

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

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

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

«\_\_» червня 2025 р.

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

«\_\_» червня 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

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

освітньо-професійної програми Хімічна технологія

на тему: Удосконалення технології виробництва глюконату кальцію

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

ПІСКУН Ангеліна Леонідівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

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

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

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент Віра ПЦЕНКО  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач(ка) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2025

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)

**Освітня програма "Хімічна технологія"**

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ТЖХТ**

**Тамара НОСЕНКО**

**“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року**

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА КВАЛІФАКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Піскун Ангеліна Леонідівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення технології отримання глюконату кальцію

керівник роботи Романова Олеся Олександрівна

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

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

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 1000 кг за добу

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Лист 1. Принципова технологічна схема 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	20.05.2025	28.05.2025

7. Дата видачі завдання 01 травня 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів курсового проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	ВСТУП	01.05.2025	
2	РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	06.05.2025-11.05.2025	
3	РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12.05.2025-25.05.2025	
4	РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	26.05.2025-27.05.2025	
5	РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІ	28.05.2025-29.05.2025	
6	РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	30.05.2025-31.05.2025	
7	ВИСНОВКИ	01.06.2025-02.06.2025	
8	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	15.05.2025-25.05.2025	
9	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	12.05.2025-18.05.2025	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	19.05.2025-25.05.2025	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД АПАРАТУ	20.05.2025-28.05.2025	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	03.06.2025-10.06.2025	

Здобувач

  
(підпис)

Ангеліна ПІСКУН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Олеся РОМАНОВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Піскун А.Л. Удосконалення технології отримання глюконату кальцію  
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА: 80 С, 15 РИС., 18 ТАБЛ., 28 джерел.

Тема кваліфікаційної роботи присвячена удосконаленню технології виробництва глюконату кальцію, шляхом встановлення центрифуги.

В даній роботі узагальнено інформацію про сировину та технологію виробництва глюконату кальцію потужністю 1000 кг/добу методом рідкофазного окиснення глюкози до глюконату натрію в результаті послідовних реакцій гетерогенного і гомогенного обміну з подальшою кристалізацією. Наведено детальну характеристику вихідних речовин, описано фізико-хімічні властивості, накреслено принципову й апаратурну технологічну схеми виробництва.

Матеріальний розрахунок представлений матеріальним балансом виробництва виготовлення продукції. Розрахована рентабельність виробництва вказує на його економічну доцільність. Здійснено підбір технічного обладнання та обрахунок параметрів вакуум-кристалізатор з урахування потрібних характеристик.

Досліджено організацію контролю якості готової продукції та описані заходи з охорони праці та навколишнього середовища, враховуючи вірогідні джерела забруднень розробленої технології.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** РЕГУЛЯТОР КИСЛОТНОСТІ, ХАРЧОВА ДОБАВКА, ГЛЮКОНАТ КАЛЬЦІЮ, ГЛЮКОЗА, ГЛЮКОНОВА КИСЛОТА, ЦЕНТРИФУГА

## **ABSTRACT**

EXPLANATORY NOTE: 80 pages, 15 figures, 18 tables, 28 sources.

The topic of the qualification work is devoted to the improvement of the technology of production of calcium gluconate, by adding a centrifuge.

This work summarizes information about the raw materials and technology of production of calcium gluconate with a capacity of 1000 kg/day by the method of liquid-phase oxidation of glucose to sodium gluconate as a result of sequential reactions of heterogeneous and homogeneous exchange with subsequent crystallization. A detailed characteristic of the starting materials is given, the physicochemical properties are described, the principle and instrumental technological scheme of production is outlined

The material calculation is presented by the material balance of production of products. The profitability of production is 10.4%, which indicates its economic feasibility. The selection of technical equipment and calculation of the parameters of the vacuum crystallizer were carried out taking into account the required characteristics.

The organization of quality control of finished products is studied and occupational and environmental protection measures are described, taking into account the probable sources of pollution of the developed technology.

**KEYWORDS:** ACIDITY REGULATOR, FOOD ADDITIVE, CALCIUM GLUCONATE, GLUCOSE, GLUCONIC ACID, CENTRIFUGE

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ...9	9
1.1 Основні відомості про харчові добавки.....9	9
1.1.1 Фізико-хімічні властивості глюконату кальцію.....14	14
1.2 Галузі використання глюконат кальцію .....16	16
1.3 Аналіз існуючих технологій виробництва глюконату кальцію та його вплив на навколишнє середовище.....21	21
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....25	25
2.1 Характеристика вихідної сировини для виробництва.....25	25
2.2 Опис принципової технологічної схеми.....27	27
2.3 Матеріальний розрахунок.....31	31
2.4 Розрахунок та підбір основного технологічного обладнання.....45	45
2.5 Опис апаратурно-технологічної схеми виробництва глюконату кальцію....59	59
РОЗДІЛ III ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....61	61
РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....65	65
РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....69	69
5.1 Охорона праці на підприємстві.....69	69
5.2 Охорона навколишнього середовища на виробництві.....71	71
ВИСНОВКИ.....75	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....77	77

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i>  НУХТ	<i>Розробник документа</i> Піскун А. Л.	Назва, додаткова назва  ЗМІСТ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.006.КР.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 6/80

## ВСТУП

Харчові добавки - речовини, які в основному додають до оброблених харчових продуктів, вироблених у промислових масштабах, для технічних цілей, наприклад, щоб покращити безпеку, збільшити кількість часу, протягом якого харчові продукти можна зберігати, або змінити сенсорні властивості їжі.

Це хімічні речовини, які додають до харчових продуктів, щоб зберегти їх свіжими або покращити колір, смак або текстуру. Вони можуть включати харчові барвники, підсилювачі смаку або низку консервантів.

Глюконат кальцію (E578) є поширеною харчовою добавкою, яка використовується як джерело кальцію в продуктах харчування, а також як стабілізатор і підкислювач. У сучасних умовах підвищеного інтересу до здорового харчування та профілактики дефіциту мікроелементів, особливо кальцію, роль таких функціональних інгредієнтів зростає. Дефіцит кальцію в організмі може призводити до порушень серцево-судинної системи, проблем із зубами та кістками. Саме тому важливо розглядати можливості його надходження не лише з природних джерел, але й через збагачення харчових продуктів.

Крім того, глюконат кальцію застосовують є в харчовій промисловості як стабілізатор текстури та регулятор кислотності, що підвищує якість та безпечність готової продукції. Дослідження цієї речовини дозволяє краще зрозуміти її властивості, механізми дії, вплив на організм людини та відповідність сучасним стандартам безпеки [1].

Насамперед, досліджена сполука використовується як джерело біодоступного кальцію, що особливо актуально для збагачення продуктів харчування. Кальцієва сіль глюконової кислоти - це антизлежувач, загусник, стабілізатор, регулятор кислотності. Завдяки своїй здатності зв'язувати іони,

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Піскун А. Л.	Назва, додаткова назва ВСТУП	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.007.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання	Мова	Аркуш
				01.05.2025	ua	7/80

стабілізує структуру желейних і пектиновмісних виробів, запобігаючи розшаруванню або осаду.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес синтезу та характеристики глюконату кальцію.

**Предмет дослідження** – глюконат кальцію.

**Мета роботи:** проаналізувати сучасну наукову-технічну літературу щодо виробництва глюконату кальцію та запропонувати шляхи удосконалення обраної технології отримання.

**Завдання роботи:**

1. проаналізувати та опрацювати дані літературних джерел щодо харчових добавок;
2. запропонувати та обґрунтувати шляхи удосконалення технології виробництва глюконату кальцію;
3. розрахувати матеріальний баланс виробництва;
4. описати принципову технологічну та апаратурно-технологічну схеми отримання глюконату кальцію;
5. розрахувати економічну ефективність.
6. запропонувати заходи з охорони праці та навколишнього середовища.

Враховуючи попит світового ринку на використання харчових добавок у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловостях, пошук оптимального методу отримання глюконату кальцію є актуальним питанням.

# РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Основні відомості про харчові добавки

Харчові добавки - природні або синтетичні речовини, які додають до продуктів харчування, щоб забезпечити їм бажаних властивостей і не вживаються самостійно у вигляді продуктів або звичайних компонентів їжі. При споживанні варто витримувати точне дозування та умови внесення; при зміні умов застосування та наявності нової наукової інформації статус харчової добавки може бути зміненим.

В Україні регламенти використання кожної конкретної добавки в продуктах харчування затверджує Міністерство охорони здоров'я «Ухвалами Головного державного санітарного лікаря України» і направлені на її безпечне застосування та на зниження надходження чужорідних речовин в організм людини. Більшість харчових добавок належать до GRAS-речовин (generally recognized as safe – безпечні). Тобто GRAS-речовини – це загально визнані безпечні речовини, зокрема, сіль та спеції, що використовуються протягом тисячоліть [2].

У харчовій промисловості мають широкий спектр властивостей чимало різних харчових добавок з метою досягнення певних технологічних цілей. У США нараховано близько 1500 видів, в Європі налічують 1200, а в Україні приблизно - 300 [3].

Індекс "Е", який позначає харчові добавки, спершу застосовували для зручності, в іншому випадку - це досить довга хімічна назва, яку важко помістити на маленькій етикетці. Наявність коду запевняє, що добавка офіційно дозволена в європейських країнах.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Піскун А. Л.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО- ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.009.КР.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 9/80

Згідно Європейської цифрової кодифікації харчові добавки класифікують:

E100 – E182 – барвники;

E200 – E299 – консерванти;

E300 – E399 –антиоксиданти;

E400 – E449 – стабілізатори консистенції;

E450 – E499 – емульгатори;

E500 – E599 – регулятори кислотності, розпушувачі;

E600 – E699 – підсилювачі смаку і аромату;

E700 – E800 – запасні індекси для можливої інформації;

E900 і далі – протипінні речовини;

E1000 та наступні – глазуруючі агенти, підсолоджувачі, добавки, що перешкоджають злежуванню цукру, солі, добавки для обробки борошна, крохмалю тощо [2,4].

Біологічно активні речовини – це сполуки, які внаслідок власних фізико-хімічних особливостей мають виняткову активність і виконують, змінюють або впливають на каталітичну (ферменти, вітаміни), енергетичну (ліпіди, вуглеводи), регуляторну (гормони) функції організму. Загальною рисою є висока активність у невеликих кількостях.

Використання харчових добавок зумовлено притаманним властивостей:

1. збереження поживних властивостей;
2. більший термін зберігання;
3. надання привабливого вигляду;
4. полегшення технологічної обробки продовольчої сировини, скорочення часу технологічної обробки [2].

Відповідно до технологічного призначення харчові добавки є важливими у використанні, бо забезпечують потрібний зовнішній вигляд і органолептичні властивості продукту; запобігають мікробному або окислювальному псуванню продуктів. Крім того, є необхідним в технологічному процесі виробництва та слугують покращувачами якості харчових продуктів. Комісія з Codex Alimentarius виділяє певний ряд її властивості харчових добавок (табл.1.1).

У харчовому виробництві є важливою підтримка необхідного рівня рН. Низьке значення рН забезпечує термін зберігання продуктів, уповільнюючи стійкість мікроорганізмів. Тому регулятори кислотності мають широко застосовуються у виробництві напоїв, м'ясних і рибних продуктів, мармеладу, желе, карамелі, кислих драже, жувальних гумок та цукерок. Зокрема, глюконат кальцію E578 є регулятором кислотності та харчовим ущільнювачем, який має попит у більшості країнах і є корисним у споживанні.

Перелік харчових добавок, дозволених для виробництва продуктів харчування або їх продажу, регулярно оновлюється та переглядається з урахуванням нових наукових даних щодо їх властивостей, а також впровадження нових речовин [1].

рН харчового продукту – це міра кислотності або лужності конкретного продукту. Шкала коливається від 0 до 14: коли менше 7 середовище є кислим, дорівнює 7 – нейтральним, більше 7 – лужним.

**Регулятори кислотності** слугують для зміни та контролю кислотності або лужності на певному рівні, важливому для обробки, смаку та безпеки харчових продуктів. Недостатній контроль рН може призвести до росту небажаних бактерій у продукті, що може становити потенційну небезпеку для здоров'я.

Наприклад, лимонна кислота (E330) посилює активність багатьох антиоксидантів, але не є антиоксидантом. Вона використовується як регулятор кислотності, а також як ароматизатор. Крім того, має здатність збільшувати гелеподібну консистенцію в мармеладі та зменшує ферментативне потемніння фруктів та фруктових продуктів.

Ацетат кальцію (E263) має кілька функцій. Зустрічається в деяких харчових продуктах в ролі загусника (суміші для тортів, пудинги, начинки для пирогів), але може діяти як буфер контролю рН їжі під час обробки, консервант для запобігання росту мікробів та як добавка кальцію в продуктах для тварин.

Глюконат кальцію (E578) – речовина, що має застосування в ролі регулятора кислотності для підтримки потрібного середовища в продуктах різного походження.

Також відомі сполуки, які є регуляторами кислотності й консервантами такі як: оцтова кислота, ацетати натрію й кальцію, молочна, яблучна, фумарова, аскорбінова й пропіонова кислоти, лактати натрій й кальцію тощо.

**Таблиця 1.1 – Ряд й властивості харчових добавок**

клас	Назва	Функція
1	кислоти	підвищують кислотність і надають кислий смак їжі
2	регулятори кислотності	змінюють або регулюють кислотність або лужність
3	anticaking agent	перешкоджають злежуванню і утворенню грудок
4	піногасники	попереджають або знижують утворення піни
5	антиокислювачі	підвищують термін зберігання харчових продуктів, захищаючи від псування, викликаного окисленням
6	наповнювачі	збільшують обсяг продукту, не впливаючи на енергетичну цінність
7	барвники	підсилюють або відновлюють колір
8	деякі речовини	стабілізують, зберігають, підсилюють забарвлення
9	емульгатори	утворюють або підтримують однорідну суміш двох або більше не змішуваних фаз, таких, як масло і вода в харчових продуктах;
10	емульгуючі солі	взаємодіють з білками сирів з метою попередження відділення жиру при виготовленні плавлених сирів
11	ущільнювачі рослинних тканин	надають або зберігають тканини фруктів і овочів щільними і свіжими
12	підсилювачі смаку	підсилюють природний смак і запах харчових продуктів;
13	речовини для обробки	додаються до борошна для поліпшення якостей або кольору
14	піноутворювачі	створюють умови для рівномірної дифузії газоподібної фази в рідкі та тверді харчові продукти
15	желеутворювачі	утворюють гелі
16	глазурувачі	надають блискучу зовнішню поверхню або захисний шар
17	вологоутримуючі агенти	охороняють їжу від висихання
18	консерванти	підвищують строк зберігання продуктів, захищаючи від псування, викликаного мікроорганізмами
19	пропіленти	газоподібні речовини, що виштовхують продукт з контейнера
20	розпушувачі	збільшують обсяг тіста
21	стабілізатори	зберігають однорідну суміш двох або більше незмішуваних речовин
22	підсолоджувачі	речовини нецукрової природи, які надають харчовим продуктам і готовій їжі солодкий смак
23	загусники	підвищують в'язкість харчових продуктів

### 1. 1. 1 Фізико-хімічні властивості глюконату кальцію

Протягом останніх років глюконат кальцію є цікавим об'єктом дослідження для фахівців, завдяки своїм фізико-хімічним властивостям та широкого спектру застосування в промисловостях, насамперед, як лікарський засіб та харчова добавка.

Серед лікарських засобів розповсюджені певні солі карбонових кислот алифатичного складу. Адже у вільному стані ці кислоти не використовуються в медицині через подразнюючу властивість.

Зокрема, калій ацетат – білий кристалічний порошок або безбарвні кристали, на повітрі розпливається. У воді розчинний, та у 96 % спирті легко розчинний. Добувається реакцією нейтралізації оцтової кислоти карбонатом калію. Застосовують при набряках, які пов'язані з порушенням кровообігу.

Хімічна формула:  $\text{CH}_3\text{COOK}$

Реакція утворення:  $2\text{CH}_3\text{COOH} + \text{K}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOK} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$

Кальцію лактат пентагідрат утворюється внаслідок молочнокислого бродіння цукру за наявності кальцію карбонату. Є порошком білого кольору, що розчинний у воді, малорозчинний в етанолі. Дана сполука вважається джерелом іонів кальцію, антиалергічним засобом, антитодом при певних отруєннях.

Хімічна формула:  $(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO})_2\text{Ca}$ .

Ідентифікація можлива за допомогою реакції на лактати або іони кальцію. Розчин калію перманганату знебарвлюється з утворення оцтового альдегіду з фруктовим ароматом [8].

Кальцій глюконат (рис 1.1) - кальцієва сіль D-глюконової кислоти із 9% вмістом кальцію. Відомий як харчова добавка, що виконує низку функцій: слугує регулятором кислотності, харчовим ущільнювачем, комплексоутворювачем тощо [1,5-7].

Хімічна формула:  $[\text{CH}_2(\text{OH})[\text{CH}(\text{OH})_4\text{COO}]_2\text{Ca}$

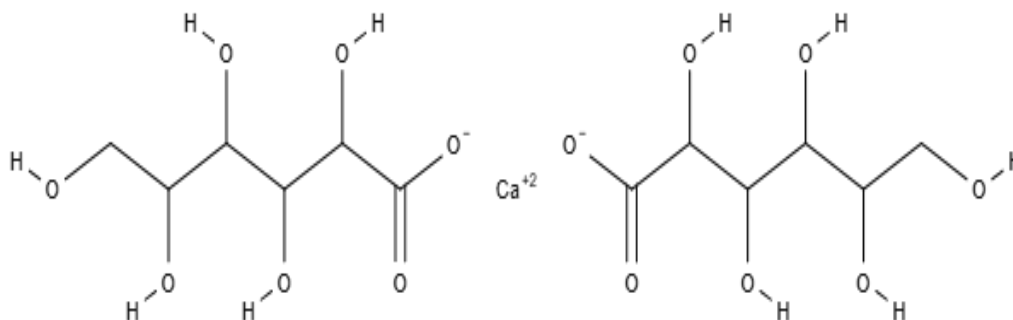


Рисунок 1.1 Структурна формула глюконату кальцію

Глюконат кальцію - білий кристалічний порошок або гранули без специфічного запаху, що стабільні на повітрі. Добре розчинний в холодній воді, кислотах і лугах, помірно розчинний в киплячій воді, однак нерозчинний в етанолі, ефірі та хлороформі. Характеризується безводною речовиною й моногідратом ( $\text{Ca}(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_7)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) різного гранулометричного складу.

Молекулярна маса безводної форми становить 430,38 г/моль.

Природні джерела: глюконова кислота E574.

Добування: основний метод полягає в електрохімічному окисненні глюкози за наявності крейди та бромної води.

Температура плавлення глюконату кальцію становить  $201^\circ\text{C}$ , густина – 0,30-0,65 г/см<sup>3</sup>. Водний розчин (10%) має невиражену лужну реакцію. рН визначається залежно від ступеня чистоти та умов приготування, зазвичай, становить 6,5-8,5. У лужному середовищі зазвичай відбувається часткова гідролізація. Також чутливий до вологи – поглинає воду з повітря.

Дана сполука розкладається розведеними мінеральними кислотами на глюконову кислоту та кальцієву сіль використаної мінеральної кислоти. Більш

концентрований (20-30%) водний розчин можна отримати при додаванні борної кислоти або інших схожих комплексоутворюювачих кислот. При взаємодії з кислотами глюконат кальцію має здатність розкладатись з утворенням глюконової кислоти та солей кальцію:



Допустима добова норма споживання: до 50 мг/кг маси тіла.

Форма випуску: розчин для ін'єкцій (10%) або таблетки по 500 мг.

До загальних властивостей карбонових кислот належать: здатність реагувати з лугами, утворювати осад з солями важких металів, вступати в реакції естерифікації зі спиртами та ін. У більшості випадків в медицині надають перевагу солям даного класу сполук: калію ацетат, кальцію лактат і глюконат.

Ідентифікація глюконату кальцію:

1. Метод тонкошарової хроматографії.
2. Субстанція має реакції на йони кальцію.
3. Нефармокопейна реакція – характерне темно-зелене забарвлення із розчином ферум (III) хлориду

Кількісне визначення: комплексонометрія,  $s=1$  [8].

## 1.2 Галузі використання глюконат кальцію

Наявність природних і синтетичних речовин, які використовуються в харчовій промисловості за останні кілька років переважно збільшується. Відомо про існування кілька тисяч харчових добавок. За певних умов вони мають токсичні властивості. Як вихідна сировина, так і готові харчові продукти повинні підлягати суворому контролю та аналізу на вміст в них шкідливих сполук [2].

Глюконат кальцію E578 належить до групи харчових добавок. В нашій країні застосовують лише як лікарський препарат.

Використовується для очищення стічних вод, обробки кави (антизлежувач) та зустрічається у харчовій й фармацевтичній промисловостях. Має ветеренарне застосування при гіпокальціємічних станах. Також допомагає при промисловому очищенні, обробці металевих поверхонь й алюмінію, стабілізації текстильного відбілювача, засобах для чищення, як добавка кальцію присутня в іннекційних розчинах.

Харчове застосування: ущільнювач рослинних тканин в овочевих та фруктових консервах, комплексоутворювач, стабілізатор; пов'язує надлишок заліза та іони тяжких металів.

Глюконат кальцію (E578) - харчова добавка, яка часто-густо зустрічається у вареннях, джемах, фруктових наповнювачах, сумішах для збалансування мінерального складу, в кавових напоях. Він виконує функцію абразиву в зубних пастах, використовується для підготовки кормів та може бути джерелом кальцію у раціоні деяких тварин [4].

За фармакологічними властивостями глюконат кальцію є аналогом хлориду кальцію (антиалергічний і кровоспинний засіб). В порівнянні має більше переваг: через менший ризик некрозу тканин [7].

Лікарська форма: таблетки білого кольору або білого з жовтуватим відтінком (рис.1.2), плоскоциліндричної форми, з фаскою та рисою. Також випускається ін'єкційного типу. У 10 мл ампулі глюконату кальцію міститься 93 мг звичайного кальцію.

Випускається зазвичай в упаковці по 10 таблеток, термін придатності препарату становить 5 років.



Рисунок 1.2 Глюконат кальцію – лікарський препарат

Показання: знижений рівень кальцію в крові, підвищена проникність клітинних мембран і порушенням передачі нервових імпульсів у м'язовій тканині; зупинка серця при наявності гіперкаліємії, гіпокальціємії або гіпермагніємії.

Підвищена потреба у кальції (ріст дітей; вагітність, годування груддю), недостатній вміст сполуки у їжі, порушення його обміну у постменопаузальному періоді й перелом кісток.

Підвищене виведення кальцію з організму, зумовлене тривалим перебуванням у лежачому режимі, хронічною діареєю або довготривалим застосуванням протиепілептичних препаратів, що може призводити до розвитку гіпокальціємії.

Кровотечі різної етіології, алергія; бронхіальна астма, дистрофічні аліментарні набряки, легеневий туберкульоз, еклампсія, паренхіматозний

гепатит, токсичні ураження печінки, нефрит та інші хвороби. Препарат застосовувати при назначенні лікаря.

Глюконат кальцію існує як антидот при отруєннях солями магнію, щавлевою й фтороводневою кислотами (зв'язування з речовиною утворює нерозчинні оксалат та фторид кальцію) [4,8].

Гелевий препарат 2,5% глюконату кальцію наносять на ділянку шкіри вразі опіку плавикової кислоти.

Кальцію глюконат знижує біодоступність фенітоїну. При паралельному прийомі з вітаміном D або його похідними збільшується всмоктуваність кальцію. Холестирамін зменшує абсорбцію кальцію у травному тракті. При поєднанні з тіазидними діуретиками може посилюватися ймовірність розвитку гіперкальціємії. Речовина може знижувати ефект кальцитоніну при гіперкальціємії, біодоступність фенітоїну, ефект блокаторів кальцієвих каналів. Всмоктування кальцію з шлунково-кишкового тракту можуть знижувати певні продукти (шпинат, ревінь, висівки, зернові) [6,9].

Кальцій забезпечує твердість і міцність кісткової тканини й емалі зубів, його метаболізм тісно пов'язаний із фосфором. Препарати нормалізують функції клітинних мембран, проникність судин, підвищують опірність організму. Добова потреба людини в Са складає 10–20 мг/кг, у фосфорі – 1,5 г. Для профілактики карієсу часто застосовують препарати кальцію: кальцію глюконат, кальцію лактат, кальцемін (комплекс кальцію, вітаміну D, та мінералів) тощо [5].

Оскільки оксалати зв'язують кальцій, то тривале вживання багатих на оксалати продуктів харчування може призвести до неправильного обміну кальцію. Для запобігання виведення кальцію з організму, потрібно вживати більше продуктів з вмістом магнію, наприклад, хліб, горіхи, каші, халву та інші

схожі продукти. Також рекомендовано їсти лимони (нерозчинні у воді оксалати переходять в розчинний лимоннокислий кальцій) [2].

Глюконат кальцію – використовується безпосередньо для поповнення рівня кальцію, як правило, шляхом внутрішньовенного ведення або перорально.

Підвищення рівня позаклітинного калію може спричиняти серцеві аритмії, які іноді прогресують до зупинки серця. Роль глюконату кальцію при гіперкаліємії полягає в стабілізації мембран клітин серця. Гостра магнієва токсичність зустрічається вкрай рідко, але глюконат кальцію лікує її при необхідності.

Побічні ефекти:

- Шлунково-кишковий тракт: нудота, блювання, запори, діарея; при застосуванні у великих дозуваннях – утворення кальцієвих конкрементів;
- нирки та сечовидільна системи: порушення роботи нирок;
- обмін речовин: гіперкальціємія, гіперкальціурія;
- серцево-судинна система: брадикардія;
- імунна система: гіперчутливість, алергія.

Описані побічні дії вкрай рідко зустрічаються у пацієнтів й досить швидко зникають після зниження кількості вживання препарату або його скасування [6].

Як зв'язувальна та зволожувальна речовина (утримує вологу у шкірі) глюконат кальцію використовується в косметичній галузі. Важлива характерна функція хелатування – утворення комплексів з йонами металів, що впливає на зовнішній вигляд косметики. Має протизапальну та антигістамінну дію.

## 1.2 Стан сировинної бази

Глюконат кальцію належить до карбонових кислот і є важливою органічною сполукою. Завдяки високій біодоступності забезпечує швидке та

ефективне відновлення необхідного мінерального балансу в організмі, особливо при низькому чи високому рівні кальцію в крові [9].

Глюкоза – речовина, що бере участь у процесах фотосинтезу й диханні, слугує резервом енергії у більшості організмів. Відіграє важливу роль у продуктах харчування для забезпечення потрібного смаку та/або структури. У розчині може існувати як  $\alpha$ - та  $\beta$ - аномери або як глюкозний альдегід із відкритим ланцюгом [8,10].

Глюконова кислота – речовина, яка широко поширена в природі: зустрічається у більшості фруктах, із складом, де наявна сахароза. В хімічній промисловості є регулятором кислотності, відмінним хелатуючим агентом для металів у лужних розчинах й компонентом засобів для чищення. Вважається необхідною сировиною для виробництва глюконату кальцію, натрію, заліза та інших сполук.

Карбонат кальцію – найпоширеніша сполука кальцію, що зустрічається в природі найчастіше у вигляді вапняку, крейди, мармуру й кальциту. Використовується як харчова добавка, також діє в крові для лікування або запобігання негативного балансу кальцію, що спостерігається при станах з низьким рівнем в сироватці кальцію.

Натрій гідроксид – каустична сода білого кристалічного стану, при розчиненні у воді або нейтралізації кислотою виділяє тепло. Використовується у хімічному виробництві, переробці нафти, засобах для чищення. Корозійний для металів. Рідина викликає опіки другого або третього ступеня після короткочасного контакту. Варто промивати шкіру значною кількістю води протягом 15 хв, а потім оцтовою кислотою.

### 1.3 Аналіз існуючих технологій виробництва глюконату кальцію та його вплив на навколишнє середовище

Існує близько 3 основних способів отримання кальцію глюконату. Наприклад, електрохімічне окисненням глюкози в присутності броміду кальцію і карбонату кальцію. На аноді відбувається реакція з утворенням вільного броду, що окиснює глюкозу до глюконової кислоти. Далі відбувається реакція нейтралізації: глюконова кислота реагує із карбонатом кальцію, виділяється вуглекислий газ і утворюється глюконат кальцію. Бромід кальцію, що утворився як побічний продукт знову прямує на електроліз [11].

Хімічна реакція виглядає наступним чином:

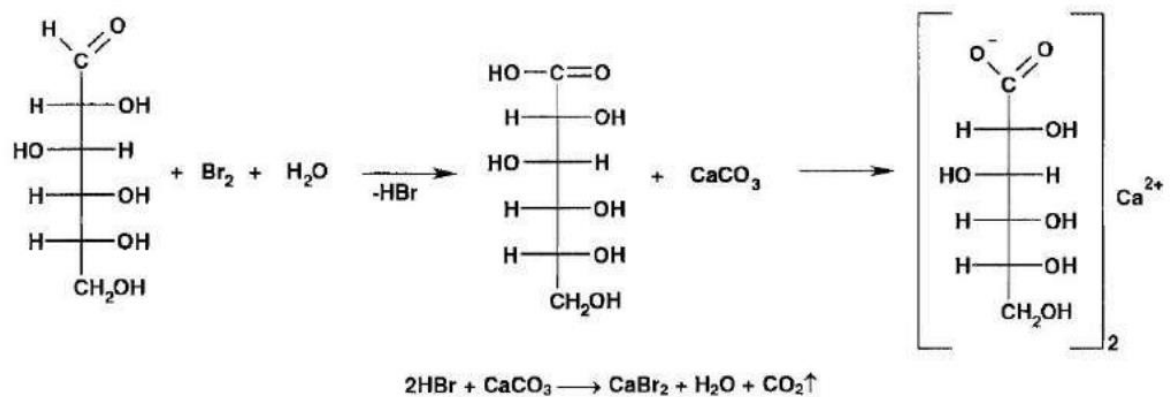


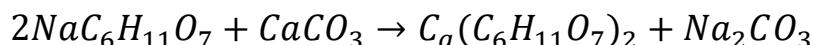
Рисунок 1.3 Реакція отримання глюконату кальцію

Глюконат кальцію синтезують шляхом рідкофазного окиснення глюкози в лужному середовищі при підвищеній температурі із гетерогенним каталізатором «Сібуніт», активну фазу наносять повним поглинанням водно-спиртового розчину комплексних солей паладію і вісмуту.

Також кальцій глюконат отримують рідкофазним окисненням глюкози до глюконату натрію, за допомогою послідовних реакцій гетерогенного і гомогенного обміну з подальшою кристалізацією. У данному процесі наявні

стадії фільтрації, водно-спиртового відмивання продукту, центрифугування, кристалізації і сушіння [6].

Застосовують хлорид або карбонат кальцію для утворення потрібної сполуки. Відбувається реакція обміну з утворенням глюконату кальцію і натрій карбонату:



Не менш відомий процес – ферметація під час якої спеціальні мікроорганізми вирощують у середовищі (*Aspergillus niger*), що містить глюкозу та інші потрібні компоненти. Виробляється глюкозооксидаза, що окиснює глюкозу до глюконової кислоти й перекису водню з обов'язковою нейтралізацією [12].

*A. niger* – це гриб, але називають пліснявою, яка виробляє мікроскопічні пори всередині мішечків, що мають назву асками. Існує майже у всіх середовищах, що місять ґрунт. Він підтримує ріст при низькій температурі й дуже високій. Здатний рости в широкому діапазоні рН (1.4-9.8).

Недоліком третього способу є оптимізація умов, в'язкість середовища, порівнянь більші затрати, час ферментації. Достатньо швидко в даному методі можливе отримання глюконової кислоти, а далі й глюконату кальцію але процес ферментації та інші реакції займають деякий час, що затримує процес

Забруднення навколишнього середовища постійно зростає через забруднення харчових продуктів і продовольчої сировини нітратами та нітритами, радіонуклідами, пестицидами, важкими металами тощо. Вплив глюконату кальцію не класифікують як небезпечний за умов дотримання технологічних регламентів, оскільки дана речовина на повітрі стабільна та не виділяє шкідливих речовин. Є антидотом при отруєнні деяких сполук, не характеризується накопичення в навколишньому середовищі. Виробництво

обраної сполуки вважається безпечним для довкілля, за умови дотримання технологічним умов, якісного очищення та правильної утилізації відходів.

В Україні засновано чимало фармацевтичних компаній, які виробляють глюконат кальцію – лікарський препарат, а саме: ТОВ ‘Дарниця’, корпорація ‘Артеріум’, ‘Фармак’, ПрАТ ‘Біофарма’ та інші.

Враховуючи затребуваність глюконату кальцію як лікарського препарату, харчової добавки й важливість кальцію в організмі людини, було вирішено розробити технологію отримання, удосконаливши процес для досягнення кращого й якіснішого продукту утворення.

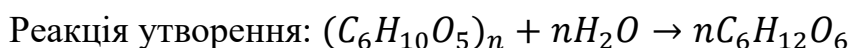
## РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика сировинної бази

Глюконова кислота, глюконати кальцію й натрію мають численні спектри застосування в більшості промисловостях, тому їхнє дослідження є актуальним питанням сьогодення.

**Глюконова кислота E574** – розпушувач D -глюконова кислота, природна полігідроксикарбонова кислота.  $C_6H_{12}O_7$  – сполука відома як пентагідроксикапронова кислота, нетоксична, не викликає корозії, безбарвна та піддається біологічному розкладанню. Міститься в меді, фруктах, рисі, оцті, вині, м'ясі та інших природних джерелах. Зазвичай використовується у виробництві металів, в продуктах харчування та фармацевтичних препаратів (в якості наповнювача для таблеток) [13].

**Глюкоза** ( $C_6H_{12}O_6$ ) – важливий моносахарид солодкий на смак та легко розчинний у воді. Міститься в соці винограду, в багатьох фруктах, а також у крові тварин і людей. Є кінцевим продуктом фотосинтезу та основним джерелом енергії. Надлишок в організмі зберігається у вигляді глікогену – полімеру глюкози, який потрібний при голодуванні. Широко використовується в медицині та інших галузях [10]. Крім того, добувається внаслідок гідролізу крохмалю в присутності мінеральних кислот[8].



Кількісне визначення: ДФУ не передбачає визначення кількісного вмісту глюкози в субстанції.

1. вміст речовини в ін'єкційних розчинах визначають методом рефрактометрії;
2. йодометрія, індикатор – крохмаль.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Піскун А. Л.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.025.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання	Мова	Аркуш
				01.05.2025	ua	25/80

**Карбонат кальцію** ( $\text{CaCO}_3$ ). В природі зустрічається білого кольору у вигляді вапняку, крейди, мармуру, кальциту тощо без особливого запаху. Відомо, що може утворюватись із силікатів кальцію. У харчовій промисловості зареєстрований як харчова добавка E170, та використовується як поверхневий барвник. Усі різновиди карбонату кальцію, за винятку гідрокарбонату  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , нерозчинні у воді. Крім того, використовується у значних кількостях у целюлозно-паперовій промисловості як наповнювач для папалу. У Фінляндії 700 000 т/рік вапняку застосовуються для покриття та 300 000 т/рік як наповнювач [14].

**Глюконат натрію** – сіль натрію і глюконової кислоти з формулою  $\text{HOCH}_2(\text{CHOH})_4\text{COONa}$ . Це безбарвні кристали, що розчиняється у воді та етанолі. Харчова добавка (E576) шляхом ферментації отримана з глюкози. Має вигляд дрібного кристалічного порошку або гранулянту біло – коричневого кольору. Його виробництво достатньо просте, недороге та екологічно чисте. Глюконат натрію використовують як хелатний агент в будівництві, текстильному фарбуванні, в медицині – для балансування кислотно-лужного середовища в організмі [15].

**Катіоніт КУ-28** є сильнокислотним катіонітом, що містить функціональні групи – сульфогрупи ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ), які активно заміщують катіони (наприклад,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ) на іони водню ( $\text{H}^+$ ) або натрію ( $\text{Na}^+$ ). Такий процес широко застосовується у водоочистці, щонайменше для пом'якшення та знесолення води.

**Іонообмінна смола (КУ-28)** (рис.2.3) — це високомолекулярне синтетичне з'єднання, яке має складну тривимірну гелеву та макропористу структуру. Завдяки цій структурі, смола має здатність вступати в реакції іонного обміну з іонами, які є у водному розчині. Це сильно-кислотний катіон на основні

стирол-дивінілбензолу. Для виробництва глюконату кальцію у  $H^+$ -формі зв'язує катіони, очищаючи розчин для реакції з карбонатом кальцію.

Смоли часто використовують в різноманітних галузях промисловості для пом'якшення або інших особливих цілях: ядерної, медичної промисловостей, при очищенні стічних вод та цукру та переробці харчових продуктів.

Термін експлуатації сягає близько 5 років. Не зменшується в загальній кількості за винятком незначних втрат, які не впливають на загальну ефективність роботи.



Рисунок 2.1 Іонообмінна смола

**Натрій гідроксид (NaOH)** – при кімнатній температурі тверда речовина білого кольору. При розчиненні у воді або нейтралізації кислотою виділяє значну кількість тепла, якої іноді достатньо для займання горючих речовин. Зазвичай його використовують у твердому стані або у вигляді 50% розчину. Даний луг використовують у хімічному виробництві, переробці нафти, у мийних засобах та сприяє корозії металів. Розчин може подразнювати шкіру, очі, слизові оболонки, є токсичним при ковтанні [16].

## 2.2 Опис технології отримання глюконату кальцію.

На основі аналізу наявної літератури було встановлено, що оптимальним методом виробництва глюконату кальцію є метод окиснення глюкози в лужному середовищі при підвищеній температурі.

У попередніх дослідженнях після стадії кристалізації було декілька стадій: фільтрування, сушіння й фасування. Удосконаленням виробництва глюконату кальцію є заміна нутч-фільтра на центрифугу, що дозволяє:

- Покращення очищення. На етапі центрифугування здійснюється виділення маточного розчину.
- Зниження вологи. Важливе менше навантаження на барабану сушарку та підвищення енергоефективності виробництва - зменшення вологості перед сушінням та менші затрати часу й ресурсів на сушіння. Центрифуга дозволяє отримати продукт з нижчим вмістом вологи, ніж нутч-фільтр
- Якість готового продукту. Видалення домішок та непотрібної рідини забезпечують якісне значення чистоти, сипкості та стабільності кінцевого глюконату кальцію.
- При великих об'ємах виробництва центрифуга працює ефективніше, порівняно з нутч-фільтром.

Однак, можливі певні недоліки встановлення центрифуги, а саме:

- Дорожче обладнання;
- Чутливість до дисбалансу та нерівномірного завантаження.

Враховуючи низку переваг для виробництва глюконату кальцію було запропоновано технологічне удосконалення – введення стадії центрифугування після кристалізації.

Розроблена та описана принципова технологічна схема виробництва глюконату кальцію на рисунку 2.2

Технологія одержання продукту включає наступні стадії:

1. Отримання глюконату натрію.

При температурі 60°C відбувається окиснення глюкози в лужному середовищі в присутності кисню та каталізатора.

2. Фільтрування.

На даному етапі відділяють каталізатор з реакційної маси, позбуваючись непотрібних домішок.

3. Отримання глюконової кислоти.

Отриманий розчин глюконату натрію переводять в глюконову кислоту на іонообмінній смолі (КУ-98).

4. Отримання глюконату кальцію.

В готовий розчин вводять карбонат кальцію. Реакцію обміну здійснюють при температурі 20°C, протягом 3 годин.

5. Сепарування.

За допомогою саморозвантажувального сепаратора, реакційна маса звільнюється від непрореагуваного карбонату кальцію. Це дозволяє видалити залишки карбонату кальцію, забезпечуючи чистоту кінцевого продукту

6. Випаровування.

Фільтрат випаровують до потрібної концентрації – близько 30-40%.

7. Кристалізація.

Подається холодна вода, кристалізація відбувається при температурі близько 6°C протягом 10-12 годин.

8. Центрифугування.

Після кристалізації отриману суспензію направляють до центрифуги з метою утворення маточного розчину при температурі 20<sup>0</sup> С протягом 30 хв. Частота обертання – 3000-6000 об/хв.

## 9. Сушіння.

Кристали глюконату кальцію висушують, щоб видалити залишкову вологу. Мета стадії полягає в зниженні вологості до потрібного відсоткового значення. При температурі 60-120<sup>0</sup>С протягом 2 год. Вологість: W=7-13%

## 10. Фасування.

Готовий глюконат кальцію фасують для майбутнього використання.

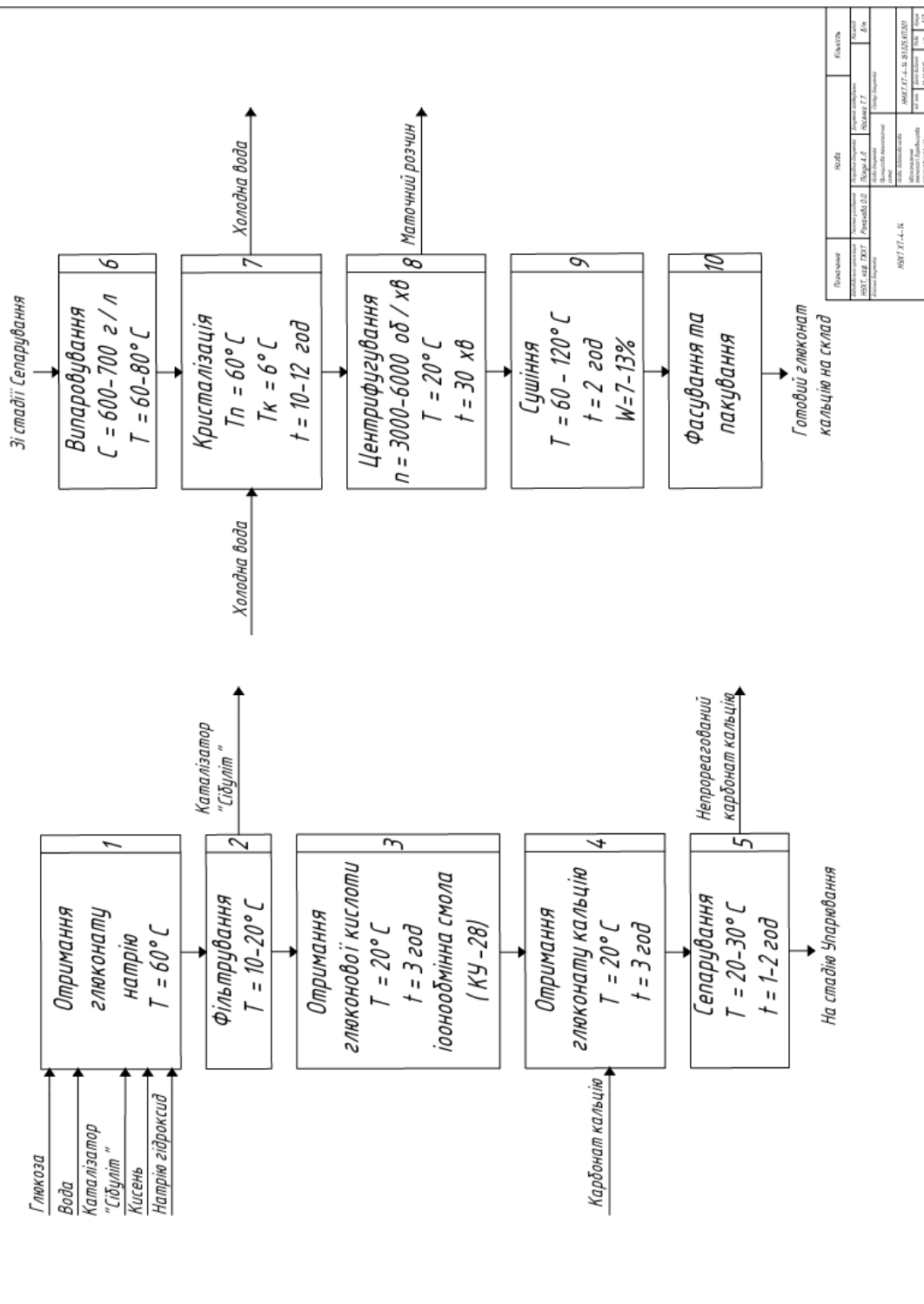


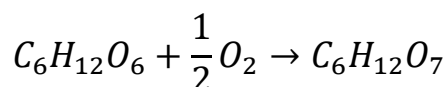
Рисунок 2.2 Принципово технологічна схема виробництва глюконату кальцію

## 2.3 Розрахунок матеріального балансу відділення (цеху) виробництва глюконату кальцію

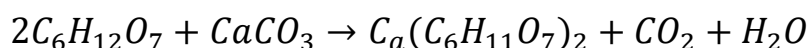
Даний розрахунок проводиться на 1000 кг/добу готового глюконату кальцію. Для даного виробництва у першій стадії подається: глюкоза, дистильована вода, каталізатор та розчин лугу для нейтралізації утвореної глюконової кислоти до глюконату натрію.

### *Основні хімічні реакції:*

Окиснення глюкози до глюконової кислоти (через глюконат натрію):



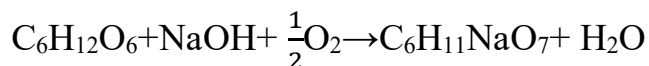
Нейтралізація глюконової кислоти карбонатом кальцію:



### **1. Отримання глюконату натрію**

На цій стадії відбувається ферментативне окиснення глюкози за наявності каталізатора "Сібуліт" та гідроксиду натрію.

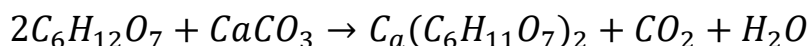
Реакція для розрахунків:



1. Розраховуємо молярні маси учасників реакції за формулами

- $M(C_6H_{12}O_6) = 180$  г/моль;
- $M(O_2) = 32$  г/моль;
- $M(NaOH) = 40$  г/моль;
- $M(NaC_6H_{11}O_7) = 218$  г/моль
- $M(H_2O) = 18$  г/моль

Для утворення 1000 кг глюконату кальцію, за реакцією:



Маса глюконату натрію:  $23,25$  кмоль  $\cdot$   $218$  г/моль =  $5066,85$  кг

Відповідно, розрахуємо необхідну кількість реагентів:

$$m(\text{глюкози}) = (180 \cdot 23255,8) / 1000 = 4186,05 \text{ кг};$$

$$m(\text{NaOH}) = \frac{40 \cdot 23255,8}{1000} = 930,35 \text{ кг};$$

$$m(\text{кисню}) = \frac{16 \cdot 23255,8}{1000} = 372,1 \text{ кг};$$

З урахуванням втрат (10%) отримаємо реальні значення:

$$m(\text{глюкози}) = 4186,05 + 5\% = 4395,35 \text{ кг};$$

$$m(\text{NaOH}) = 930,35 + 5\% = 976,75 \text{ кг};$$

$$m(\text{кисню}) = 372,1 + 5\% = 390,7 \text{ кг}$$

Для отримання 5066,85 кг глюконату натрію (необхідного для подальших стадій синтезу глюконату кальцію) потрібно: 4395,35 кг глюкози, 976,75 кг натрію гідроксиду та 390,7 кг кисню.

**Таблиця 2.1 – Матеріальний баланс стадії отримання глюконату натрію**

Прихід	Маса, кг	Витрата	Маса, кг
Глюкоза( $C_6H_{12}O_6$ )	4395,35	Глюконат натрію ( $NaC_6H_{11}O_7$ )	5066,8
Натрію гідроксид ( $NaOH$ )	976,75	Втрати (5 %)	695,95
Кисень ( $O_2$ )	390,7		
<b>Всього:</b>	<b>5762,8</b>	<b>Всього:</b>	<b>5762,8</b>

**2. Фільтрування.** Після отримання глюконату натрію на першому етапі необхідно видалити залишкові нерозчинні домішки, зокрема, каталізатор

("Сібуніт") та нерозчинні механічні частинки. Фільтрування здійснюється через фільтр-преси або вакуумні фільтри. Оскільки процес здійснюється у водному середовищі, можливі втрати глюконату натрію з осадом та фільтратом.

**Основні показники:**

- Вхідна маса розчину глюконату натрію - 5066,85 кг;
- Вміст твердих домішок у розчині дорівнює 5 %;
- Втрати глюконату натрію під час фільтрування становить 2 %
- **Таблиця 2.2 - Матеріальний баланс стадії фільтрування**

Прихід	Маса, кг	Витрата	Маса, кг
Розчин глюконату натрію	5066,85	Очищений розчин глюконату натрію	4712,15
		Тверді домішки (каталізатор та мех. частинки)	253,35
		Втрати глюконату натрію (2%)	101,35
<b>Всього:</b>	5066,85	<b>Всього:</b>	5066,85

**Розрахуємо матеріальний баланс фільтрування:**

1. Маса твердих домішок (каталізатор "Сібуніт" та механічні частинки):

$$m_{\text{домішок}} = \frac{5}{100} \cdot 5066,85 = 253,35 \text{ кг}$$

2. Втрати глюконату натрію під час фільтрування:

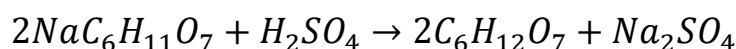
$$m_{\text{втрат}} = \frac{2}{100} \cdot 5066,85 = 101,35 \text{ кг}$$

3. Маса очищеного розчину глюконату натрію після фільтрування:

$$m_{\text{очищений}} = 5066,85 - 253,35 - 101,35 = 4712,15 \text{ кг}$$

### 3. Отримання глюконової кислоти

На цьому етапі очищений розчин глюконату натрію піддається дії сульфатної кислоти ( $H_2SO_4$ ), що призводить до утворення глюконової кислоти ( $C_6H_{12}O_7$ ) та сульфату натрію ( $Na_2SO_4$ ). Реакція відбувається за наступним рівнянням:



- Вхідна маса очищеного розчину глюконату натрію – 4712,15 кг;
- Вміст глюконату натрію в розчині - 80%;
- Втрати глюконової кислоти 3%

1. Маса чистого глюконату натрію у розчині:

$$m_{NaC_6H_{11}O_7} = \frac{80}{100} \cdot 4712,15 = 3769,7 \text{ кг}$$

2. Розрахунок маси сульфатної кислоти ( $H_2SO_4$ ):

$$M(NaC_6H_{11}O_7) = 218 \text{ г/моль};$$

$$M(H_2SO_4) = 98 \text{ г/моль};$$

За рівнянням реакції на 2 моль  $NaC_6H_{11}O_7$  потрібно 1 моль  $H_2SO_4$

$$m_{H_2SO_4} = \frac{3769,7}{2 \cdot 218} \cdot 98 = 849,95 \text{ кг}$$

3. Розрахунок маси глюконової кислоти ( $C_6H_{12}O_7$ )

На кожні 2 моль  $NaC_6H_{11}O_7$  утворюється 2 моль  $C_6H_{12}O_7$ ;

$$\text{Тому маса глюконової кислоти: } m_{C_6H_{12}O_7} = \frac{3769,7}{218} \cdot 196 = 3390,6 \text{ кг}$$

4. Розрахунок маси сульфату натрію ( $Na_2SO_4$ ):

На 2 моль  $NaC_6H_{11}O_7$  утворюється 1 моль  $Na_2SO_4$ .

Тому маса  $Na_2SO_4$ :

$$m_{Na_2SO_4} = \frac{3769,7}{2 \cdot 218} \cdot 142 = 1227,74 \text{ кг}$$

5. Втрати глюконової кислоти (3%):

$$m_{\text{втрати}} = \frac{3}{100} \cdot 3390,6 = 101,7 \text{ кг/моль}$$

6. Маса кінцевого продукту – глюконової кислоти:

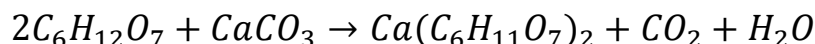
$$m_{\text{кінцева}} = 3390,6 - 101,7 = 3288,9 \text{ кг}$$

**Таблиця 2.3 – Матеріальний баланс стадії отримання глюконової кислоти**

Прихід	Маса, кг	Витрата	Маса, кг
Очищений розчин глюконату натрію	4712,15	Глюконова кислота ( $C_6H_{12}O_7$ )	3288,9
Сульфатна кислота ( $H_2SO_4$ )	849,95	Сульфат натрію ( $H_2SO_4$ )	1227,65
		Втрати глюконової кислоти (3%)	101,7
		Водний розчин та інші компоненти	943,85
<b>Всього:</b>	<b>5562,45</b>	<b>Всього:</b>	<b>5562,45</b>

#### 4. Отримання глюконату кальцію

На цьому етапі глюконова кислота ( $C_6H_{12}O_7$ ) нейтралізується карбонатом кальцію ( $CaCO_3$ ), у результаті чого утворюється глюконат кальцію ( $Ca(C_6H_{11}O_7)_2$ ), вода ( $H_2O$ ) та вуглекислий газ ( $CO_2$ ). Реакція проходить за рівнянням:



##### **Розрахуємо:**

1. Маса чистої глюконової кислоти у розчині:

$$m_{C_6H_{12}O_7} = \frac{90}{100} \cdot 3288,9 = 2960 \text{ кг}$$

2. Розрахунок маси карбонату кальцію ( $CaCO_3$ ):

$$M(C_6H_{12}O_7) = 196 \text{ г/моль};$$

$$M(CaCO_3) = 100 \text{ г/моль};$$

За рівнянням реакції на 2 моль  $C_6H_{12}O_7$  потрібно 1 моль  $CaCO_3$

$$m_{CaCO_3} = \frac{2960}{2 \cdot 196} \cdot 100 = \frac{2960}{392} \cdot 100 = 755,1 \text{ кг}$$

3. Розрахунок маси глюконату кальцію ( $Ca(C_6H_{11}O_7)_2$ ):

$$M(Ca(C_6H_{11}O_7)_2) = 430 \text{ г/моль};$$

На кожні 2 моль  $C_6H_{12}O_7$  утворюється 1 моль  $Ca(C_6H_{11}O_7)_2$

$$m_{Ca(C_6H_{11}O_7)_2} = \frac{2960}{2 \cdot 196} \cdot 430 = \frac{2960}{392} \cdot 430 = 3240 \text{ кг}$$

4. Розрахунок маси побічних продуктів ( $CO_2$  та  $H_2O$ ):

$$M(CO_2) = 44 \text{ г/моль};$$

$$M(H_2O) = 18 \text{ г/моль}.$$

$$m_{CO_2} = \frac{2960}{392} \cdot 44 = 332,3 \text{ кг}$$

$$m_{H_2O} = \frac{2960}{392} \cdot 18 = 135,9 \text{ кг}$$

5. Втрати глюконату кальцію (2%):

$$m_{\text{втрати}} = \frac{2}{100} \cdot 3240 = 64,8 \text{ кг}$$

6. Маса кінцевого продукту – глюконату кальцію:

$$m_{\text{кінцева}} = 3240 - 64,8 = 3175,7 \text{ кг}$$

Далі глюконат кальцію направляється на сепарування

**Таблиця 2.4 – Матеріальний баланс стадії отримання отримання  
глюконату кальцію**

Прихід	Маса, кг	Витрата	Маса, кг
Глюконова кислота ( $C_6H_{12}O_7$ )	3288,9	Глюконат кальцію ( $Ca(C_6H_{11}O_7)_2$ )	3175,7
Карбонат кальцію $CaCO_3$	755,1	Вуглекислий газ $CO_2$	332,3
		Вода $H_2O$	135,75
		Втрати глюконату кальцію (2%)	64,8
		Інші компоненти	336,15
<b>Всього:</b>	4044	<b>Всього:</b>	4044

## 5. Сепарування

На цьому етапі відбувається відділення нерозчинених домішок, надлишкової води та побічних продуктів ( $CO_2$ ). Отримана суміш глюконату кальцію піддається механічному очищенню шляхом сепарування. В результаті залишається очищений розчин глюконату кальцію, який далі направляється на стадію випаровування.

1. Маса нерозчинених домішок ( $CaCO_3$  та механічні залишки):

$$m_{\text{домішок}} = \frac{5}{100} \cdot 3175,7 = 158,8 \text{ кг}$$

2. Втрати під час сепарування (2% від загальної маси):

$$m_{\text{втрати}} = \frac{2}{100} \cdot 3175,7 = 63,5 \text{ кг}$$

2. Маса очищеного глюконату кальцію:

$$m_{\text{очищений}} = 3175,7 - 158,8 - 63,5 = 2953,4 \text{ кг}$$

**Таблиця 2.5 - Матеріальний баланс стадії отримання сепарування**

Прихід	Маса, кг	Витрата	Маса, кг
Сирий глюконат кальцію	3175,7	Очищений розчин глюконату кальцію	2953,4
		Нерозчинені домішки (5%)	158,8
		Втрати при сепаруванні (2%)	63,5
<b>Всього:</b>	3175,7	<b>Всього:</b>	3175,7

## 6. Випаровування

На цьому етапі очищений розчин глюконату кальцію концентрується шляхом випарювання надлишкової води. Це робиться для отримання більш високої концентрації речовини перед кристалізацією. Процес відбувається у вакуум-випарних установках, що дозволяє зменшити втрати та знизити температуру кипіння, запобігаючи термічному розкладанню глюконату кальцію.

1. Маса чистого глюконату кальцію у вихідному розчині:

$$m_{Ca(C_6H_{11}O_7)_2} = \frac{40}{100} \cdot 2953,4 = 1181,36 \text{ кг}$$

2. Маса кінцевого концентрованого розчину

Оскільки в концентраті після випаровування концентрація глюконату кальцію становить 80%, можна знайти масу кінцевого розчину:

$$m_{\text{конц.розчин}} = \frac{1181,35}{0,80} = 1476,7 \text{ кг}$$

3. Маса випареної води:

$$m_{H_2O} = 2953,4 - 1476,7 = 1476,7 \text{ кг}$$

4. Втрати глюконату кальцію при випаровуванні (1% від загальної маси):

$$m_{\text{втрати}} = \frac{1}{100} \cdot 1476,7 = 14,75 \text{ кг}$$

5. Маса кінцевого продукту – концентрованого розчину глюконату кальцію:  $m_{\text{кінцева}} = 1476,7 - 14,75 = 1461,95 \text{ кг}$ .

**7. Кристалізація** – це ключовий етап отримання глюконату кальцію у твердій формі. Після випаровування концентрований розчин охолоджують, що сприяє утворенню кристалів глюконату кальцію. Для кращої кристалізації застосовують поступове охолодження та іноді використовують насінні кристали.

**Таблиця 2.6 – Матеріальний баланс стадії випаровування**

<b>Прихід</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Витрата</b>	<b>Маса, кг</b>
Очищений розчин глюконату кальцію	2953,4	Концентрований розчин глюконату кальцію	1461,95
		Випарена вода	1476,7
		Втрати (1%)	14,75
<b>Всього:</b>	2953,4	<b>Всього:</b>	2953,4

Відповідні обрахунки:

1. Маса чистого глюконату кальцію у концентрованому розчині:

$$m_{Ca(C_6H_{11}O_7)_2} = \frac{80}{100} \cdot 1461,95 = 1169,56 \text{ кг}$$

2. Маса твердого глюконату кальцію (95% виходу):

$$m_{\text{кристали}} = \frac{95}{100} \cdot 1169,56 = 1111,08 \text{ кг}$$

3. Втрати при кристалізації (2% від загальної маси глюконату кальцію):

$$m_{\text{втрати}} = \frac{2}{100} \cdot 1169,56 = 23,4 \text{ кг}$$

4. Маса залишкового (маточного) розчину:

$$m_{\text{маточного р-ну}} = 1461,95 - 1111,08 - 22,2 = 328,67 \text{ кг}$$

**Таблиця 2.7 – Матеріальний баланс стадії кристалізації**

Прихід	Маса, кг	Витрата	Маса, кг
Концентрований розчин глюконату кальцію	1461,95	Твердий глюконат кальцію (кристали)	1111,08
		Маточний розчин	328,67
		Втрати при кристалізації (2%)	23,4
<b>Всього:</b>	1461,95	<b>Всього:</b>	1461,95

**8. Центрифугування.** Після завершення кристалізації, отриману суспензію направляють на центрифугу для відділення твердих кристалів від залишкового розчину (маточного розчину).

1. Маса чистої речовини:  $m_{Ca(C_6H_{11}O_7)_2} = \frac{95}{100} \cdot 1111,08 = 1055,5 \text{ кг}$

**Таблиця 2.8 Матеріальний баланс стадії центрифугування**

Прихід	Маса, кг	Витрата	Маса, кг
Кристали	1111,08	Чистий глюконат кальцію	1055,5
вода	253,32	Маточний розчин	320,1
		Втрати	11,2
<b>Всього:</b>	1364,4	<b>Всього:</b>	1364,4

## 9. Сушіння

Сушіння є завершальним етапом у виробництві глюконату кальцію у твердій формі. Отримані кристали містять певну кількість вологи, яку потрібно видалити для отримання стабільного продукту з тривалим терміном зберігання. Процес сушіння здійснюється в сушарках (наприклад, конвективних або вакуумних), де кристали обробляються гарячим повітрям або висушуються під вакуумом. Маса кінцевого продукту повинна становити 1000 кг/добу і в ньому має бути незначна к-сть вологи.

**Таблиця 2.9 – Матеріальний баланс стадії сушіння**

<b>Прихід</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Витрата</b>	<b>Маса, кг</b>
Глюконат кальцію	1055,5	Сухий глюконат кальцію	1005,5
		Випарена вода	40,5
		Втрати	10,00
<b>Всього:</b>	1055,5	<b>Всього:</b>	1055,5

## 10. Фасування та пакування

Останнім етапом виробництва глюконату кальцію є фасування та пакування висушеного глюконату кальцію. На цьому етапі готовий порошок глюконату кальцію дозують у відповідні ємності (мішки, контейнери або індивідуальні упаковки) та герметично запаковують для подальшого транспортування та зберігання. Фасування здійснюється автоматичними або напівавтоматичними машинами, що забезпечує точність дозування та мінімальні втрати продукту.

**Таблиця 2.10 - Матеріальний баланс стадії фасування та пакування**

<b>Прихід</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Витрата</b>	<b>Маса, кг</b>
Сухий глюконат кальцію	1005,5	Упакований продукт	1000
		Втрати	5,5
<b>Всього:</b>	1005,5	<b>Всього:</b>	1005,5

**Таблиця 2.11 – Зведена таблиця матеріального балансу виробництва глюконату кальцію**

<b>Прихід</b>	<b>Маса, кг</b>	<b>Витрата</b>	<b>Маса, кг</b>
Глюкоза	4395,35	Глюконат кальцію	1000
Вода	253,7	Маточний розчин	648,77
NaOH	976,75	Випарена вода	1661,7
Карбонат кальцію	755,1	Побічні продукти реакції	3003,4
Кисень	390,2	Втрати	457,23
<b>Всього:</b>	6777,1	<b>Всього:</b>	6777,1

У ході проведених розрахунків було визначено матеріальний баланс виробництва глюконату кальцію. Процес включає десять основних стадій: підготовку сировини, фільтрування, отримання глюконової кислоти, нейтралізацію кальцієм, сепарування, випаровування, кристалізацію,

центрифугування, сушіння та фасування. Створено таблицю зведеного матеріального балансу (табл.2.11), яка запевняє достовірність збереження маси. На кожному етапі враховані вхідні та вихідні речовини, а також втрати, що дозволило досягти точного матеріального балансу. Загальний вихід готового продукту після всіх стадій становить 1000 кг/добу у вигляді упакованого глюконату кальцію, що підтверджує економічну доцільність та ефективність технологічного процесу.

#### **2.4 Підбір основного технологічного обладнання**

Роторний насос НР-10 (ВЗ-ОРА-10) – це насос об'ємної дії редукторного типу, який призначений для перекачування рідин з деякою в'язкістю від 1мПа до 100000 мПа, наприклад, йогурт, шоколад, згущене молоко (не вище45%), соуси, косметичні продукти та чимало іншого з температурою до 70 °С. Крім того, насос здатний перемішувати рідини, які потребують дбайливого ставлення.

Технічні характеристики: граничний робочий тиск дорівнює 2.5 Ба, потужність – 1,5 кВт, частота обертання двигуна – 950 об/хв, напруга – 380 В, частота обертання роторів – 365 об/хв, діаметри патрубків – 50 мм, маса < 90 кг.

Кулачковий насос (рис.2.2) складається з корпусу, всередині якого є два або більше кулачків. Витіснення рідкого робочого середовища здійснюється за допомогою синхронного обертання між собою пари кулачкових роторів, які розміщених в міцному, профільованому корпусі і не торкаються одне одного. У процесі обертання роторів перекачувана рідина послідовно заповнює собою простір між ними і корпусом насоса, а потім прямує до напірного патрубка. Безперервний і ефективний потік перекачуваного робочого середовища створюється завдяки кліренсу між роторами і корпусом [17,18].

Частота обертання роторів не перевищує 200 ... 400 оборотів і дозволяє виробляти перекачування продуктів без руйнування структури.

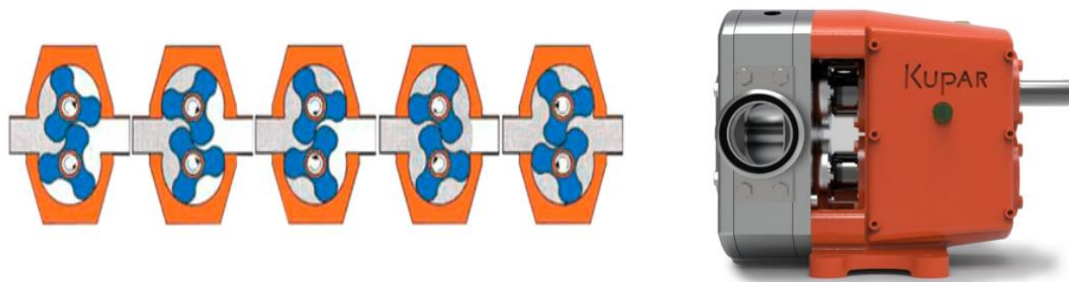


Рис.2.2 Принцип дії та зображення кулачкового насосу.

Переваги роторного насосу НР-10 (ВЗ-ОРА-10):

1. перемішування продуктів з різним ступенем в'язкості;
2. простота використання та обслуговування;
3. тривалий період експлуатації.

Відцентрові насоси мають в будові робоче колесо відцентрового типу, що виготовляється з латуні, пластики і неіржавіючої сталі. Перекачування води відбувається за рахунок відцентровій силі створюваної обертанням робочого колеса.

Шнековий транспортер – різновид транспортних машин безперервної дії, що створені для горизонтального, нахилоного та вертикального переміщення пиловидних, зернистих, дрібних й сипучих матеріалів. Перевагами є простота облаштування і технічного обслуговування, невеликі габаритні розміри, зручність проміжного завантаження і розвантаження, герметичність. Недоліки: способи переміщення, значна питома витрата енергії, стирання, подрібнення вантажу, підвищений знос гвинта і жолоба, а також чуттєвість до перевантажень, що веде до утворення всередині жолоба, особливо навколо проміжних підшипників, заторів [19].

Шнековий транспортер або гвинтовий конвеєр (рис.2.3), складається з корпусу (труби або жолоба), всередині якого розташований обертовий гвинт (шнек). При обертанні шнека матеріал переміщується вздовж осі транспортера. Корпус може бути відкритим або закритим, враховуючи потреби виробництва. Закриті транспортери використовуються для запобігання втратам матеріалу та захисту від зовнішніх чинників [20].

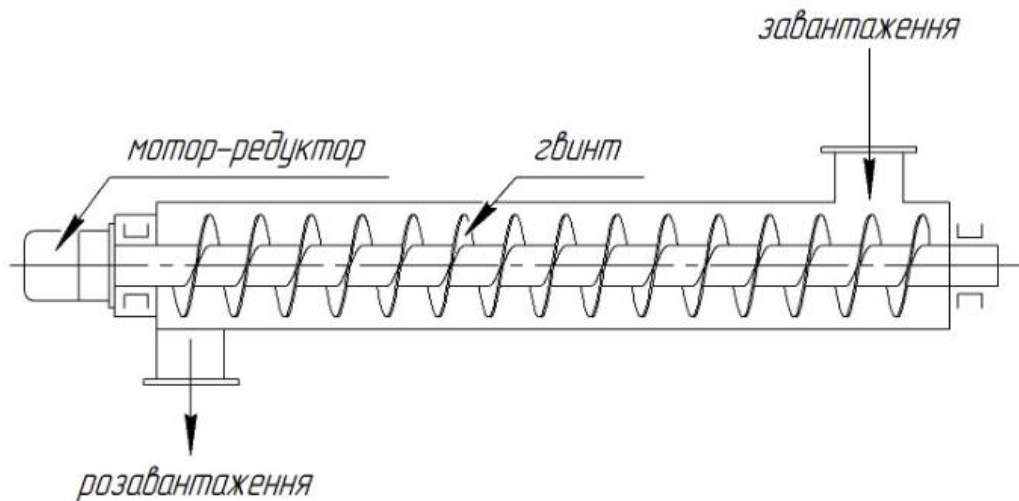


Рисунок 2.3. Шнековий транспортер

Лопатеві мішалки (рис.2.4.) використовують для перемішування рідин із помірною в'язкістю. Вони мають одну або декілька плоских вертикальних пластин, закріплених на вертикальному валу. Такі лопаті надають рідині в основному обертальний рух [17].

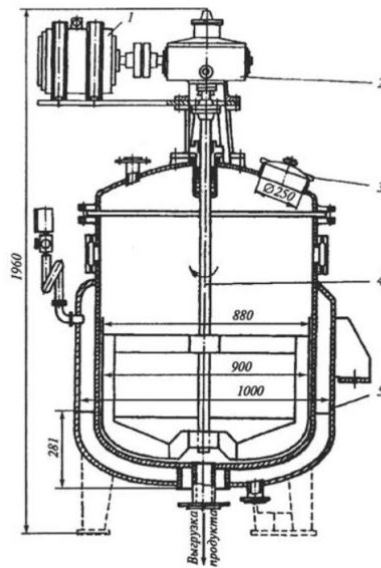


Рисунок 2.4. Реактор із лопатевою мішалкою

Продукт перемішують мішалкою із вертикального вала з закріпленими на ньому лопатами. В нижній частині корпуса розміщені два патрубки для відведення конденсату і вивантаження готового продукту. Над реактором змонтований привід, який містить електродвигун і редуктор. Для санітарної обробки верхньої частини є кришка.

Вакуум-випарна установка (рис.2.5.) використовується для процесу випарювання рідин за допомогою зниженого тиску (вакууму). Це дозволяє знизити температуру кипіння рідини та, таким чином, зменшити теплові втрати, що особливо важливо при роботі з термочутливими речовин.

Кристалізатор періодичної дії (рис.2.6) – апарат, що призначений для виділення кристалів з рідких розчинів. Існує різного типу, зокрема: охолоджувальний, випарний, вакуумний та інші. Процес кристалізації закінчується коли розчин внаслідок утворення кристалів із переначисеного стає насиченим за заданою температурою [21].

Вакуум-кристалізатори – це апарати, в яких розчин охолоджується з допомогою адіабатичного випаровування частини розчинника. Під час процесу витрачається тепло розчину, який при цьому охолоджується до певної температури кипіння при даному залишковому тиску. Кристалізатори такого типу не мають охолоджуючих пристроїв, тому їх виготовляють насамперед із корозійностійких матеріалів з меншою теплопровідністю (кераміка, кислотостійкий чавун).



Рисунок 2.5 Вакуум-випарна установка

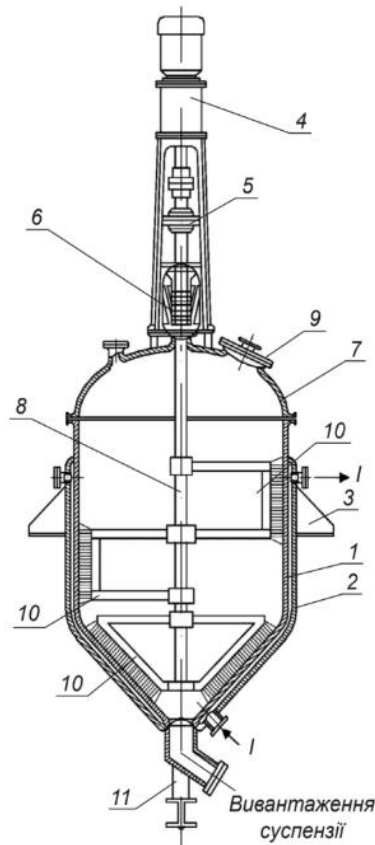


Рисунок 2.6 Будова кристалізатора періодичної дії ємнісного типу: 1 – корпус; 2 – оболонка; 3 – опори; 4 – електродвигун; 5 – редуктор; 6 - ущільнення; 7 – кришка; 8 – вал мішалки; 9 – люк; 10 – тримач зі щітками; 11 – вентиль.

Нутч-фільтр (2.7.) призначений для фільтрації рідин зазвичай без підігріву зі зниженим тиском. Характеризуються можливістю проведення фільтрації в інертній атмосфері та правильного обігріву чи охолодження за потреби. Відсутній контакт зовнішнього середовища з речовиною, що фільтрується, за рахунок чого досягається можливість проведення процесів в найбільш стерильних умовах навіть з токсичними або чутливими речовинами [22].

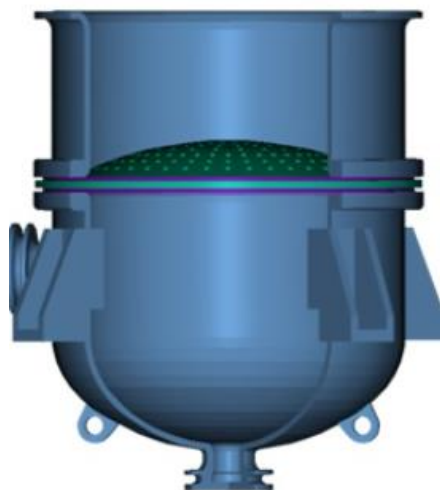


Рисунок 2.7 Нутч фільтр

Центрифуга лабораторна (рис.2.8) – апарат для розділення неоднорідних сумішей під дією відцентрованої сили, що виникає при обертанні. Під час обертання на високих обертах, рідини в роторі центрифуги відчують силу, яка в 13 000 разів перевищує силу тяжіння. Принцип дії: створення відцентрової сили від обертання ротора — розділення компонентів за густиною (наприклад, вода й кристали кальцію глюконату) [23].

Основні типи центрифуг: фільтраційні, де рідина проходить через фільтруючу стінку, осаджувальні, де тверді частки утримуються на стінках, рідина відводиться з центру та дискові - для тонкого поділу фаз.



Рисунок 2.8 Центрифуга та її частини

Сепаратори – це обладнання для розділення емульсій і освітлення тонких суспензій з допомогою відцентрових сил (рис.2.9). Вони відрізняються від центрифуг тим, що в середині барабана встановлені циліндричні перегородки, або конічні тарілки, які розділяють суміш на послідовність тонкошарових потоків. Тип сепаратору визначається шляхом подачі на розділення рідких сумішей:

- У відкритих апаратах подача сумішей в ротор і відведення фракцій відбувається у відкритому потоці.
- У напіввідкритих: суміш на розділення подається вільно, а фракції відводяться під тиском по герметичному трубопроводі.
- У герметичних сепараторах підведення сумішей і відведення фракцій здійснюється під тиском по герметичному трубопроводі.

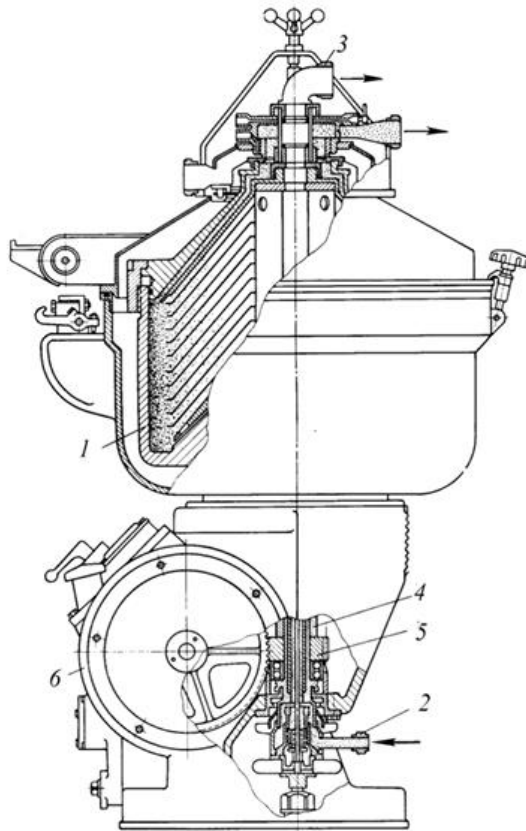


Рисунок 2.9 Загальний вид сепаратора: 1 – ротор; 2 – пристрій для подачі продукту; 3 – пристрій для виводу рідини; 4 – вертикальний вал; 5 - привідний механізм; 6 – станина

Технічний опис сепаратора розділювача ВРМ-209 74Н-12 фірми «Альфа-Лавань»: продуктивність становить 1500 л/год, к-сть обертів – 6205 об/хв, максимальний діаметр барабана – 460 мм і маса дорівнює 972 кг.

Осад вивантажується в сепараторах з центробіжним вивантаженням осаду через щілини в корпусі барабану. Щілини розміщені на висоті, що дорівнює половині висоти пакету тарілок. Осад завдяки центробіжних сил викидається у порожнину станини і видаляється [24].

Через низку певних переваг, та на основі аналізу літератури, на удосконалення було вирішено замінити нутч-фільтр на центрифугу безперервної дії. Порівняльна характеристика апаратів наведена в таблиці 2.12.

**Таблиця 2.12 – Особливості нутч-фільтра та центрифуги**

Характеристика	Нутч-фільтр	Центрифуга	Перевага центрифуги
Принцип розділення	Фільтрація під тиском або вакуумом	Відцентрована сила	Вища ефективність для кристалів
Швидкість	Повільна	Висока, безперервний режим	Прискорення циклу виробництва
Вологість продукту	15-20%	5-13%	Менші затрати
Площа	Велика	Порівняно менша	Економія
Автоматизація процесу	Тривале зниження вологості	Швидке розділення	Економія часу на сушіння

**Розрахунок основних параметрів вакуум-кристалізатора для кристалізації глюконату кальцію.**

Вихідні дані: початкова температура сягає 60<sup>0</sup>С, а кінцева – 6<sup>0</sup>С.

Температура речовини, що надходить до кристалізатора – 3<sup>0</sup>С.

**Матеріальний баланс процесу кристалізації загального типу:**

$$G_n = G_k + L + W = 328,67 + 1111,08 + 400 = 1836,75 \quad (2.1)$$

$$\text{та за розчиненою речовиною: } G_n \cdot X_n = 1836,75 \cdot 40 = 73470 \quad (2.2)$$

де  $G_n$  – маса початкового розчину, кг;

$G_k$  – маса маточного розчину, кг;

L – кількість утворених кристалів, кг;

W – маса випареного розчину, кг;

Далі доречно знайти кількість кристалів із допомогою рівняння:

$$L = \frac{G_n(X_n - X_k) + X_k \cdot W}{\gamma \cdot X_k} = \frac{1836,75(92 - 32) + 400 \cdot 32}{0,49 \cdot 36} = 6973,07 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad (2.3)$$

Для процесу кристалізації шляхом виділення частини розчинника ( $X_n = X_k$ ), характерна формула:

$$L = \frac{W \cdot X_k}{\frac{M_1}{M_1 + nM_2} - X_k} \quad (2.4)$$

### Тепловий баланс процесу кристалізації

Тепловий баланс процесу кристалізації методом видалення частини розчинника за рахунок підведення тепла "глухою" парою (ізотермічна кристалізація) може бути записаний на основі схеми теплових потоків процесу.

Сіль кристалізується у формі кристалогідрату, молярна маса становитиме:

$$M_{\text{кр}} = M + nM_{\text{вода}} = 430 + 1 \cdot 18 = 458 \text{ г/моль}$$

Вид кристалів опишемо співвідношенням молярних мас розчиненого розчину і кристалу:

$$\gamma = \frac{M}{M_{\text{кр}}} = \frac{430}{458} = 0,94$$

Розраховуємо кількість виділених кристалів, враховуючи що одночасно відбувається випаровування розчинника:

$$L = \frac{G_n(x_n - x_k) - W \cdot x_k}{360((x_k - \gamma))} = \frac{1836,75(92 - 36) - 400 \cdot 36}{360(36 - 0,94)} = 7 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (2.5)$$

Питома теплоємність розчину розраховуємо наступним чином:

$$c_n = c_{\text{вода}}(x_n - 1) + c = 2626 \cdot 91 + 1 = 2389,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \times \text{К} \quad (2.6)$$

Питома теплоємність хімічного складу  $C = 1461,95$

Розрахунок теплоти для розчину здійснюємо згідно теплового балансу:

$$Q = \frac{G_n \cdot c_n (t_n - t_k)}{3600} + \frac{L \cdot q}{M} - \frac{W_r}{3600} \quad (2.7)$$

$$Q = \frac{1836,75 \cdot 2389,7(60 - 6)}{3600} + \frac{2,03 \cdot 31000}{430} - \frac{400 \cdot 2333}{3600} = 65959,68 \text{ Дж}$$

Витрати води з розчину в насиченому стані:

$$W_{\text{охл}} = \frac{Q}{c_{\text{вода}}(t_n - t_k)} = \frac{65959,68}{2626(80 - 60)} = 11,7 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \quad (2.8)$$

Далі знаходимо площу охолодження кристалізатора:

$$F = \frac{65959,68}{100 \cdot 60} = 109 \text{ м}^2 \quad (2.9)$$

Коефіцієнт теплопередачі  $K=100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$

Середній температурний тиск сягає:

$$t_1 = |(t_n - t_k)| = |80 - 60| = 20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = |(t_n - t_k)| = |80 - 60| = 20^\circ\text{C}$$

### Конструктивний розрахунок

Вихідні дані: потужність – 1000 кг/год, час розчинення - 3 год, коефіцієнт заповнення апарата становить 0,5.

Звідси знаходимо об'єм апарата:

$$V = \frac{V_{\text{реак}} \cdot \alpha}{\varphi} = \frac{2,44 \cdot 1,15}{0,5} = 5,612 \text{ м}^3; \quad (2.10)$$

Внутрішній діаметр  $D_v = 1600 \text{ мм}$ .

Висота апарата  $H_v = 2225 \text{ мм}$ .

Висота циліндричної частини  $H_{\text{ц}} = 1800 \text{ мм}$ .

Висота рівня, що переміщується в апараті:

$$H_{\text{п}} = \frac{1,27(V_c - V_d)}{D} = \frac{1,27(2,44 - 0,6)}{1,6} = 1,5 \text{ м}; \quad (2.11)$$

Діаметр мішалки:

$$D_m = D_v - 2 \cdot H_m = 1600 - 2 \cdot 120 = 1360 \text{ мм}; \quad (2.12)$$

Висота мішалки рахується як:

$$H_M = \frac{0,36 \cdot H_B}{100} = \frac{36 \cdot 2225}{100} = 801 \text{ мм}; \quad (2.13)$$

Розрахункова товщина циліндричної стінки, що навантажена внутрішнім надлишковим тиском обчислюється:

$$S' = \frac{D_B \cdot P}{2[\sigma]\varphi - P} \quad (2.14)$$

де  $\varphi$  – це коефіцієнт запасу міцності, який прийнято за 1 (довжина 100% контролюється);

$P$  – розрахунковий тиск, Па;

$$P = 0,101 + 0,017 = 0,12 \text{ МПа}$$

Із літературних джерел норматичне допустиме напруження сталі марки ОХ17Т -  $[\sigma] = 500 \text{ МПа}$

Виконавча товщина стінки знаходиться:

$$S = S_r + c; \quad (2.15)$$

де  $c$  – це привка до товщини стінки;

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (2.16)$$

$c_1$  – додаток на компенсацію корозії та ерозії;

$$c_1 = \Pi\tau = 0,1 * 10 = 1 \text{ мм};$$

де  $\Pi$  – швидкість корозії та ерозії, мм/рік;

$\tau$  - термін функціонування апарату (10 років);

$c_2$  - додаток на компенсацію мінусового допуску, приймаємо 0,8 мм;

$$S' = \frac{1,6 \cdot 0,12}{2 \cdot 500 \cdot 1 - 0,12} + 3 \cdot 10^{-3} = 0,003 \text{ м} = 3 \text{ мм}.$$

Далі виконуємо розрахунок днища:  $h_1 = 40 \text{ мм}$ ;  $h_B = 400 \text{ мм}$ .

Для еліптичного днища радіус кривизни у вершині днища:  $R = D_B = 1,5 \text{ м}$ .

Коефіцієнт міцності зварних швів:  $\varphi_M = 0,8$

$$S' = \frac{1,6 \cdot 0,12}{2 \cdot 500 \cdot 0,8 - 0,12 \cdot 0,5} + 3 \cdot 10^{-3} = 0,003 \text{ м}$$

Товщина днища має бути не менш товщини обичайки, розрахованої при  $\varphi = 1$ .

На рисунку 2.10 предстало накреслений загальний вид вакуум-кристалізатора, що відповідає розрахункам вищезазначених.

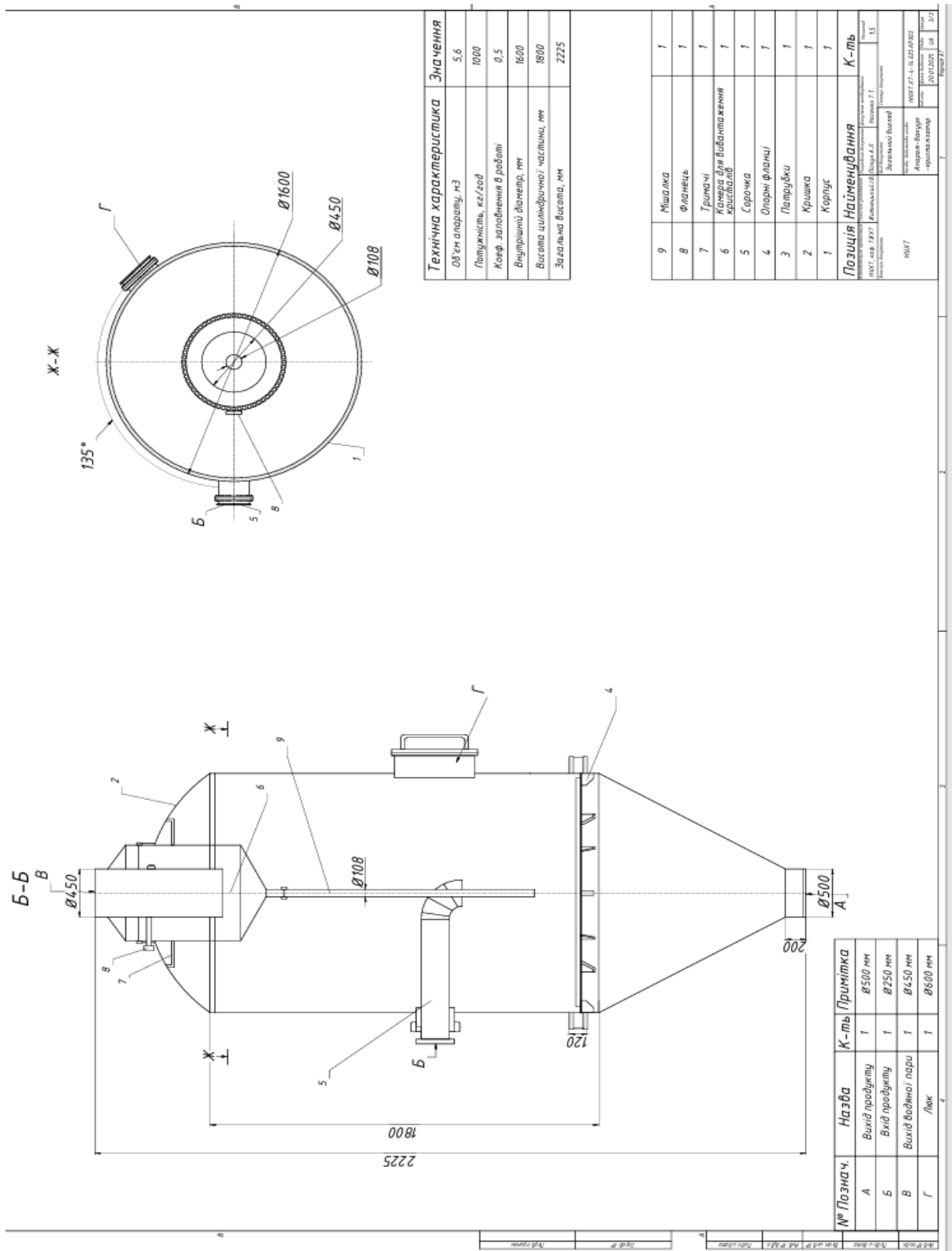


Рисунок 2.10 Вакуум-кристалізатор

## 2.5 Опис апаратурно-технологічної схеми

Для отримання глюконату натрію за температури 60°C, у реактор з лопатевою мішалкою 2, вносять глюкозу 9, воду 1, каталізатор «Сібуніт»10, гідроксид натрію 8. Далі розчин рухається відцентровим насосом 3 до закритого дискового фільтру 4. Відфільтрований каталізатор підлягає регенерації та повторному використанню. Відцентровим насосом 5 переноситься розчин глюконату натрію до реактора з нерухомим шаром каталізатора 6, та переводиться в глюконову кислоту на іонообмінній смолі КУ-98. Розчин глюконової кислоти подається відцентровим насосом 7 до реактора з лопатевою мішалкою 8 і вводиться карбонат кальцію. Необхідне постійне перемішуванням протягом 3 годин при температурі 20° С. Відцентрованим насосом 9 переводиться реакційна маса до саморозвантажувального сепаратора 10, та очищується від непрореагувавшего CaCO<sub>3</sub>. Відцентровим насосом 11 речовину йде у вакуум-випарну установку 13, де відбувається випаровування. Через кулачковий насос 14 речовина прямує до кристалізатора 15, перебуває при температурі 3-6° С протягом 10-12 годин. Отриманий глюконат кальцію вивантажується на шнековий транспортер 16 і направляється до центрифуги 17, де протягом 30 хв відбувається потрібне розділення маточного розчину. Далі через транспортер 18 речовина направляється до барабанної сушарки 19, згодом готовий продукт йде на фасування.

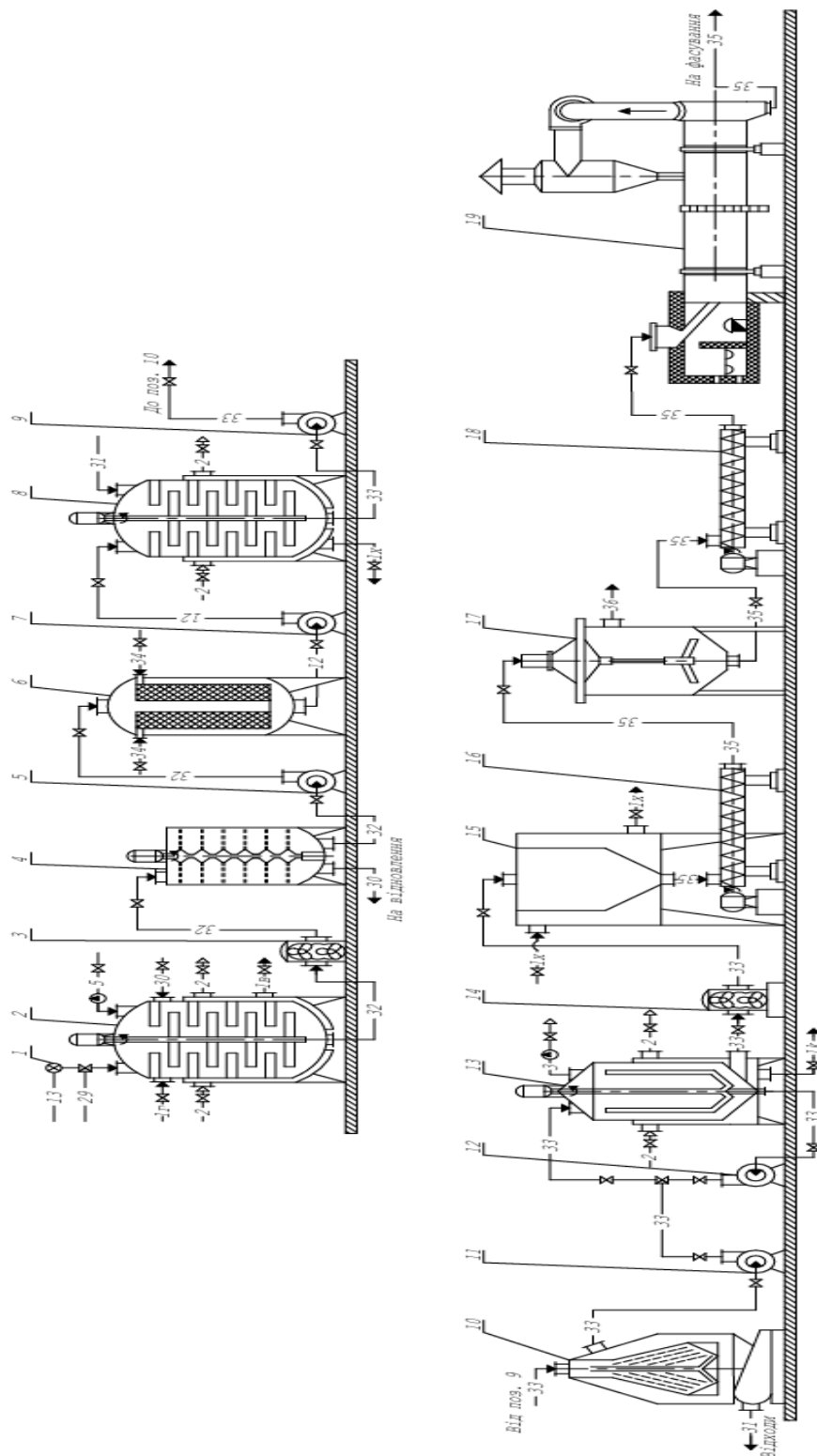


Рис.2.11 Апаратурно-технологічна схема виробництва глюконату кальцію

### РОЗДІЛ III ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Доцільність виробництва глюконату кальцію визначають розраховуючи його собівартість. Потрібна сировина наведена в таблиці 3.1

Вартість 1 кг глюконату кальцію становить 480 грн. Щоденний обсяг виробництва складає 1000 кг, тому дохід за один день:  $1000 * 480 = 480\,000$  грн

**Таблиця 3.1 – Витрати сировини на виробництво глюконат кальцію**

Сировина	Кількість сировини, кг	Вартість за 1 кг, грн	Загальна вартість, грн
Глюкоза	4440	42	186 480
Гідроксид натрію	975	122	118950
Карбонат кальцію	755	88	66440
Дистильована Вода	2750	6	16500
Всього			388370

Для пакування 1000 кг продукції зазвичай використовують певні типи упаковки в залежності від форми продукції та вимог до транспортування. Насамперед, мішки поліетиленові, контейнери і блістери.

Для виробництва 1000 кг глюконату кальцію достатньо 9 працівників, які працюють протягом 20 днів на місяць. Загальна сума заробітних плат - 260000 грн на місяць: четверо працівників отримують по 20 000 і 25 000 грн та решта п'ять працівників – 31000 грн. Сума заробітних плат за день дорівнює 13000 грн.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Піскун А. Л.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ III ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.062.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання	Мова	Аркуш
				01.05.2025	ua	62/80

Податки: 22% від мінімальної заробітної плати щомісячно, для 9 працівників сума складає 15840 гривень на місяць.

ЄСВ =  $15840/20 = 792$  грн на день

Єдиний податок: 12250 грн.

Військовий збір (1% від доходу): 4800 грн.

Всього: 17 842 грн

**Таблиця 3.2 – Фасування 1000 кг глюконату кальцію**

Тип упакування	Ціна за 1 товар, грн	Кількість, шт	Загальна вартість, грн
Мішки по 25 кг	5	40	200
Мішки по 50 кг	5,04	20	100
Блістери по 500 г	2,25	2000	4500
Упаковка по 1 кг	3,07	1000	3070
ВСЬОГО			7870

Енергетичні витрати наведені у таблиці 3.3 - загальна вартість споживаної електроенергії:  $669 \times 4,32 = 2890$  грн (за 1 годину роботи)

*Загальні витрати:*  $388370 + 7870 + 13000 + 17842 + 2900 = 429\,982$  грн

Прибуток як економічний показник є різницею між доходом від реалізації продукції та загальними витратами, пов'язаними з її виробництвом, збутом, а також фінансовими й інвестиційними витратами [25].

Прибуток:  $480\,000 - 429\,982 = 50\,018$  грн

Рентабельність:  $(50018 / 480\ 000) * 100\% = 10,4\%$

**Таблиця 3.3 – Енергетичні витрати за весь процес виробництва**

Обладнення	Потужність, кВт
Дозатор луѓу	3,0
Реактор з лопатевою мішалкою	27,0
Відцентровані насоси	4,0
Дисковий фільтр	15,0
Реактор	40,0
Кулачкові насоси	5,0
Саморозвантажувальний сепаратор	12,0
Випарна установка	30,0
Шнековий транспортер	3,0
Центрифуга	10,0
Кристалізаційна ванна	8,0
Сушіння й фільтрування	512
Всього	669

Побічні продукти не є токсичними та можуть бути утилізовані стандартними методами. Передбачено очищення стічних вод. Виробництво глюконату кальцію є економічно доцільним, технічно обґрунтованим та екологічно безпечним. Реалізація дозволяє зменшити залежність від імпорту глюконату кальцію та забезпечити потреби харчової та фармацевтичної галузей.

## РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Система якості продукції – це комплекс певних процедур й структур, які гарантують дотримання належним чином стандартів безпеки, чистоти, ефективності та якості конкретного продукту. Якість продукції та надійність є ключовими факторами успіху в усіх промисловостях. Зростаючий акцент на сталому виробництві вимагає підтримки ефективності та результативності використання ресурсів протягом життєвого циклу продукту, процесу та виробничої системи [26].

Харчові продукти є безпечними, якщо не мають в наявності шкідливих речовин або їхній вміст не перевищує законодавчо визначені санітарно-гігієнічні нормативи. Шкідливою вважають речовину, яка в процесі виробництва, споживання чи використання в побуті при контакті з організмом людини спричиняє погані зміни здоров'я чи самопочуття [2].

Головний задум організації контролю якості продукції у виробництві глюконату кальцію – це забезпечення усіх відповідних правил безпеки й ефективності застосування даної харчової добавки та/або медичного препарату. Всі вихідні речовини, які дозволено використовувати в продажі повинні задовільняти вимоги Державної фармакопеї або ДСТУ, ВТК тощо. Шляхом систематичного моніторингу кожного етапу буде досягнуто усіх вимог технологічного процесу — від сировини до пакування.

Контроль якості сировини, де перевіряють:

- відповідність фізико-хімічних показників (волога, рН, чистота);
- наявність сертифікатів аналізу;
- мікробіологічні показники (фармацевтична чи харчова продукції).

**Контроль на етапах виробництва** включає перевірку:

- дотримання режимів температури, тиску, рН;

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Піскун А. Л.	Назва, додаткова назва  РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.066.КР.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 01.05.2025	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 66/80

- правильності дозування компонентів;
- стабільності реакції або процесу, зокрема, кристалізації;
- виявлення відхилень у технологічному процесі.

Для певних сполук (кальцію глюконат в тому числі), які потрібні при виробництві ін'єкційних розчинів (рис.4.1) виокремлюють більш суворі вимоги отримання чистоти тої чи іншої речовини.



Рисунок 4.1 Ін'єкційний розчин глюконату кальцію

**Таблиця 4.1 – Органолептичні особливості глюконат кальцію ін'єкційного (ветеринарного)**

Назва показника	Характеристика	Метод контролю
Зовнішній вигляд	Без осаду, прозорий	ДФУ-1.0 ст. 379 ДСТУ 7662:2014
Колір	Безбарвний або світло-жовтий	ДФУ-1.0 ст. 379
Смак	Не визначається	ДФУ-1.0 ст. 379
Однорідність	Без розшарування	ДФУ-1.0 ст. 379

В Україні застосування глюконату кальцію як харчової добавки E578 заборонено. Однак, досить важливе застосування даної речовини як медичного засобу, для тварин при дефіциті кальцію, отруєнні солями магнію, непрацездатності тощо. За органолептичними властивостями ін'єкційний глюконат кальцію має відповідати спеціальним вимогам (табл. 4.1).

Визначення зовнішнього вигляду і кольору проводять візуально при розсіяному світлі. Визначення запаху проводять органолептично. Органолептичні випробування проводять за стандартними умовами при температурі  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , за відсутності сторонніх запахів у приміщенні.

В Європі майже в більшості країн E578 використовується в харчовій промисловоті як стабілізатор, модифікатор структури, регулятор кислотності. Характеризується білим кольором без запаху чи смаку, розчиняється у воді.

Глюконат кальцію вважається нетоксичною та безпечною харчовою добавкою, яка має низький рівень токсичності та добре переноситься організмом. Його широке застосування в харчовій, фармацевтичній та медичній галузях є підтвердженням високого ступеня безпеки. Висока сумісність із біологічними системами робить глюконат кальцію однією з найпоширеніших форм кальцію для використання в харчовій промисловості та медицині.

#### Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

- у хімічній лабораторії забороняється використовувати електроприлади з порушеною ізоляцією проводів, несправними вилками;
- при припиненні подачі струму всі електроприлади та установки повинні бути вимкнені;
- при загорянні проводів або електроприладів слід негайно вимкнути струм та використовувати засоби пожежогасіння

Дія електричного струму на організм людини носить складний та різнобічний характер. Проходячи через організм людини, електричний струм справляє термічну, електролітичну та біологічну дію. Термічна дія струму проявляється у опіках окремих ділянок тіла, а також у нагріванні до високих температур інших органів. Електролітична дія струму виявляється у розкладанні органічних рідин, що викликає значні порушення їх фізико-хімічного складу. Біологічна дія з'являється як подразнення, а також у порушенні біоелектричних процесів. Електротравми можна розділити на два види: місцеві та електричні удари.

## РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Охорона праці на підприємстві

Система охорони праці на підприємствах виробництва глюконату кальцію передбачає уникнення і застереження ризиків для здоров'я працівників та якості продукту. Робота з хімічними реагентами, процесами, технологічним обладнанням зобов'язує дотримання усіх відповідних заходів безпеки.

Забезпечення техніки безпеки та охорони праці на виробництві глюконату кальцію є одним із ключових аспектів стабільної та безпечної роботи підприємства. Загальною метою є створення безпечних умов праці для всіх працівників, зниження ризику травматизму та професійних захворювань, а також забезпечення дотримання вимог чинного законодавства України в сфері охорони праці [27, 28].

Конструкція устаткування повинна відповідати:

1. вимогам пожежної безпеки - ДСТУ 8828:2019, ДСТУ 2272-93;
2. вимогам вибухобезпеки - ДСТУ EN 60079-0:2017;
3. загальним вимогам до конструкції.

Виробничий процес передбачає використання хімічних речовин, обладнання з високими температурами та тиском, машин і механізмів, які можуть становити небезпеку при порушенні правил експлуатації. Небезпечними та шкідливими виробничими факторами є:

- вплив хімічних речовин (глюконова кислота);
- можливість утворення пилу в процесі подрібнення та фасування;
- шум та вібрація від обладнання (реактори, сушарки);
- висока температура сушіння;
- електричний струм при роботі з електрообладнанням.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Піскун А. Л.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.070.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання	Мова	Аркуш
				01.05.2025	ua	70/80

За несприятливих умов праці, роботодавець повинен забезпечувати працівників спеціальним одягом, взуттям та засобами індивідуального захисту.

Для запобігання негативному впливу на працівників на підприємстві впроваджують наступні заходи:

- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту: респіраторами, захисним одягом, рукавицями, окулярами тощо;
- організація інструктажів з охорони праці перед початком роботи, періодичне навчання та перевірка знань з техніки безпеки;
- регулярне технічне обслуговування та перевірка стану обладнання;
- облаштування приміщень відповідною вентиляцією;
- наявність аптечок, засобів пожежогасіння та планів евакуації.

Дотримання всіх норм і стандартів з охорони праці є необхідною умовою для збереження життя, здоров'я працівників і стабільного функціонування підприємства.

З положення статті 13 Закону України "Про Охорону праці" кожен працівник повинен дотримуватись наданих вимог:

1. дбати про власну безпеку і здоров'я, а також інших людей в процесі виконання робіт або при перебуванні на території підприємства;

2. пам'ятати і виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці, правила поведження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва, користуватися засобами колективного та індивідуального захисту;

3. проходити у встановленому законодавством порядку попередні та медичні огляди.

Кожна людина особисто відповідає за порушення конкретних правил чи вимог на даному підприємстві.

<i>ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.071.КР.ПЗ</i>	Інд. змін.	Дата видання 01.05.2025	Мова ua	Аркуш 71/80
--	------------	----------------------------	------------	----------------

## 5.2 Охорона навколишнього середовища на підприємстві

Екологія в нашій країні та у світі поступово веде до забруднення питної води, повітря, ґрунтів, і відповідно харчових продуктів. Основними чинниками забруднення навколишнього середовища та продуктів – викиди промислових підприємств, транспорту, відходи комунальних господарств, наслідки радіаційних викидів аварії на Чорнобильській АЕС 1986 року, повномасштабне вторгнення росії в Україну 2022 року, надмірне використання хімікатів.

Охорона довкілля — це сукупність заходів, спрямованих на збереження природного середовища, зменшення або усунення негативного впливу господарської діяльності людини.

В процесі виробництва глюконату кальцію, утворюються речовини які можуть спричинити шкоду навколишньому середовищу. Зокрема, гідрокарбонат кальцію який у природних умовах утворюється при взаємодії розчиненого в природній воді вуглекислого газу з вапняками:



З метою забезпечення екологічної безпеки продуктів харчування необхідно здійснювати хоча би постійний контроль за джерелами забруднення, впроваджувати екологічно чисті технології виробництва, дотримуватись санітарно-гігієнічних норм та сертифікаційних вимог [28].

У виробництві глюконату кальцію E578 в даній кваліфікаційній роботі було обрано потрібну сировину й компоненти, кожен з яких має деякий рівень небезпеки згідно певної класифікації (табл.5.1).

Глюкоза й вода не вважаються небезпечним речовинами.

**Таблиця 5.1 – Клас небезпеки сировини**

Речовина	Клас небезпеки
Кальцій карбонат	4
Кальцій гідроксид	3
Натрій гідроксид	2

Карбонат кальцію може викликати подразнення слизових оболонок. Потенційно шкідливий лише у концентрованій твердій формі або у дуже концентрованих розчинах. Безпосередній контакт з очима або шкірою з чистими кристалами чи порошком може викликати подразнення. Вдихання кристалів або порошку може подразнювати дихальні шляхи. Тривалий контакт з концентрованими розчинами карбонату кальцію має висушувальний ефект на шкіру. Розведені розчини карбонату кальцію, як правило, нешкідливі та можуть бути корисними.

Кальцій гідроксид – це їдка сполука, що може викликати серйозні хімічні опіки, вимагає чіткого дотримання інструкцій із техніки безпеки та охорони праці. Потрапляння в очі може призвести до жахливого дискомфорту та тимчасової або постійної втрати зору. Надлишки гідроксиду кальцію слід видаляти тканиною, а уражену шкіру слід регулярно промивати водою, якщо вона потрапила на шкіру. Хоча у всіх випадках зовнішнього впливу слід негайно звернутися за медичною допомогою, при потрапляння в очі повинні варто постійно промивати водою протягом перших 15 хвилин після потрапляння.

Натрій гідроксид – лужна сполука, при деякій концентрації високонебезпечний. Властива корозійна дія на тканини, що контактували з ними. Пил при вдиханні може спричинити пошкодження верхніх дихальних шляхів і легень, починаючи від легкого подразнення носа і закінчуючи пневмонією. Можливе серйозне пошкодження слизових оболонок; утворення серйозних

рубців або перфорація. Негорюча речовина, але розкладається при нагріванні з утворенням корозійних та/або токсичних парів. Деякі з них є окислювачами та можуть займати горючі речовини (деревину, папір, олію, одяг). Корозійні речовини при контакті з металами іноді виділяють легкозаймистий газоподібний водень. Контейнери можуть вибухнути при нагріванні.

Основна сировина малонебезпечна, однак заходи безпеки вимагають застосування індивідуальних засобів захисту для персоналу та дотримання інструкцій на підприємстві.

Охорона атмосферного повітря населених місць здійснюється відповідно до ДСП 201 та ДСТУ 4277:2004. Газоподібні викиди перед потраплянням у атмосферу повинні пройти етап очищення і не мають перевищувати гранично допустимі значення, що встановлюються для кожного джерела забруднення атмосфери.

Згідно статті 11 'Про охорону атмосферного повітря' для забезпечення екологічної безпеки, створення сприятливого середовища життєдіяльності, уникненню шкідливому впливу атмосферного повітря на навколишнє природне середовище здійснюється регулювання викидів найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, перелік яких закріплюється Кабінетом Міністрів України.

Кодекс Аліментаріус (Codex Alimentarius, «Харчовий кодекс», «Харчовий закон» чи «Звід нормативів») – це сукупність визнаних міжнародною спільнотою стандартів щодо харчових продуктів. Тобто це описані стандарти, технічні норми і правила, методичні рекомендації, прийнятих міжнародним співтовариством, викладених в однаковому стилі, що мають як загальний, так і конкретний характер [2].

Кодекс Аліментаріус та Європейське агентство з безпеки харчових продуктів (EFSA) дозволяють використання глюконату кальцію як добавки в продуктах харчування без встановлення конкретного допустимого добового споживання, що означає його низьку токсичність при звичайному споживанні.

Глюконат кальцію не є канцерогенним, мутагенним або тератогенним. Тобто він не викликає рак, генетичних мутацій або вроджених вад у потомства.

Після потрапляння в організм глюконат кальцію добре засвоюється в тонкому кишківнику, а надлишок виводиться із сечею, не накопичуючись. Високі дози (значно вищі за харчові) можуть спричинити гіперкальціємію, нудоту, порушення серцевого ритму або проблеми з нирками, тому у фармацевтичному застосуванні дози мають контролюватись лікарем.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізувавши наукову-технічну літературу встановлено, що кальцій глюконат E578 – це харчовий ущільнювач, комплексоутворювач, також використовуюється при гіпокальціємії, порушені передачі нервових імпульсів у м'язах, отруєнні сіллю магнію, щавлевою кислотою. Допустима добова норма: до 50 мг/кг маси тіла. В Україні як харчова добавка заборонений.

2. Запропоновано технологічне удосконалення виробництва глюконату кальцію – встановлення центрифуги після стадії кристалізації. Було вирішено замінити нутч-фільтр на центрифугу з метою отримання продукту вищого рівня чистоти, з нижчим вмістом вологи та меншими затратами часу й ресурсів.

3. Здійснено розрахунок матеріального балансу (на одну тону готового продукту використовується 5762,8 кг вихідної сировини), який продемонстрував ефективність процесу, з урахуванням виходів на різних етапах.

Крім того, було підібрано основне обладнання та розраховано параметри вакуум-кристалізатора. Об'єм апарата становить 5,6 м<sup>3</sup>, внутрішній діаметр дорівнює 160 см, висота апарата – 222,5 см, висота циліндричної частини – 180 см.

4. Накреслено принципову та апаратурно-технологічну схеми одержання глюконату кальцію методом рідкофазного окиснення глюкози в лужному середовищі з каталізатором.

5. Розраховано економічну ефективність виробництва за удосконаленою технологією. Прибуток становить 50 018 грн, рентабельність виробництва - 10,4% і вказує на економічну доцільність за умови оптимізації витрат та мінімальний побічних відходів.

6. Ознайомлено із організацією контролю якості готової продукції. Зазначені фактори й чинники, які варто дотримуватись задля безпеки.

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

7. Описано заходи щодо екологічної безпеки та навколишнього середовища, зазначено класи небезпеки вихідної сировини для виробництва глюконату кальцію. Токсичність глюконату кальцію дуже низька, тому для навколишнього середовища не є шкідливим у звичних концентраціях. Зазначено класи небезпеки вихідної сировини, деякі речовини потребують детальної уваги.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кричковська Л.В., Белінська А.П. Безпека харчових продуктів: навч. посібн. Харків: НТУ «ХП», 2017. 98 с.
2. Макаренко О.Г. Токсикологічна хімія: курс лекцій. Київ: НУХТ. 2025. 122 с.
3. Подобій О.В. Хімія та технологія харчових добавок: конспект лекцій Київ: НУХТ. 2019. 65 с.
4. Кюрчев В. М. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ. 2022. Вип. 12. том № 3. 5 с.
5. Клітинська О.В, Костенко Є.Я, Гасюк Н.В. Профілактика стоматологічних захворювань: навч. посібн. Ужгород: 2019. 48 с.
6. Кальцій глюконат [Електронний ресурс] //: <https://darnytsia.ua/catalog/kaltsiyu-glyukonat-darnitsya> (дата звернення: 07.08.2023).
7. Supporting Information for Low-Priority Substance. Washington: 2020. DC 20460.
8. Безуглий П. О, Фармацевтична хімія: підручн. Вінниця: 2010. 151 с.
9. Глюконат кальцію [Електронний ресурс] //: <https://www.artერიум.ua/en/medications/otc/58> (дата звернення: 22.04.2025).
10. Galant A. L., Kaufman R. C., Wilson J. D. Glucose: detection and analysis: *Elsevier*. 2015. Vol. 188. Pp. 149-160
11. Electrochemical method of obtaining calcium-gluconate. DOI:10.5937/ZasMat1803338S

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Піскун А. Л.	Назва, додаткова назва СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-4-14.025.161.078.КР.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання	Мова	Аркуш
				01.05.2025	ua	78/80

12. Irfama M., Saeed A. Production of Calcium Gluconate by *Aspergillus niger* in Shake Flasks: *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 2002. Vol. 5. Pp. 321-324.
13. Kirimura K., Honda Y, Hattori T. Gluconic and Itaconic Acids. *Academic Press*. 2011. Vol. 6, Pp.143-147.
14. Teir S., Eloneva S., Zevenhoven R. Production of precipitated calcium carbonate from calcium silicates and carbon dioxide: *Elsevier*. 2005. Vol. 46. № 18. Pp. 2954-2979.
15. Haiqing S., Hao J., Geng L. Combustion of phytoremediation biomass for recycling utilization: Thermal behavior, kinetic analysis, and release of heavy metal: *Elsevier*. 2025. Vol. 230. 121030.
16. Натрій гідроксид. [Електронний ресурс] //: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-Hydroxide> (дата звернення: 10.05.2025).
17. Черевко О. І. Підручник. Процеси й апарати харчових виробництв. Харків: Світ книг. 2014. 95 с.
18. Роторний насос [Електронний ресурс] //: <https://mtsp.com.ua/ua/catalog/product/nasos-rotornij-v3-ora-10/> (дата звернення: 12.10.2025).
19. Коломієць С.М., Болтянський Б.В. Машини безперевного транспорту в технологіях: методич. посібн. Мелітополь: 2016. 120 с.
20. ТОВ “Техенергоінвест Україна”. [Електронний ресурс] //: <https://www.tei.com.ua/shnekovi-transporter/> (дата звернення: 12.05.2025)
21. Сидоров Ю. І., Чуєшов В. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичних промисловості: посібн. Київ: Нова книга. 2010. 248 с.
22. Фільтри сталеві емальовані під розрідження. [Електронний ресурс] //: [https://euromash.kiev.ua/ua/nutch\\_filtr\\_ua.php](https://euromash.kiev.ua/ua/nutch_filtr_ua.php) (дата звернення: 21.05.2015).

23. Центрифуга. [Електронний ресурс] //: <https://alt.ua/blog/laboratorna-medichna-tsentrifuga-vydy-osoblyvosti> (дата звернення: 20. 06.2024).
24. Житнецький І. В. Обладнання хімічних виробництв: метод. реком. Київ: НУХТ. 2021. 120 с.
25. Ємцева Г.Ф. Економіка підприємства: консп. лекц. Київ: НУХТ. 2023. 170 с.
26. Colledani M., Tolio T., Fischer A. Design and management of manufacturing systems for production quality. *Elsevier*. 2014. Vol. 63. № 2. Pp/ 773-796.
27. Про охорону праці [Електронний ресурс] //:: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення: 30.05.2025)
28. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [Електронний ресурс] //: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 31.05.2025)