машини наведений на рисунку 2.12



Рисунок 2.12 — Автоматична машина для упаковки порошку

Просіювальна машина має такі параметри:

Матеріал: нержавіюча сталь 304

Ємність упаковки, пакетів/год: 180–300

Розмір машини, мм: 800 * 2000 * 1000

Споживана потужність, кВт: 1,3

Принцип роботи:

Калій сорбат (просушений і просіяний) подається у бункер машини.

Обертовий шнековий гвинт (Auger screw) подає порошок в точну кількість — залежно від заданої дози.

Кількість обертів шнека або час роботи точно контролюється. Це дозволяє видавати точну масу порошку, наприклад, 1 кг.

Пакувальний матеріал (наприклад, ПЕТ-плівка або ламінат) формується у мішечок або стік, і порошок заповнює упаковку.

Верх пакета запаюється гарячими елементами, формуючи герметичну упаковку.

Упаковані одиниці відводяться на накопичувач або стрічку для подальшого маркування/складування.

Обґрунтування вибору пакувальної машини:

1. Підходить для порошкоподібних продуктів: калій сорбат після сушіння та просіювання — це сухий сипкий порошок, а шнековий дозатор спеціально призначений для дозування та фасування сухих матеріалів з середньою або низькою текучістю. Він не створює пилу та запобігає просипанню, забезпечуючи чистоту процесу пакування.

2. Висока точність дозування: гвинтовий механізм подає точно відміряну кількість продукту (наприклад, 50 г, 100 г, 1 кг тощо).

3. Автоматизація та продуктивність: пакувальна відбувається безперервно.

4. Універсальність і зручність зміни типу упаковки: машина сумісна з різними типами пакувального матеріалу (пакети, саше, стіки, пластикові банки).

Можна легко змінити дозу, тип упаковки та розмір партії, що зручно для гнучкого виробництва.

5. Контроль втрат і надійність: гвинтова система мінімізує втрати завдяки точній механіці. Обладнання має захист від блокувань та зависання продукту, що особливо важливо при тривалих циклах.

2.6 Розрахунок реактора з лопатевою мішалкою

Реактори з мішалками є ключовим елементом хімічного апаратобудування, а також у виробництві фармацевтичних субстанцій. Основним завданням таких апаратів є забезпечення інтенсивного перемішування реагентів з метою підвищення швидкості та повноти хімічних реакцій.

Однією з найпоширеніших конструкцій є реактор з лопатевою мішалкою, що дозволяє ефективно перемішувати середовища з різною в'язкістю та фазовим складом.

Конструкція апарата зазвичай включає такі основні елементи: електродвигун, корпус, муфту, опори, оболонку для теплообміну, ніжки для кріплення, перемішуючий пристрій (мішалку), штуцери для вводу/виводу реагентів.

Для виготовлення реакторів широко застосовують низьколеговані сталі групи А, такі як 09Г2, 14Г2, 16ГС, які відзначаються високою пластичністю, ударною в'язкістю та можливістю роботи при температурах до -70°C . Такі сталі є доцільними для неагресивних середовищ. Для агресивних умов використовують високолеговані, корозійностійкі сталі (наприклад, X18H10T, X17H13M2T), титанові сплави та двошарові метали, що забезпечують довговічність і захист від хімічного руйнування [14].

Коли мова йде про фармацевтичне виробництво, особлива увага приділяється вибору матеріалів із високою хімічною стійкістю та чистотою поверхонь. Так, титанові сплави та скляна апаратура мають переваги через інертність, легкість очищення та прозорість, що дозволяє візуальний контроль процесу. Скляні реактори часто використовують у тонкому органічному синтезі, де потрібен точний контроль умов [14].

Головним завданням розрахунку є вираховування конструктивних

параметрів апарата: діаметру і висоту реактора, розміщення кожуха для теплообміну, частоту обертання, діаметр і форму лопатей мішалки.

Розрахунок реактора з лопатевою мішалкою [15,16]

Повний об'єм реактора, л: 350

Робочий об'єм реактора, л: 300

Число обертів мішалки, об/хв: 800

Знаходимо діаметр лопатевої мішалки за формулою (2.40):

$$\frac{d_m}{D} = 0,5 \dots 0,7 \quad (2.40)$$

Де d_m — діаметр мішалки, мм

D — діаметр ємності реактору, мм

Ми обираємо відношення діаметра мішалки до діаметра реактора $\frac{d_m}{D} = 0,7$ оскільки таке значення забезпечує інтенсивніше перемішування, що є особливо доцільним при проведенні гетерогенного процесу. А також це дозволяє досягти більш рівномірного розподілу компонентів по всьому об'єму реакційної маси.

$$d_m = 0,7 * 700 = 490 \text{ мм}$$

Отримане значення округлюємо до стандартного: $d_m = 500$ мм;

Знаходимо висоту лопаті за формулою (2.41):

$$\frac{h}{d_m} = 0,2 \quad (2.41)$$

Де h — висота лопаті, мм

$$h = 0,2 * 500 = 100 \text{ мм}$$

Визначаємо висоту елементів лопаті за формулою (2.42)

$$\frac{h_1}{d_m} = 0,3 \quad (2.42)$$

Де h_1 — висота елементів лопаті, мм

$$h_1 = 0,3 * 500 = 150 \text{ мм}$$

Ширину перегородок визначаємо за формулою (2.43):

$$\frac{b}{d_m} = 0,008 \quad (2.43)$$

Де b — висота елементів лопаті, мм

$$b = 500 * 0,008 = 4 \text{ мм};$$

Розраховуємо загальну висоту мішалки за формулою (2.44)

$$H = 0,75 * D \quad (2.44)$$

$$H = 0,75 * 900 = 675 \text{ мм}$$

Знайдемо густину суміші за формулою (2.45):

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{x_T}{\rho_T} + \frac{(1 - x_T)}{\rho_B}} \quad (2.45)$$

Де ρ_B — густина рідкої фази, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

ρ_T — густина твердої фази, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

x_T — частка твердої фази

$$\rho_c = \frac{1}{\frac{0,721}{1359,3} + \frac{(1 - 0,721)}{1049,48}} = 1\,255,86$$

Розрахуємо об'ємну частку твердої фази на формулою (2.46):

$$\varphi_T = \frac{x_T * \rho_c}{\rho_B}$$

$$\varphi_T = \frac{0,721 * 1\,255,86}{1049,48} = 0,86 \quad (2.46)$$

Визначаємо динамічну в'язкість суміші за формулою: (2.47)

$$\mu_c = \mu_p * (1 + 4,5 * \varphi) \quad (2.47)$$

$$\mu_c = 0,015 * (1 + 4,5 * 0,86) = 0,073 \text{ Па с}$$

Визначаємо число Рейнольдса для мішалки за формулою (2.48):

$$Re_m = \frac{\rho * n * d^2}{\mu} \quad (2.48)$$

Де n — число обертів мішалки, об/хв

$$Re_m = \frac{1\,255,86 * 13,3 * 0,5^2}{0,073} = 57\,201,84$$

Розрахуємо потужність, яка необхідна мішалці у робочий період за формулою (2.49):

$$N_p = Eu_m * d^5 * n^3 * \rho_c \quad (2.49)$$

$$N_p = 0,1 * 0,5^5 * 13,3^3 * 1\,255,86 = 9\,233,07 \text{ Вт}$$

Розрахуємо поплашковий коефіцієнт за формулою (2.50):

$$f_H = \sqrt{\frac{H}{D}} \quad (2.50)$$

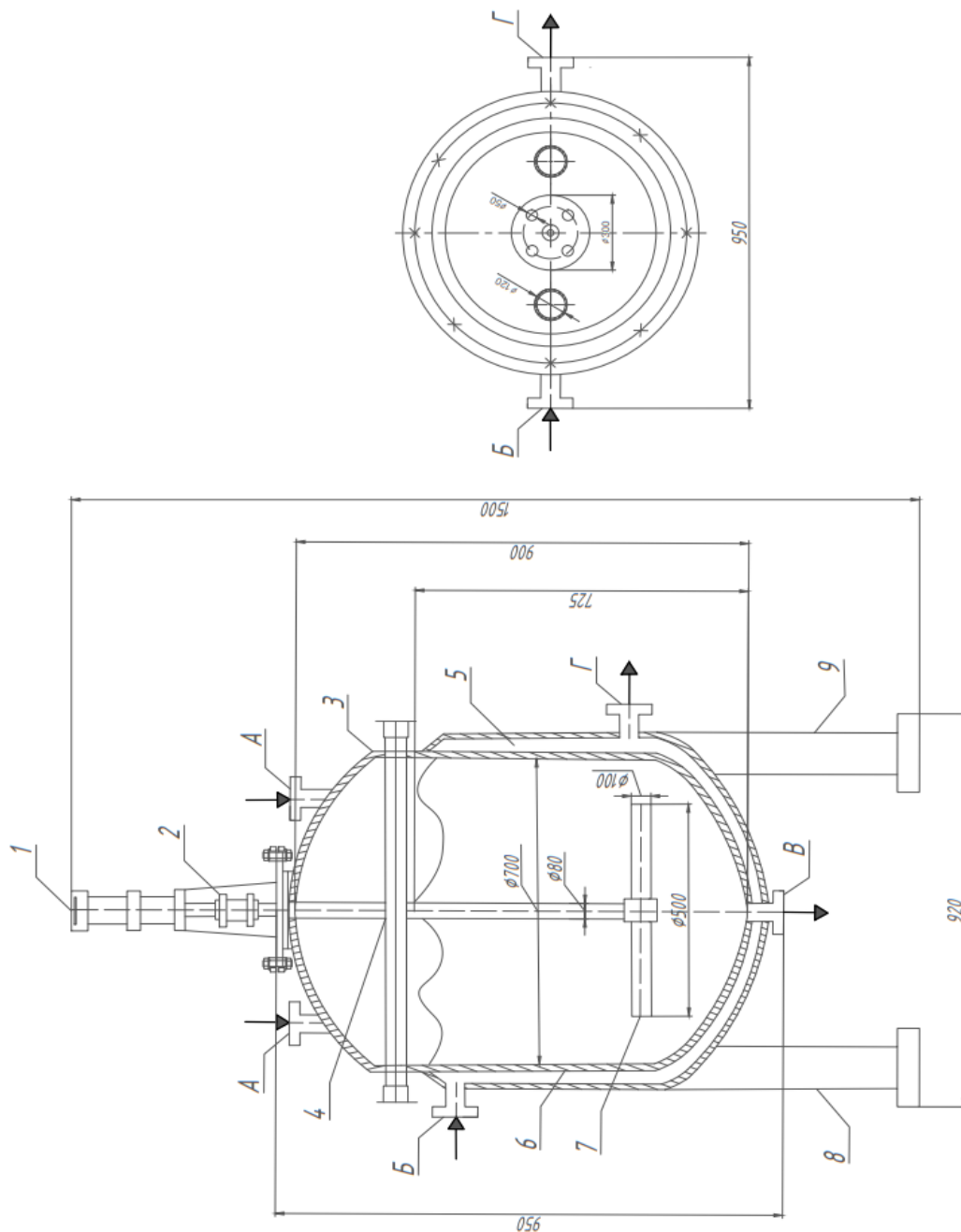
$$f_H = \sqrt{\frac{675}{700}} = 0,96$$

Знайдемо потужність електродвигуна мішалки за формулою (2.51):

$$N = \frac{f_{\pi} * N_p * f_H}{1\,000 * \eta} \quad (2.51)$$

$$N = \frac{1,2 * 9\,233,07 * 0,96}{1\,000 * 0,85} = 12,51 \text{ кВт}$$

Конструкція, будова та основні розміри реактора з лопатевою мішалкою об'ємом 350 літрів наведені на рисунку 2.13.



Технічна характеристика	Значення
Запасний об'єм, л	350
Робочий об'єм, л	300
Тип мішалки	лопатева
Частота обертання мішалки, об/хв	800
Внутрішній діаметр корпусу, мм	700
Діаметр мішалки, мм	500
Потужність електродвигуна мішалки, кВт	12,51
Габаритні розміри, мм	950 * 760 * 1500

Позначення	Назва	К-ть	Примітка
A	Вид компонента	2	50
B	Вид теломася	1	50
B	Вид компонента	1	50
F	Вид теломася	1	50

Позначення	Назва	К-ть	Примітка
8,9	Лінійка	2	
7	Рістак	1	
6	Корпус корпусу	1	
5	Об'ємне гасіння	1	
4	Вал мішалки	1	
3	Корпус	1	
2	Мішалка	1	
1	Електродвигун	1	
	Кількість		

Рисунок 2.13 – Реактор з лопатевою мішалкою

2.7 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва

Апаратурна схема виробництва калію сорбату відображає послідовність технологічних стадій, необхідних для отримання готового продукту, а також перелік основного обладнання, задіяного у процесі.

Сорбінова кислота та 50% розчин калій гідроксиду подається в реактор **1**, де відбувається реакція нейтралізації, в результаті якої утворюється суспензія. Тверда частина включає калій сорбат, сорбінову кислоту та домішки, а рідина містить воду, що утворилася під час реакції, луг та невелику кількість розчиненого калій сорбату. Неочищена суспензія калій сорбату за допомогою гвинтового насоса **2** транспортується до фільтра **3**. У фільтрі відбувається відділення твердої суміші калій сорбату та водного розчину калій гідроксиду, який надходить на утилізацію. Тверда суміш калій сорбату транспортується до проміжної ємності **4**.

Тверда суміш калій сорбату норією **5** та дистильована вода надходить до реактора **6**. В реакторі утворюється водна суспензія калій сорбату, яка через гвинтовий насос **7** подається до фільтра **8**. Відбувається розділення суспензії на тверді домішки, які залишаються утилізуються, і водний розчин калій сорбату.

Водний розчин калій сорбату за допомогою відцентрового насоса **9** надходить до проміжної ємності **10**, після чого відцентровим насосом **11** транспортується до розпилювальної сушарки **13**. Паралельно повітря надходить до калорифера **12**, де здійснюється його нагрів. Відпрацьований аерозоль потрапляє до циклону **14** для очищення від твердих частинок, після чого надходить до адсорбційного осушувача **15**, де водяна пара поглинається оксидом алюмінію. У цьому ж апараті відбувається регенерація адсорбенту з подальшим видаленням вологи з потоку повітря.

Порошок калій сорбату пневмотранспортом **16** подається на вібраційне сито **17**, де відділяється просіяний калій сорбат. калій сорбат, що відповідає вимогам, опадає в проміжну ємність **18**. Далі відбувається пакувальна на пакувальній машині **19**.

Апаратурно – технологічна схема виробництва наведена на рисунку 2.4.

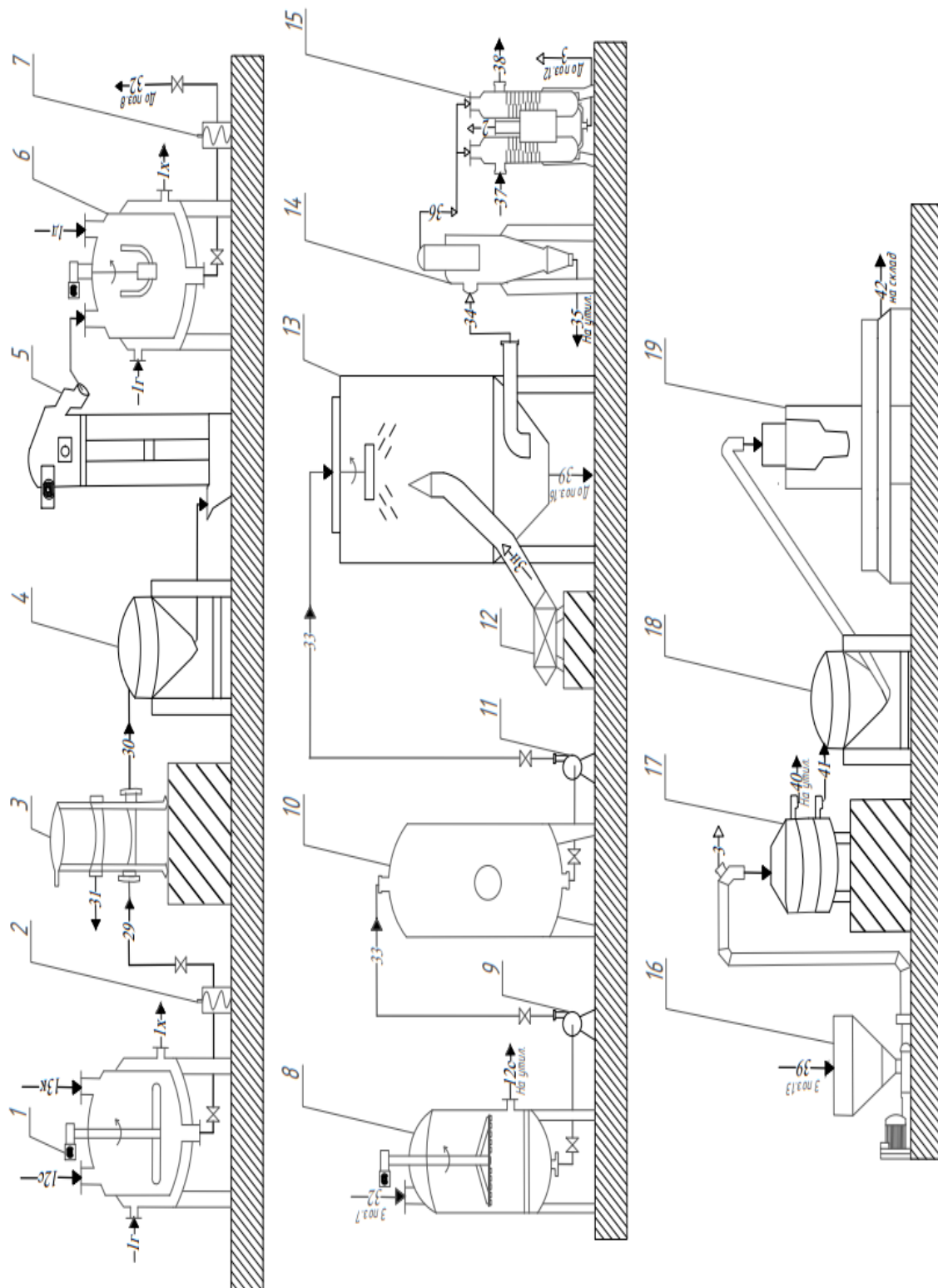


Рисунок 2.14 – Апаратурно-технологічна схема виробництва калій сорбагу

РОЗДІЛ ІІІ ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Вартість 1 кг калій сорбату – 300 грн. Щоденний обсяг виробництва складає 1000 кг. Визначаємо дохід за один день за формулою (3.1):

$$\text{Дохід} = 1000 * 300 = 300\,000 \text{ грн} \quad (3.1)$$

Один із побічних продуктів виробництва — водний розчин калію сорбату, що утворюється після стадії фільтрації, може розглядатися як додаткове джерело прибутку для підприємства.

Для розрахунку орієнтовної ціни його реалізації було враховано вартість реагентів: 46 кг луґу за ціною 65 грн/кг (2 990 грн), 40 кг сорбінової кислоти по 300 грн/кг (12 000 грн) та 595 кг води по 21 грн/кг (12 495 грн). Загальна сума витрат склала 27 485 грн. Оскільки отриманий розчин потребує доочищення, його доцільно реалізовувати за 50 % від загальних витрат, що становить приблизно 13 742,50 грн за партію. Такий підхід дозволяє частково компенсувати витрати на виробництво та покращити економічну ефективність підприємства.

Тоді визначаємо загальний дохід від підприємства за формулою (3.2):

$$\text{Загальний дохід} = 13\,742,5 + 300\,000 = 313\,742,5 \text{ грн.} \quad (3.2)$$

Витрати на пакування

Для пакування 1000 кг продукції використовується два типи упаковки: 300 кг розфасовано у мішки по 1 кг, решта 700 кг – в мішки по 25 кг.

Ціна мішка 1 кг – 3,10 грн.

Ціна мішка 25 кг – 4,50 грн.

Звідси витрати на пакування визначаємо за формулою (3.3):

$$\text{Витрати на пакування} = 300 * 3,10 + 700 * 4,50 = 4\,080 \text{ грн} \quad (3.3)$$

Витрати на сировину

Для виробництва необхідні такі матеріали, як сорбінова кислота, гідроксид калію, вода та оксид алюмінію.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ ІІІ ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ		ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.061.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.			Інд. змін.	Дата видання 15.04.2025	Мова українська	Аркуш 61/81

Витрати сировини на виробництво калій сорбату на виробництво калій сорбату наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Витрати сировини на виробництво калій сорбату

Назва сировини	Кількість сировини,кг	Вартість за кілограм, грн	Загальна вартість, грн
Сорбінова кислота	849	191	162 159
Розчин калій гідроксиду	940	65	58 280
Вода	1000	21	21 000
Оксид алюмінію	100	90	9 000
Всього			250 439

Заробітна плата працівників

Загалом на виробництві працює 11 працівників, які працюють протягом 20 робочих днів на місяць. Загальна сума заробітних плат становить 320 000 грн на місяць і розподіляється наступним чином: троє працівників отримують – 20 000 грн; двоє працівників – 25 000 грн ; та сім працівників – 30 000 грн.

За формулою (3.4) визначаємо суму заробітних плат за день:

$$\frac{320\,000}{20} = 16\,000 \text{ гривень на день} \quad (3.4)$$

Податки

ЄСВ для 11 працівників: 22% від мінімальної заробітної плати щомісячно, в 2024 році він складає 1760 грн. Для 11 працівників ця сума складає 19 360 гривень на місяць. Для обчислення на день використовуємо формулу (3.5)

$$\text{ЄСВ на день} = \frac{19\,360}{20} = 968 \text{ грн на день} \quad (3.5)$$

Єдиний податок: 15 000 грн.

Військовий збір (1% від доходу): 3 000 грн.

Тоді визначаємо розмір загального податку за формулою (3.6):

$$\text{Загальні податки} = 15\,000 + 3\,000 + 968 = 18\,968 \text{ грн.} \quad (3.6)$$

Комунальні затрати

Енергетичні витрати за весь процес наступні: реактор – 75 кВт, самоочисний фільтр – 15 кВт, 2 реактор – 27 кВт, нутч фільтр – 24 кВт, сито – 12 кВт, пакувальна машина – 7,8 кВт, підготовка повітря, регенерація аерозолі та сушіння - 97 кВт. Загальні витрати 258 кВт – 1 115 грн. З врахуванням витрат на роботу насосів та інші витрати приймаємо комунальні затрати 1 200 грн.

Загальні витрати на день:

Загальну суму витрат визначаємо за формулою (3.7):

$$\text{Витрати} = 250\,439 + 4\,080 + 16\,000 + 18\,968 + 1\,200 = 290\,687 \text{ грн} \quad (3.7)$$

Прибутковість

Прибуток як економічний показник визначається як різниця між ціною та собівартістю продукції; між обсягом виручки та сумою витрат на виробництво, реалізацію продукції, фінансових та інвестиційних витрат [17].

За формулами (3.8) – (3.9) визначаємо прибуток та рентабельність.

$$\text{Прибуток} = \text{Дохід} - \text{Витрати} = 313\,742,5 - 290\,687 = 23\,055,5 \text{ грн} \quad (3.8)$$

$$\text{Рентабельність} = \frac{\text{Прибуток}}{\text{Дохід}} * 100\% = \frac{23\,055,5}{313\,742,5} * 100 = 7,4\% \quad (3.9)$$

РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

4.1 Методи аналізу та контролю калій сорбату

Перевірка показників якості калій сорбату є критично важливим етапом у процесі його виробництва та контролю якості готової продукції. Оскільки калій сорбат широко використовується як консервант у харчовій, косметичній та фармацевтичній промисловості, необхідно забезпечити відповідність його характеристик встановленим нормативам для гарантування безпеки та ефективності застосування.

Для забезпечення високої якості калію сорбату важливо дотримуватись суворих вимог до чистоти та наявності мінімальної кількості шкідливих домішок. Контроль за рівнем вологості, лужності, а також токсичних речовин, таких як альдегіди, важкі метали і миш'як, гарантує безпеку та ефективність продукту.

EFSA (Європейське агентство з безпеки харчових продуктів) встановлює строгі вимоги до безпеки харчових добавок, включаючи калій сорбат. Ось основні показники, які EFSA вимагає перевіряти для забезпечення безпеки і якості таких продуктів [18]:

Чистота калію сорбату: не менше 99,0 % мас.

Лужність: не більше 1 % — це вказує на кількість лужних домішок, які можуть впливати на стабільність продукту.

Альдегіди (у перерахунку на формальдегід): не більше 0,1 % — цей показник важливий для визначення наявності шкідливих домішок, таких як формальдегід, який є токсичним.

Миш'як (As): не більше 3 мг/кг — токсична домішка, яка може потрапляти в продукт в процесі виробництва або через сировину.

Свинцеві сполуки (Pb): не більше 5 мг/кг — свинець також є токсичним і навіть малі його кількості можуть бути небезпечні для здоров'я.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ		ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.064.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.			Інд. змін.	Дата видання 15.04.2025	Мова українська	Аркуш 64/81

Ртуть (Hg): не більше 1 мг/кг — ртуть є дуже токсичним металом.

Вміст води: $\leq 12\%$.

- Визначення вмісту основної речовини.

– Перевірка зовнішнього вигляду калій сорбату є першим етапом контролю. Продукт повинен бути однорідним, без сторонніх включень і забруднень, з правильним кольором і структурою. У разі наявності видимих дефектів або зміни кольору продукту, його відбраковують.

- Визначення вмісту основної речовини.

Зважують з точністю до 0,1 мг 0,25 г зразка, попередньо висушеного при 105° протягом 3 год. Розчиняють у 36 мл льодяної оцтової кислоти та 4 мл оцтового ангідриду в 250 мл скляній притертій колбі, нагріваючи до утворення розчину. Охолоджують до кімнатної температури, додають 2 краплі кристалічного фіолетового і титрують 0,1 н розчином хлоридної кислоти в льодяній оцтовій кислоті до появи синьо-зеленого забарвлення яке зберігається щонайменше 30 секунд. Кожен мл 0,1 N хлоридної кислоти еквівалентний 15,02 мг $C_6H_7KO_2$ [19].

- Тест на подвійні зв'язки.

Метод засновано на обезбарвленні бромної речовинами, що містять подвійні зв'язки. Пробу масою 0,020 г розміщують у пробірку і додають піпеткою 1 см³ бромної води. Зникнення помаранчевого забарвлення після струшування пробірки підтверджує наявність подвійного зв'язку [20].

Тест на кислотність або лужність

– Розчиніть 1,1 г зразка в 20 мл води і додайте 3 краплі фенолфталеїну. Якщо розчин безбарвний, відтитруйте 0,1 н розчином гідроксиду натрію до рожевого забарвлення, яке зберігається протягом 15 секунд. Потрібно не більше 1,1 мл. Якщо розчин має рожеве забарвлення, яке зберігається протягом 15 секунд відтитруйте 0,1 N розчином соляної кислоти. Для зникнення рожевого забарвлення потрібно не більше 0,8 мл [20].

– Хроматографічні методи широко застосовуються для визначення калію сорбату як індивідуально, так і в суміш з іншими консервантами. Ці методи

забезпечують високу чутливість та точність аналізу. У таблиці 4.1 наведено основні аналітичні параметри калію сорбату, а також характеристики відповідних хроматографічних методів, що використовуються для його аналізу.

Таблиця 4.1 — Хроматографічні методи визначення калію сорбату [21]

Препарати	Метод	Колонка	Рухома фаза	Детектор	λ (довжина хвилі)
Натрій бензоат та сорбат калію	Високоєфективна рідинна хроматографія з ультрафіолетовим детектуванням	C18 HPLC колонка (15 см $\times$ 3,9 мм, 5 мкм)	Буфер ацетату амонію:ацетонітрил (72:28)	УФ	225 та 255 нм
Натрій бензоат та сорбат калію	Рідинна хроматографія з тандемною мас-спектрометрією	Phenomenex 150 $\times$ 2 мм, 4.1 HPLC колонка	Буфер ацетату амонію:метанол (50:50)	Мас-спектроскопія	

Масова частка альдегідів

Метод заснований на визначенні альдегідів за допомогою фуксин-сірчаного реактиву (реактив Шиффа).

Приготуйте 0,3% розчин зразка, доведіть рН до 4 за допомогою 1N HCl і відфільтруйте. До 5 мл фільтрату додайте 2,5 мл реактиву Шиффа і залиште на 10 - 15 хв. Порівняйте забарвлення з кольором 5 мл контрольного розчину, що містить 15 мкг формальдегіду замість досліджуваного розчину. Колір досліджуваного розчину не повинен бути інтенсивнішим за колір контрольного розчину [19].

Визначення вологості

Вологість сорбату калію вимірюється за допомогою спеціальних вологомірів. Вміст води в сорбату калію не повинен перевищувати 12%, оскільки надмірна вологість може знижувати його ефективність, сприяти гідролізу та деградації, а також викликати злипання, що ускладнює його зберігання та використання.

4.2 Допустимі рівні споживання та токсикологічна оцінка калію сорбату

Консерванти повинні відповідати ряду вимог, аби їхнє використання було безпечним, ефективним і економічно обґрунтованим.

Консерванти повинні бути безпечними для організму людини та використовуватися в концентраціях, мінімальних для досягнення необхідного технологічного ефекту. Вони повинні ефективно справляти антимікробну дію, не змінюючи органолептичних властивостей продукту, і залишатися стабільними протягом всього терміну зберігання. Крім того, ці речовини повинні бути технологічними, економічними та не впливати на мікробіологічні процеси, передбачені технологією виробництва продукту [22].

Крім цього, можна назвати ще декілька важливих умов використання

- Вплив на харчову цінність продукту: консерванти не повинні знижувати поживні властивості продукту, зокрема втрачаються вітаміни, мінерали та інші корисні складники.

- Технічні міркування: Додавання консервантів може вплинути на фізичні та хімічні властивості продукту, тому його використання повинно бути узгоджене з технологією виробництва. Це важливо для забезпечення не тільки ефективності консервування, але й збереження необхідних характеристик продукту, таких як смак, текстура, зовнішній вигляд та стабільність.

Водночас, ефективність консервантів, які використовуються для запобігання розвитку мікроорганізмів та псуванню продуктів, залежить від багатьох факторів, включаючи їхню безпечність для здоров'я, відповідність законодавчим вимогам і технологічні аспекти. Важливість правильного вибору і використання консервантів важко переоцінити, оскільки будь-яке порушення нормативів або застосування шкідливих добавок може привести до серйозних наслідків для здоров'я споживачів.

Регламенти та стандарти: Консерванти, що використовуються в харчовій промисловості, суворо регламентовані на рівні національних та міжнародних стандартів. Ці норми визначають допустимі концентрації харчових добавок,

методи контролю якості та процедури реєстрації. Вони сприяють забезпеченню безпеки продуктів, дотриманню вимог щодо їх складу та забезпеченню відповідності вимогам здоров'я споживачів.

Відповідно до Закону використання харчових добавок у виробництві харчових продуктів можливе тільки після їхньої реєстрації центральним органом виконавчої влади у сфері охорони здоров'я. Добавка може бути зареєстрована тільки, якщо: існує обґрунтована технологічна необхідність [23].

Загалом, сорбат калію безпечний для здоров'я людини та навколишнього середовища за умови правильного використання. Використання калію сорбату регламентується міжнародними (наприклад, Codex Alimentarius) і національними нормативами, зокрема технічними регламентами України, ЄС та інших країн. Дотримання допустимих норм є обов'язковим для гарантування безпеки продуктів для споживача.

Максимально допустима добова доза (ADI) складає 25 мг/кг маси тіла, що забезпечує його безпечність у харчових продуктах. У водному середовищі сорбат калію розпадається на нешкідливі компоненти з мінімальним впливом на екосистему. Однак, для уникнення потенційних ризиків, необхідно ефективно контролювати очищення відходів на виробництві, особливо при скиданні концентрованих розчинів у навколишнє середовище [24].

В основному він окислюється до CO_2 та H_2O . Тому 80–86 % виводиться через легені у вигляді CO_2 . 2 – 10% було виявлено в сечі у вигляді сечовини та в незначній концентрації у вигляді сорбінової та муконієвої кислот. Виведення через легені завершувалося через 10 годин [24].

Максимально допустимі рівні (МДР) додавання калію сорбату до харчових продуктів залежать від типу продукту та законодавчих норм певної країни. Зазвичай концентрація сорбату калію у харчових виробках становить від 0,1% до 0,2% (1000–2000 мг/кг або мг/л).

В Україні граничні концентрації калію сорбату у харчових продуктах змінюється, залежно від виду продукту. Наприклад: для мармеладів, желе та десертів – 1 000 – 1 500 мг/кг; для десертів на основі молока – 300 мг/кг; для

слабоалкогольних напоїв та фруктових вин – 200 мг/кг; для фруктових нектарів та ароматизованих напоїв – 300 мг/кг; для емульсій жирів, соусів та сиропів – 1000 мг/кг; для фруктових і овочевих соків – 500 мг/кг; для рибних продуктів (напівконсервованих, консервованих, сушених) – 2000 мг/кг; для маринованих овочів, олив, грибів – 1 000 мг/кг.

Гранично допустима концентрація для калій сорбату (E202) у харчових продуктах становить 2 000 мг/кг продукту.

4.3 Сучасні технології аналізу консервантів у харчових продуктах

Калій сорбат є одним із найпоширеніших консервантів, що використовуються в харчовій промисловості через його антимікробні властивості. Проте, попри значну роль цієї речовини у забезпеченні якості та безпеки харчових продуктів, існують випадки недобросовісного використання калію сорбату.

Деякі виробники можуть фальсифікувати харчові продукти, заявляючи про відсутність консервантів або не вказуючи їх у складі. Більше того, дослідження виявили випадки, коли калій сорбат додавався до продукції в надмірній кількості або використовувався без зазначення у маркуванні.

Система виявлення запахів — це неруйнівний і практичний метод оцінки якості харчових продуктів. Система імітує людський нюх і використовує масив сенсорів для виявлення запахів у просторі над зразком. Експерименти проводилися на звичайній томатній пасті без консервантів, приготуваної з концентрованого томатного соку.

Консерванти бензоат натрію та сорбат калію купували в хімічних магазинах. Кожен консервант зважували на цифрових вагах з точністю 0,01 додавали до 125 г томатної пасту. Далі зразки перемішували до повного розчинення консерванту. Під час цього процесу було підготовлено 5 зразків: зразок без консервантів (контроль), зразок, що містив 0,1% сорбату калію, зразок, що містив 0,05% сорбату калію, зразок, що містив 0,1% бензоату натрію, і зразок, що містив 0,05% бензоату натрію. Зразки залишали при кімнатній температурі на 2 години для отримання бажаних результатів і ілюстрації

передбачуваних фізико-хімічних змін. Через зазначений час були проведені фізико-хімічні та нюхові дослідження [25].

Система електронного носа виготовлена на основі сенсорів метал-оксид-напівпровідник (MOS). Компоненти цієї системи включають сенсорну камеру, камеру для зразків, мікронасос, 3/2-ходові електромагнітні клапани, система збору даних, джерело живлення 5 В і 12 В, фільтр вхідного повітря, а також інтерфейс для роботи з системою. Процедура полягала в тому, що кожен зразок поміщався в спеціальну закриту камеру, безпосередньо з'єднану з нюховим апаратом на 10 хвилин для виявлення запаху ольфакторним апаратом. Після закінчення заданого періоду машина ініціювала відбір зразків [25].

Методику проведення виявлення калій сорбату зазначено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 — Методика виявлення сорбату калію

Результати показали, що метод добре показав себе при виявленні різних відсотків консервантів у томатній пасті. Як показано в таблиці 2, цей метод правильно виявив усі зразки. Крім того, він правильно визначив 9 зразків з 10 зразків, і лише один зразок був визначений неправильно [25].

Іншим методом є пряма екстракцію зі зразків пасти або майонезу, подальше розділення за допомогою зворотно-фазової вискоєфективної рідинної хроматографії (RP-HPLC) та детектування за допомогою детектора на діодній матриці (DAD) при довжині хвилі 254 нм. Кількісне визначення консервантів здійснюється за допомогою рівняння калібрувальної кривої. Для валідації методу оцінюють такі параметри, як лінійність, діапазон, точність, прецизійність, межі виявлення (LOD), межі кількісного визначення (LOQ), придатність системи [26].

РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Виробництво калій сорбату супроводжується утворенням певної кількості промислових відходів, викидів та скидів, які можуть негативно впливати на навколишнє середовище.

З ціллю зниження впливу необхідно детально аналізувати джерела забруднень на всіх стадіях виробництва, а також впроваджувати відповідні заходи очищення та утилізації.

Утилізація рідких викидів

У результаті фільтрації після реакції нейтралізації утворюється водний розчин калій гідроксиду (KOH), який відповідно до класифікації небезпечних речовин належить до 2 класу небезпеки. Такий розчин не утилізується безпосередньо на підприємстві.

Водний розчин калію гідроксиду після реакції, що містить залишки гідроксиду калію, передається ліцензованій компанії, яка спеціалізується на очищенні хімічно забруднених стічних вод. Там проводять видалення води (за допомогою випарювання), а залишки використовуються як лужний компонент для регулювання рН в системах водоочищення.

Утилізація твердих відходів

Тверді залишки, зокрема вловлений калій сорбат після циклону та відділена сорбінова кислота, утилізуються відповідно до чинних стандартів екологічної безпеки.

Сорбінова кислота та калій сорбат є органічними речовинами 4 класу небезпеки, тому можуть бути утилізовані за допомогою методу біодеструкції (біодеградації). Цей спосіб передбачає розкладання сполук під дією мікроорганізмів *Penicillium roqueforti* у біоочисних установках або ферментативних реакторах. Для ефективного протікання процесу необхідні аеробні умови (наявність кисню), температура 25–30 °C.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА		НННХТ.ХТ-4-14.025.161.071.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.			Інд. змін.	Дата видання 15.04.2025	Мова українська	Аркуш 71/81

В результаті біодеградація калій сорбату та сорбінової кислоти утворюється вода, вуглекислий газ. Такий метод дозволяє ефективно знизити вплив на навколишнє середовище під час утилізації органічних залишків.

Утилізація газових викидів

Після стадії сушіння у розпилювальній сушарці утворюється відпрацьований аерозоль, що містить тверді частинки та водяну пару. Цей аерозоль надходить до циклонного відділювача, де відбувається ефективне видалення твердих частинок, які в подальшому підлягають утилізації.

Суміш повітря з парою після циклону подається в адсорбційний відділювач, заповнений оксидом алюмінію, який виконує роль осушувача. Оксид алюмінію поглинає залишкову водяну пару, після чого осушене повітря повертається у калорифер для повторного нагрівання та повторного використання у сушильному процесі.

У самому адсорбційному відділювачі відбувається регенерація оксиду алюмінію, що забезпечує його багаторазове застосування без втрати ефективності.

Така система дозволяє значно знизити витрати на нагрівання повітря та усунути потенційне джерело викидів у атмосферу, що сприяє дотриманню екологічних норм і підвищенню загальної енергоефективності виробництва.

Умови зберігання

Для пакування калій сорбату використовуються поліетиленові мішки низької щільності (LDPE), що піддаються термозварюванню. Це дозволяє мінімізувати використання додаткових матеріалів, таких як металічні кліпси, що зменшує обсяг відходів та покращує можливості переробки упаковки. Штабелі піддонів для транспортування покриваються поліетиленовою стрейч-плівкою, що забезпечує захист від вологи та механічних пошкоджень [27].

Калій сорбат, слід зберігати в окремому, спеціально відведеному приміщенні, яке повинно бути ізольоване від окисників, таких як калій перманганат, йод, водень пероксид, нітрат натрію та азотна кислота. Це необхідно для уникнення взаємодії з цими хімічними речовинами, що знижує

якість калію сорбату [28].

Приміщення для зберігання сорбату повинно бути сухим, прохолодним і добре вентильованим, з чітким контролем температури і вологості, щоб забезпечити стабільність і збереження його властивостей. Важливо також використовувати герметичні контейнери для зберігання калію сорбату і вологості, щоб забезпечити стабільність і збереження його властивостей.

Важливо також використовувати герметичні контейнери для зберігання калію сорбату і маркувати приміщення, щоб запобігти випадковому контакту з іншими хімічними речовинами.

Вплив калій сорбату на навколишнє середовище

Сорбати (тобто сорбінова кислота та її солі, включно з калієм сорбатов), після споживання тваринами, швидко та повністю метаболізуються до вуглекислого газу. Таким чином, жодних залишків у навколишньому середовищі не очікується.

Внесок калію (як елементу), що надходить з калію сорбату, у фоновий рівень калію в довкіллі вважається незначним.

EFSA дійшла висновку, що використання сорбінової кислоти або калію сорбату в годівлі тварин не становить загрози для навколишнього середовища.

Дії у разі надзвичайної ситуації

У разі виникнення техногенної ситуації (наприклад, загоряння або масового викиду пилу), слід негайно: повідомити відповідальних осіб і служби безпеки підприємства; евакуювати персонал із зони ураження; використовувати протипожежні засоби (вогнегасники вуглекислотного або порошкового типу); забезпечити провітрювання приміщення; після ліквідації — провести санітарну обробку зони та перевірку вентиляційної системи.

Для запобігання таким ситуаціям рекомендується регулярний інструктаж персоналу, планові перевірки обладнання та наявність аварійного плану дій.

РОЗДІЛ VI ЗАХОДИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Для гарантування безпеки працівників на підприємстві важливим аспектом є організація системи постійне спостереження за виконанням вимог з охорони праці під час поводження з калієм сорбатом.

За статтею 31 Regulation (EC) No 1907/2006 визначаються вимоги до надання паспорта безпеки речовини, зокрема якщо вона входить до списку обмежених або класифікованих речовин. Це означає, що виробник сорбату калію зобов'язаний передати користувачеві актуальну інформацію про ризики, умови зберігання, індивідуальний захист і заходи першої допомоги — що прямо стосується охорони праці [29].

Перед початком робіт відповідальна особа з охорони праці перевіряє наявність та справність ЗІЗ. Працівник не може розпочинати роботу, якщо було виявлено відсутність хоча б одного елементу захисту. Витрати на придбання та заміну ЗІЗ покриваються за рахунок підприємства.

Особливу увагу необхідно приділяти потенційно небезпечним речовинам. Під час роботи з водним розчином гідроксиду калію, який належить до 2 класу небезпеки, необхідно дотримуватися підвищених заходів безпеки. Ця речовина є сильною лугом, здатна викликати хімічні опіки шкіри, слизових оболонок та органів дихання. Всі операції з КОН повинні проводитися в добре вентильованих приміщеннях із використанням індивідуальних засобів захисту — захисних рукавичок, окулярів, лабораторного халата, за потреби — респіратора.

Усі поверхні, що можуть контактувати з речовиною, повинні бути виготовлені з матеріалів, які легко очищуються і не вбирають речовину.

Після завершення зміни або операцій з калієм сорбатом необхідно проводити вологе прибирання робочих зон. Для цього використовуються м'які тканини, просочені водою або нейтральними мийними розчинами. Залишки речовини не повинні змішуватись із побутовими відходами, а мають збиратись у

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ VI ЗАХОДИ ОХОРОНИ ПРАЦІ		ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.074.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.			Інд. змін.	Дата видання 15.04.2025	Мова українська	Аркуші 74/81

спеціально марковану тару, яка передається на утилізацію через відповідну службу.

Під час транспортування, зберігання та пересипання речовини слід уникати утворення пилу. У разі випадкового розсипання калію сорбату працівник зобов'язаний негайно повідомити про це керівника зміни або відповідального за безпеку.

Залежно від масштабу розсипання застосовуються такі заходи: локалізація речовини з використанням промислових пилососів або вологих ганчірок, збір залишків у закриту тару для утилізації, провітрювання приміщення, тимчасова зупинка робіт на дільниці. При підозрі на отруєння або подразнення працівникові слід негайно звернутися до медпункту підприємства.

Заборонено приймати їжу, пити воду або палити в зонах зберігання та використання калію сорбату. Робочий одяг не повинен виноситись за межі виробничих приміщень.

На кожному робочому місці мають бути доступні первинні засоби пожежогасіння, аптечка першої допомоги, аварійний душ та система сигналізації. Персонал має бути ознайомлений із планом евакуації та діями в разі надзвичайних ситуацій. Аварійні інструкції повинні регулярно перевірятись та оновлюватись відповідно до змін у виробничому процесі чи законодавстві.

З метою системного забезпечення безпечних умов праці підприємство зобов'язане впровадити організаційно-технічні заходи, спрямовані на запобігання виробничим травмам, професійним захворюванням і надзвичайних ситуацій. Зокрема, має бути розроблена та затверджена програма внутрішнього контролю за дотриманням норм, а також план реагування у разі виникнення аварій.

За статтею 4(2) директиви 98/24/ЕС, роботодавець повинен оцінити будь-який ризик для здоров'я працівників, що виникає внаслідок впливу небезпечних хімічних агентів, зокрема речовин, які мають специфічні властивості — у тому числі таких, як сорбінова кислота та її солі (калій сорбат), якщо вони є частиною виробничого процесу. У разі виявлення ризику мають застосовуватися

профілактичні заходи — наприклад, вентиляція, використання ЗІЗ, заміна речовин або модифікація процесів [30].

Усі працівники, задіяні на етапах зберігання, переміщення чи виробництва калію сорбату, повинні проходити первинний та періодичний інструктаж. Повторний інструктаж необхідно проводити не рідше ніж один раз на шість місяців, а позаплановий — у разі впровадження нових процесів або змін у технології.

Важливим елементом безпечного функціонування є перевірка та технічне обслуговування обладнання. Усі витяжні системи, фільтри, вентилятори, протипожежне обладнання повинні проходити технічний огляд відповідно до графіка, затвердженого інженером з охорони праці. Виявлені дефекти або несправності мають бути усунуті до моменту повторного запуску обладнання.

Крім того, необхідно забезпечити наявність усіх документів, які регламентують порядок поводження з хімічними речовинами — інструкцій, паспортів безпеки (MSDS), технічних умов, внутрішніх положень з безпеки праці. Усі документи мають зберігатися у доступному для працівників місці, з обов’язковим розміщенням ключових положень на інформаційних стендах.

За порушення вимог охорони праці працівника може бути піддано дисциплінарному стягненню, адміністративному штрафу чи, у найгіршому випадку, навіть кримінальній відповідальності, керуючись чинними законами України. Порушення фіксується у спеціальних актах перевірки, після чого працівнику видається письмове попередження або накладаються інші санкції згідно з правилами внутрішнього трудового розпорядку.

ВИСНОВКИ

1. Консерванти застосовуються для подовження терміну зберігання продукції за рахунок пригнічення розвитку мікроорганізмів. Основними групами консервантів є сорбати, бензоати й пропіонати, які відрізняються механізмом дії.

2. Серед досліджених методів найефективнішим для отримання калію сорбату визнано метод нейтралізації сорбінової кислоти гідроксидом калію, що відзначається простотою та коротким виробничим циклом. Альтернативні методи, такі як синтез із лактону триоцтової кислоти, є більш тривалими.

3. Розроблено принципову технологічну та апаратурно-технологічну схеми виробництва 1000 кг порошку калій сорбату метод нейтралізації.

4. Виконано розрахунок матеріального та теплового балансів, встановлено, що для виробництва 1 000 кг продукту необхідно використати 848,60 кг сорбінової кислоти та 939,1 кг розчину калій гідроксиду.

5. Здійснено підбір основного технологічного обладнання: два реактори, два фільтри, розпилювальна сушарка, циклон, адсорбційний осушувач, вібраційне сито та автоматична пакувальна машина. Зокрема, розраховано реактор об'ємом 350 л із лопатевою мішалкою для проведення синтезу.

6. Розрахунок економічної ефективності показав зростання рентабельності виробництва з 5,5% до 7,4% завдяки впровадженню адсорбційного осушувача, що в подальшому дозволило зменшити витрати на нагрівання повітря.

7. Визначено, що калій сорбат має проходити контроль якості за показниками чистоти речовини, вмісту вологи, лужності, вмісту альдегідів, а також обмеження вмісту токсичних домішок — миш'яку, ртуті та свинцю.

8. Рідкі відходи, що містять розчин гідроксиду калію, можуть бути реалізовані за зниженою вартістю як вторинний продукт. Інші відходи утилізуються через спеціалізовані організації відповідно до чинного законодавства.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В	Назва, додаткова назва ВИСНОВКИ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.077.КР.ПЗ				
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання	Мова	Аркуш	
				15.04.2025	ua	77/81	

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Awuchi C. G., Twinomuhwezi H., Igwe V. S., Amagwula I. O. Food Additives and Food Preservatives for Domestic and Industrial Food Applications. *Journal of Animal Health*. 2020. Vol. 2, № 1. P. 16.
2. Tuward J Dweh T. G., and other. Food storage and preservation. *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences*. 2024. Vol. 3, № 24.
3. Arora L., Kaur R. An Overview on Food Preservation Methods. *IJIRCST*. 2022. Vol. 10, № 2. P. 164 – 168.
4. Ramana B.V., Sai R. Preservatives used in Pharmaceuticals and impact on Health. *IJLBPR*. 2024. Vol. 12, № 1.
5. Sangani V. P., Davara P. R., Gohil G. D. Food Preservatives: Classification, Types, and Importance. *Agriculture & Food*. 2023. Vol. 5, № 8. P. 83 – 84.
6. Sheth S. P petition to add potassium sorbate to §205.601(e) and §205.601(i) of the national list. *Oro Agri*. 2021. P. 46.
7. Poddębniak P., Urszula Kalinowska-Lis U., A Survey of Preservatives Used in Cosmetic Products. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, № 1581 P. 15.
8. Dendooven E., Kerre S., Foubert K., Pieters L., Lambert J., Goossens An., Aerts O. Allergic contact dermatitis from potassium sorbate and sorbic acid in topical pharmaceuticals and medical devices. *Wiley*. 2021. Vol. 85, № 2. P. 171 – 177.
9. Kim M. S., Choi D., Yu J. H., Dumesic J. A. Huber G. W., Catalytic Strategy for Conversion of Triacetic Acid Lactone to Potassium Sorbate. *ACS Catalysis*. 2023. Vol. 13, № 21. P. 25.
10. Stopforth, J., Kudron T. Sorbic Acid and Sorbates. *Antimicrobials in Food*. 2020. P. 89 – 115.
11. Jesus J. H. F., Szilágyi I. M., Regdon G. J., Cavaleheiro E.T.G. Thermal behavior of food preservative sorbic acid and its derivates. *Food Chemistry*. 2021. Vol. 337, № 1. P. 9.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Біла Г.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Здоренко В.В	Назва, додаткова назва СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		ННХТ.ХТ-4-14.025.161.078.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.			Інд. змін.	Дата видання 15.04.2025	Мова українська	Аркуш 78/81

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

13. Selvamuthukumaran M., Tranchant C., Shi J. Spraying drying concept, application and its recent advances in food processing. *Handbook on Spray Drying Applications*. 2019. P. 30.

14. Сидоров Ю. І., Чуєшов В. І., Новіков В. П. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості: навч. посіб. Київ: НУХТ. 2009. 816 с.

15. Малезика І., Ф. Процеси і апарати харчових виробництв. Курсове проектування: навч. посіб. Київ: НУХТ. 2012. 543 с.

16. Мирончук В. Г. та інші. Розрахунки обладнання підприємств в переробної і харчової промисловості: навч. посіб. Вінниця: Нова книга. 2004. 288 с.

17. Ємцева Г.Ф. Економіка підприємства. Конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня бакалавр спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія” освітньо-професійної програми “Хімічна технологія” денної форми навчання. Київ: НУХТ. 2023. 170 с.

18. Scientific Opinion on the safety and efficacy of sorbic acid and potassium sorbate when used as technological additives for all animal species based on two dossiers from Nutrinova Nutrition Specialties & Food Ingredients GmbH. *EFSA*. 2015. Vol. 13, № 9. P. 15.

19. Toxicological evaluation of certain food additives with a review of general principles and of specifications. *World Health Organization (WHO)*. Geneva. 1974.

20. Воробйова В. І., Чигиринець О. Е., Пилипенко Т. М., Хрокало Л. А., Єфімова В. Г. Технічний аналіз харчових добавок та косметичних продуктів. Підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», освітньо-професійної програми «Хімічні технології косметичних засобів та харчових добавок». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 45 с.

21. Elrefay H., and other. Mini-review on various analytical methods for determination of certain preservatives in different matrices. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*. 2021. Vol. 8, № 2. P. 8.

22. Подобій О.В. Хімія та технологія харчових добавок. Конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічна технологія», денної та заочної форм навчання. Київ: НУХТ. 2019. 131 с.

23. Должикова О.В., Єрмоменко Р.Ф. Вимоги до безпеки, якості та санітарно-гігієнічна оцінка харчових добавок: зб. наук. праць за матеріалами Міжнар. наук.-практ. конф., 25 травня 2021. Харків: *НФаУ*. 2025. 63 – 64 с.

24. Younes M, Aquilina G., Castle L., Engel K-H., Paul Fowler P., and other. Opinion on the follow-up of the re-evaluation of sorbic acid (E200) and potassium sorbate (E202) as food additives. *EFSA Journal*. 2019. P. 46.

25. Sadriyan S., and other. Evaluating the adulteration of sodium benzoate and potassium sorbate in tomato paste on the physicochemical properties of the tomato paste using an olfactory machine and artificial intelligence. *Research Square*. 2022. P. 1 – 11.

26. Ghareghlou M., Afshar J., Seyed S. M. Simultaneous determination of potassium sorbate and sodium benzoate in processed food samples available in mashhad market with a validated method using Hplc-Dad. *Iranian Journal of Analytical Chemistry*. 2024. Vol. 10, № 2. P. 144 – 153.

27. Vitarelli G., Goergen F. Specialty Food & Pharma Ingredients you can trust. *Celanese*. 2020. P. 43.

28. Здоренко В.В., Біла Г.М. Комп'ютерне прогнозування впливу ряду факторів на ефективність використання калій сорбату, – 7 квітня 2025 р. Київ: НУХТ. Ч. 2. 290 с.

29. Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). *Official Journal of the European Union*. 2006. P. 1–849.

30. Directive 98/24/EC of the European Parliament and of the Council of 7 April 1998 on the protection of the health and safety of workers from the risks related to chemical agents at work. *Official Journal of the European Union*. 1998. P. 11–23.