

**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  
\_\_\_\_\_ О.В. Кочубей-Литвиненко  
(підпис) (ініціали та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Т.Т.Носенко  
(підпис) (ініціали та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 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 отримання ізомальту

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 4

\_\_\_\_\_ Дика Альона Валеріївна \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Подобій Олена Валеріївна \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_ Житнецький І.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ Бондаренко С.П. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень із праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2021 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально- науковий інститут харчових технологій \_\_\_\_\_

Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів \_\_\_\_\_

Освітній ступінь бакалавр \_\_\_\_\_

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічна технологія \_\_\_\_\_  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри ТЖХТ

Т.Т.Носенко

“09” квітня 2021 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Дикої Альони Валеріївни \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології отримання ізомальту \_\_\_\_\_

керівник роботи Подобій Олена Валеріївна, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “08”квітня 2021 р.№ 236- КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01 червня 2021 р. \_\_\_\_\_

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

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_  
Вступ; Розділ I. Аналітичний огляд науково-технічної літератури; Розділ II. Технологічна частина; Розділ III. Техніко-економічне обґрунтування; Розділ IV. Організація контролю якості продукції; Розділ V. Екологічна частина та охорона праці; Висновки; Список використаної літератури; Додатки. \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова технологічна схема, формат аркушу А1 \_\_\_\_\_

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1 \_\_\_\_\_

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

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина.	Житнецький І.В. к.т.н., доцент кафедри МАХтаФВ	11.05.2021р.	<u>01.06.2021р.</u>

7. Дата видачі завдання 09.04.2021

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	12.04.2021р.	
2	Аналітичний огляд науково-технічної літератури	14.04-25.04.2021р.	
3	Технологічна частина. Розрахунок матеріального та теплового балансу. Розрахунок та підбір основного технологічного обладнання.	26.04-25.05.2021р.	
4	Техніко-економічне обґрунтування	11.05-16.05.2021р.	
5	Організація контролю якості продукції	17.05-19.05.2021р.	
6	Екологічна частина та охорона праці	20.05.-23.05.2021р.	
7	Висновки	24.05.2021р.	
8	Список використаної літератури. Реферат	12.04.-25.05.2021р.	
9	Графічна частина проекту. Принципова технологічна схема	26.04-10.05.2021р.	
10	Графічна частина проекту. Апаратурно-технологічна схема	26.04-10.05.2021р.	
11	Графічна частина проекту. Креслення апарату (загальний вигляд)	11.05-25.05.2021р.	
12	Перевірка на академплагіат, передзахист, , рецензування ДП	25.05.2021р.- 01.06.2021р.	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Дика А.В.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Подобій О.В.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ЗАПИСКА ПОЯСНЮВАЛЬНА: 77 С., 6 РИС., 19 ТАБЛ., 34 ДЖЕРЕЛ.

Метою даної роботи є удосконалення технології виробництва ізомальту продуктивністю 1000 кг/добу. Об'єктом дослідження є технології отримання ізомальту, предметом дослідження є ізомальт (E953). Проведено аналіз науково-технічної літератури та зазначено основну інформацію стосовно ізомальту, методу отримання, технології виробництва, його фізико-хімічні, органолептичні та фізіологічні властивості, наведено сфери застосування ізомальту та екологічні аспекти виробництва. Наведено аналіз сировинної бази, основною сировиною для запропонованого виробництва являється сахароза.

Розроблено принципову та апаратурно-технологічну схему виробництва. Проведено розрахунок матеріального балансу по кожній стадії та тепловий баланс однієї вибраної стадії. На основі розрахунків, підібрано основне технологічне обладнання для забезпечення виробництва ізомальту, зазначено його основні технічні характеристики. Проведено технологічний, конструктивний, тепловий розрахунок випарного апарату та виконано креслення загального виду даного апарату.

Розраховано техніко-економічні показники виробництва, за результатами яких показано, що підприємство є рентабельним. Проаналізовано контроль якості продукту, розроблено заходи з охорони праці та навколишнього середовища на проектуваному виробництві.

В кінці було підведено підсумки роботи та ступінь виконання поставлених завдань.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ХАРЧОВА ДОБАВКА (E953), ПІДСОЛОДЖУВАЧІ, ІЗОМАЛЬТ, РУТЕНІЙ, ПРИНЦИПОВА СХЕМА, АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	6
1.1 Класифікація солодких речовин.....	6
1.2 Характеристика ізомальту.....	8
1.2.1 Органолептичні властивості.....	10
1.2.2 Фізіологічні властивості.....	10
1.2.3 Фізико-хімічні властивості ізомальту.....	11
1.3 Використання ізомальту у промисловості.....	12
1.4 Виробництво ізомальтиту.....	14
1.4.1 Технологія виробництва.....	14
1.4.2 Екологічні аспекти виробництва.....	16
1.5 Удосконалення технології.....	17
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	20
2.1 Характеристика сировини.....	20
2.2 Опис принципово-технологічної схеми.....	21
2.3 Матеріальний баланс виробництва.....	25
2.4 Тепловий баланс сушарки.....	33
2.5 Підбір обладнання.....	36
2.6 Розрахунок та креслення випарного апарату.....	43
2.7 Опис апаратурно-технологічної схеми.....	56
РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА.....	59
РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ.....	65
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	69
5.1 Охорона праці на підприємстві.....	69
5.2 Заходи з охорони навколишнього середовища на виробництві.....	71
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

					<b>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ЗМІСТ</b>			
Розроб.	Дика А.В.	Подобій О.В.						
Перевір.					3	77		
Н. Контр.	Бойчук Т.М.				<b>НУХТ Каф. ТЖХТ</b>			
Затверд.	Носенко Т.Т.							

## ВСТУП

На сьогоднішній день є багато підтверджень, що споживання цукру виявляє негативний вплив на організм людини, особливо якщо не нормувати кількість та вести малоактивний спосіб життя. Тому сучасні тенденції формують все більшу цікавість до здорового харчування та заміну цукру на натуральні цукрозамінники чи підсолоджувачі. Відслідковується збільшення попиту на товари, в тому числі і кондитерські вироби, в яких використовувалися замітники цукру.

Одним із підсолоджувачів є ізомальт, він не має стороннього запаху чи смаку, не викликає карієсу, не шкідливий для нашого організму. На сучасному етапі розвитку промисловості, все частіше ізомальт знаходить використання в різних технологіях, для надання солодкого смаку харчовим продуктам та лікарським препаратам, а також в ролі текстуратора, глазуруючого агента та наповнювача.

Ізомальт почали широко використовувати кондитери, не тільки в якості підсолоджувача, а як сировину для приготування карамелей, льодяників та прикрас, що застосовуються для декору тортів.

Отже, *актуальним* є аналіз технології отримання ізомальту та пошук шляхів її удосконалення з метою покращення якості продукту та підвищення економічної ефективності підприємства. Адже для безпечного використання потрібний постійний контроль впливу речовини на організм людини, а також поглиблення знань і удосконалення технологій для покращення та полегшення його виробництва.

**Предметом дослідження є:** ізомальт в ролі харчової добавки E953.

**Об'єктом дослідження є:** технологія виробництва ізомальту.

**Мета роботи:** полягає в пошуку ефективних шляхів удосконаленні

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.		Дика А.В.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О.В.				4	77
Н. Контр.		Бойчук Т.М.			НУХТ, Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

технології виробництва ізомальту.

***Завдання на роботу:***

- Пошук та аналіз науково-технічної літератури, що пов'язана з властивостями ізомальту та технологією виробництва;
- Ознайомитися з сучасними методами отримання ізомальту;
- Охарактеризувати основну сировину, що використовується у виробництві;
- Скласти і описати принципову та апаратурну схему;
- Розрахувати матеріальний та тепловий баланси виробництва;
- Підібрати основне технологічне обладнання;
- Виконати розрахунок та креслення одного з апаратів виробництва;
- Провести економічні розрахунки;
- Описати показники якості та безпечності отриманого продукту;
- Охарактеризувати охорону праці та екологічну безпеку проектованого виробництва;
- Зробити висновки по здійсненій роботі.

					<b>ВСТУП</b>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Класифікація солодких речовин

Солодкі речовини класифікують:

- за походженням (штучні і натуральні);
- калорійністю (висококалорійні, низькокалорійні, практично не калорійні);
- за ступенем солодкості (є з високим цукровим еквівалентом та низьким);
- за хімічним складом [1].

За рівнем солодкості цукрозамінники класифікують на об'ємні (рівень солодкості яких близький до сахарози) і інтенсивні (речовини, у багато разів солодші сахарози). Інтенсивні підсолоджувачі відносяться до класу харчових добавок, тому їх застосування строго регламентується відповідними документами [2].

Цукрозамінники, солодкість яких більш ніж на 30% вища за солодкість цукру, відносяться до речовин з високим ступенем солодкості; солодкість яких знаходиться у межах  $\pm 30\%$  до солодкості цукрози – речовини з середньою солодкістю; солодкість яких менше солодкості цукрози на 40 % – речовини з низьким рівнем солодкості; речовини, солодкість яких менша за солодкість цукру на 60% - речовини з дуже низькою солодкістю [3].

Якщо 1 г солодкої речовини дає організму 4 ккал енергії - це речовини з високим рівнем калорійності; від 2,5 до 4 ккал – середній рівень калорійності; менше 2,5 – низький.

За глікемічним індексом поділяють солодкі речовини на : речовини з високим глікемічним індексом (еталон білий хліб) – вище 100%; середнім ГІ

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дика А.В.			<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О.В.					6	77
Н. Контр.		Бойчук Т.М.			НУХТ Каф. ТЖХТ			
Затверд.		Носенко Т.Т.						

від 60 до 100%; низьким ГІ - від 20 до 50 %; дуже низьким - менше 20% [3].

Класифікація солодких речовин за харчовим критерієм, представлена А.П. Нечаєвим, А.А. Кочетковою та О.М. Зайцевим, є однією з найбільш вживаними і представлена на рис 1.1.



Рис. 1.1 Класифікація солодких речовин за харчовим критерієм

**Підсолоджувачі** — солодкі речовини природного і синтетичного походження, не цукрової природи, які не засвоюються організмом, не мають калорійності, мають високий цукрознай еквівалент. Найбільш відомими природними підсолоджувачами є тауматин, стевіозид, монелін, неогесперидин дигідрохалкон, гліцеризин, але вони не знайшли широкого застосування у харчовій промисловості. Синтетичні інтенсивні підсолоджувачі мають хімічну природу, технологічно не активні, не впливають на СВМ тіста. Відомими представниками є сахарин, цикламати, ацесульфам К, аспартам і сукралоза. Використовуються у виробництві молочних, хлібобулочних виробів, печива, жувальної гумки [4].

**Цукор та цукропродукти** — отримують з вуглеводневої природи, мають високу калорійність та є харчовими продуктами.

**Цукрозамінники** — це солодкі речовини, які отримують з рослинної сировини або шляхом хімічної чи ферментативної модифікації цукру та цукропродуктів. Вони мають калорійність, але для їх засвоєння організм не потребує інсуліну. Мають солодкість, яка близька до солодкості цукру. Можуть виконувати у продукті не тільки роль солодкої речовини, але й наповнювача маси. До цукрозамінників відносяться поліоли [4].

Найширшого використання знайшли сорбіт, ксиліт, лактіт. Вони мають солодкий смак, хорошу розчинність, здатність утримувати вологу, не кристалізуються. Поліоли не карамелізуються і не вступають в реакцію Майєра. В кількості понад 50 г виявляють послаблюючий ефект та жовчогінну дію, тому добова доза не повинна бути більша ніж 40 г. Використовують їх у виробництві кондитерських і хлібобулочних виробів, морозива, фруктових та овочевих консервів.

Цукрозамінники повільно всмоктуються або взагалі не всмоктуються у тонкому кишечнику, а у товстому розщеплюються ферментами, тому засвоюються без участі інсуліну. Недоліком є те, що вони мають обмежену розчинність у воді та негативний вплив на дріжджові клітини [4].

Структуроутворюючі цукрозамінники та підсолоджувачі відрізняються показниками цукрового еквіваленту. Коефіцієнт солодкості — це кількість цукру, яка забезпечує солодкість розчину, еквівалентну солодкості 9% розчину підсолоджувача або він показує, у скільки разів треба взяти менше підсолоджувача, щоб досягти еталонного смаку. Тому підсолоджувачі застосовуються в менших кількостях ніж рецептурна закладка цукру. Їх цукровий еквівалент порівнюють з цукрозою [3].

## 1.2 Характеристика ізомальту

Ізомальт —  $C_{12}H_{24}O_{11}$ , натуральний цукрозамінник, основними складовими якого є 1,6-GPS(6-O-a-D-глюкопіранозил-D-сорбіт) і 1,1-GPM(1-O-a-D-

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

глюкопіранозил-D-маніт). Належить до поліолів і його отримують виключно з цукрози. Це суміш двох цукрових спиртів із 12 атомів вуглецю [5].

Структурна формула ізомальту представлена на рис. 1.2.

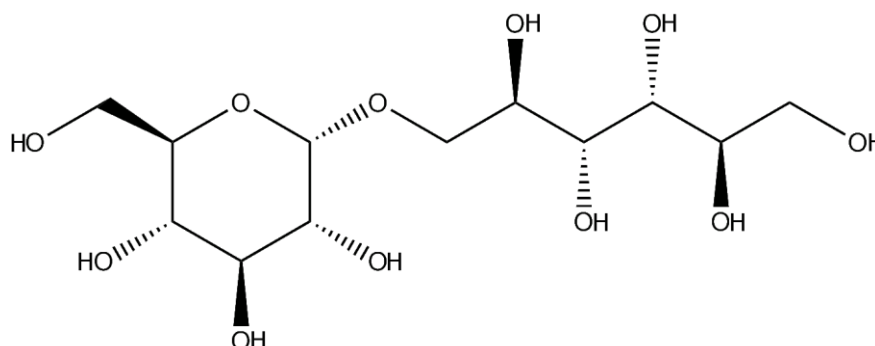


Рис. 1.2 Структурна формула ізомальта

За даними спільного експертного комітету ФАО/ВООЗ з питань продовольства специфікації добавок (JECFA), ізомальт має щонайменше 98мас.% гідрованих моно- та дисахаридів (а саме 1,6-GPS, 1,1-GPM, 1,1-GPS (1-O- $\alpha$ -D-глюкопіранозил-D-сорбітол), сорбіт та маніт) і не більше 2 мас.-% вторинних компонентів. Ізомальт, який згідно із законодавством про харчові продукти, вважається "без цукру", відповідно до специфікації JECFA, яка також відповідає європейським критеріям чистоти добавок і вимогам стандартних документів, таких як FCC (Food Chemical Codex), а також відповідних монографій по ізомальту в фармацевтичних книгах в Європі, США або Японії, характеризується такою відмінністю: деякі з вторинних компонентів, які можуть бути присутні, присутні у кожному випадку не більше 0,5% по масі і в цілому може міститися в ізомальті щонайбільше 0,5% за масою [6].

В природі він зустрічається в цукровому буряку, цукровій тростині та меді [7].

Ізомальт відомий в різних варіантах. Наприклад, може бути присутнім у вигляді майже еквімолярної суміші 1,6-GPS і 1,1-GPM. Інший варіант — ізомальт з підвищеним вмістом 1,6-GPS (тобто збагачений 1,6-GPS, де його частка становить від 57 до 99% за вагою) і присутня частка 1,1-GPM від 43 до 1% по вазі. Завдяки цій композиції він має підвищену солодкість і розчинність. Такі

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-	Арк.
					ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збагачені 1,6-GPS суміші можуть бути отримані з використанням рутенієвого каталізатора [6].

### 1.2.1 Органолептичні властивості

Речовина має чистий солодкий натуральний смак. Без запаху. Ступінь солодкості залежить від концентрації та температури використання, і становить 0,45-0,6. Він добрий носій аромату, тобто не перебиває їх солодкістю.

Розчинення ізомальту у воді є ендотермічною реакцією, при якій поглинається 39,4 кДж/кг. Цей цукрозамінник має найменший охолоджуючий ефект, під час вживання продуктів у яких він міститься, у роті не з'являється небажаний охолоджуючий ефект [8].

Особливою перевагою ізомальту є те, що додаючи різні підсолоджувачі, можна комбінувати оптимальний профіль солодкості будь-якої інтенсивності без маскуванню смаку, що є обмеженням для деяких інших підсолоджувачів [8].

Ізомальт гарно поєднується з більшістю ароматизаторів, включаючи фруктовий, ментол і м'яту. Це дає можливість підкреслити натуральний смак продуктів [7].

Продукти, виготовлені з ізомальтом, не темніють, йому не властиві реакції карамелізації, тому він не має карамельного смаку і може використовуватися у виробництві твердих карамелей з тонкими ароматами [5].

### 1.2.2 Фізіологічні властивості

Палатиніт — низькокалорійний продукт, калорійність якого становить 2,4 ккал/г. Більш низька калорійність ізомальту, певною мірою пояснюється тим, що кишкові ферменти не можуть легко гідролізувати його більш стабільний дисахаридний зв'язок, тому його менше перетравлюється та всмоктується з тонкого кишечника в кров [9].

Він дуже повільно засвоюється організмом, сприяє обміну речовин та ферментується у товстому кишечнику. Може вживатися хворими на цукровий

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діабет. Не викликає значного підвищення глюкози та інсуліну в крові після вживання ізомальту та продуктів, які його містять [5].

Як пробіотичний продукт, ізомальт сприяє створенню сприятливих умов для формування мікрофлори (сприяє збільшенню кількості «хороших» бактерій у товстому кишечнику) і поліпшення здоров'я, сприяє відчуттю ситості. Має можливість адаптувати подачу енергії в організм і уникати різких коливань цукру в крові, при його використанні. Крім того, він активує роботу кишечника, здатний забезпечувати рівномірне підживлення організму енергією [5].

Так само, як і харчові волокна, ізомальт розщеплюється кишковими бактеріями до коротколанцюгових жирних кислот (SCFA) та газів. SCFA сприяють зменшенню кислотності в товстій кишці, а деякі представники КЖК є корисні для формування здорового епітелію в товстому кишківнику [9].

Ізомальт є продуктом абсолютно нешкідливим для зубної емалі. Сприяючи підвищенню слюновиділення, він одночасно впливає на зниження кислотності і збільшення вмісту кальцію в поверхневій частині зубів, стимулюючи відновлення зубної емалі. Завдяки цій властивості ізомальт, по положенню FDA, може мати позначення «не викликає карієсу» [7].

Його вважають нетоксичним, неалергенним, не викликає роздратування. Велика частина ізомальту ферментує в товстому кишечнику. В цілому переноситься дуже добре, але надмірне споживання може викликати послаблюючий ефект ( для дорослої людини — 50 г/добу, а для дитини — 25 г/добу). Токсикологічні і метаболічні дослідження ізомальту були узагальнені в звіті ВООЗ, підготовленому Комітетом експертів ФАО/ВООЗ (JECFA), що призвело до прийнятого добового споживання «не вказано» [10].

### 1.2.3 Фізико-хімічні властивості ізомальту

Ізомальт — біла кристалічна речовина, містить близько 5% кристалічної води. Має низьку гігроскопічність порівняно з іншими цукрозамінниками. При кімнатній температурі ( близько 25 °С) практично не сорбує воду до відносної

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

волості 85%, але при температурі 60-80 °С та за волості 65% поглинає воду. Погано розчинний в етанолі. Надає стабільності продуктам під час зберігання, бо не взаємодіє з інгредієнтами, які входять до їх складу [5].

Також палатиніт має низьку розчинність у воді, яка збільшується при підвищенні температури. Температура плавлення становить 145-150 °С. Його хімічна структура не змінюється від термічного та хімічного впливу, тому використовується в технологічних процесах, де передбачена висока температура.

Ізомальт проявляє значну стійкість до кислот та мікробній дії. Для ізомальту не характерна реакція Майяра, тому продукти виготовлені з ним не темніють під час кип'ятіння чи випікання. Він не реагує з аміно- або пептидними групами, є хімічно стійкий до ферментативного та кислотного гідролізів [5].

Порівняно із сахарозою, у розплаві має більш низьку в'язкість, але вищу питому теплоємність і більш високе підвищення температури кипіння.

Ізомальт надає продуктам не тільки солодкий смак, але й текстуру та достатню масу, адже є об'ємним цукрозамінником, який може замінювати цукор у рецептурі певних продуктів у співвідношенні 1:1 [5].

В ізомальту спостерігається синергічна дія. Синергетичні ефекти виникають, коли він поєднується з іншими підсолоджувачами, що забезпечують об'єм, такими є сироп мальтиту, ксиліт, маніт або сорбіт. Оскільки він менш солодкий, ніж цукор, його часто використовують у поєднанні з інтенсивними підсолоджувачами, такими як аспартам або ацесульфам-К. При цьому ізомальт може маскувати гіркий смак, який мають деякі інтенсивні підсолоджувачі [8].

### 1.3 Використання ізомальту у промисловості

Ізомальт набув широкого використання у промисловості. Виконує функцію підсолоджувача, текстуратора, попереджує грудкування, наповнювач, глазуруючий агент. Відомий як харчова добавка E-953, яка знайшла застосування у харчовій та фармацевтичній галузях. Норми використання не

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-	Арк.
					ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлені, вносять в необхідних кількостях. Рекомендована безпечна доза 50 г/добу [5].

Ціна ізомальту на світовому ринку коливається і залежить від виробника. Так, можливо придбати продукт з номером PHR1769 — 1г за 70 доларів США від виробника «Сігма Олдріч», або продукт №1349626 від того ж виробника — 200 г за 399 доларів США [10].

В Україні кондитерський ізомальт можна придбати 1 кг за 400 грн. Є упакування по 50 г.—30 грн, 200 г.—100 грн.

Зараз ізомальт широко використовується як декоративний матеріал в кондитерському виробництві, оскільки повільно кристалізується. Висока температура плавлення призводить до стійкості до кипіння, випікання. Тому використовують у виробництві твердих цукерок, ірисок, жувальних гумок, шоколаду, хлібобулочних виробів, крапель від кашлю та пастилок для горла [8].

Його використовують при виробництві твердих карамелей — штамповані, тягнені й литі. Ізомальт надає їм гігроскопічності — карамелі не склеюються, деякі з них можна навіть не загортати.

Драже, виготовлене із застосуванням палатиніту, має тверду оболонку, не поглинає вологу і довше зберігається [5].

Властивості м'якої карамелі також мають позитивні зміни при додаванні ізомальту — цукерки не приклеюються до обгортки, полегшується процес охолодження, формування і розрізання.

Молочний і гіркий шоколад на основі ізомальту є низькокалорійним та діабетичним продуктом, має чудовий смак і мало поглинає вологу [5].

В фармацевтичній промисловості використовують для підсолодження сиропів та вітамінних комплексів.

Так як ізомальт є нейтральною речовиною, то має широке застосування при виготовленні пресованих пігулок. У пігулках палатиніт розчиняється повільніше, ніж цукор, тому біологічно активні речовини таблетки звільняються повільніше, що збільшує тривалість дії, особливо в порожнині рота [8].

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У косметології призначений для пом'якшення, зволоження, а також виявляє незначну антибактеріальну дію. Даний зволожувач використовують для збільшення розчинності активних компонентів, збільшення здатності інгредієнтів проникати через шкіру. Цей інгредієнт присутній лише в 0,12% косметичних виробів, оскільки є ще маловивченим інгредієнтом в косметиці, хоча вже зарекомендував себе, як надійний компонент рецептур косметичних засобів. В косметичних засобах ізомальт використовують в зубних пастах, кремах, сиворотках для обличчя та шкіри навколо очей, освіжаючих масках-пінках, тональних основах та блисках для губ.

## 1.4 Виробництво ізомальтиту

### 1.4.1 Технологія виробництва

Ізомальт зазвичай отримують в двохстадійному процесі, в якому ізомальтулозу спочатку отримують з сахарози ферментно-каталітичними методами, а потім її гідрують воднем ( $H_2$ ) [6].

При ферментативній ізомеризації сахарози в ізомальтулозу, 1,2-глікозидний зв'язок глюкози і фруктози в сахарозі стає 1,6-глікозидним зв'язком в ізомальтулозі. В результаті, невідновлювальна сахароза, яка не містить вільних альдегідів або кетогрупу, стає відновлювальною ізомальтулозою, кето-дисахаридом з вільною кетогрупою. 1,6-глікозидний зв'язок між глюкозою і фруктозою в ізомальтулозі, стійкіший до гідролізу, чим 1,2-глікозидним зв'язком в сахарозі, що означає більшу стійкість до кислот і мікробної ферментації [6].

У промислових масштабах ізомальт отримують з сахарози або цукровмісної вихідної суміші, піддаючи їх ферментативній реакції ізомеризації, що призводить до утворення так званої «ізомеризованої сахарози», яка, як правило, містить не тільки ізомальтулозу, але також не прореаговану залишкову кількість сахарози, що називається «залишковою сахарозою». Далі «ізомеризовану сахарозу» піддають гідруванню. Якщо гідрування проводять в

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

звичайних умовах, у нейтральному або лужному середовищі, то використовують нікелевий каталізатор Ренея [6].

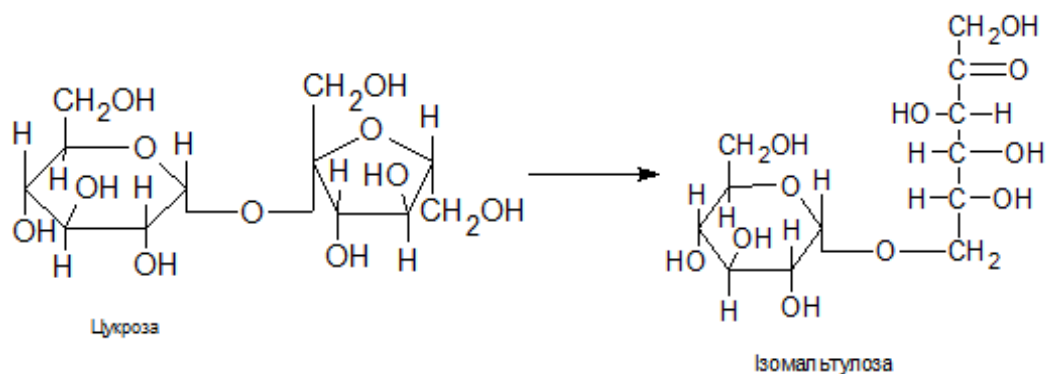
Менш вживаний спосіб виготовлення ізомальту запропонований відносно недавно. Вихідними речовинами в цьому процесі є вже готова ізомальтулоза, вода та каталізатор Рутеній для реакції гідрогенізації [11].

Отримують ізомальт у вигляді гранул чи порошку. Залежно від розміру часток, ізомальт поділяють на два типи — F (90% < 80% мм) і PF (90% < 0,1% мм).

Останнім часом розроблено нові типи ізомальту, які мають різні призначення:

- ISOMALT ST — ST = Standard, не спеціалізований
- ISOMALT HB — HB = Hard Boiled, для карамелі
- ISOMALT GS — GS=GPS enriched, для покриття та інших цілей
- ISOMALT DC—DC=Direct Compression, для пресованих таблеток
- ISOMALT LM—LM= Low Moisture, для шоколаду [5].

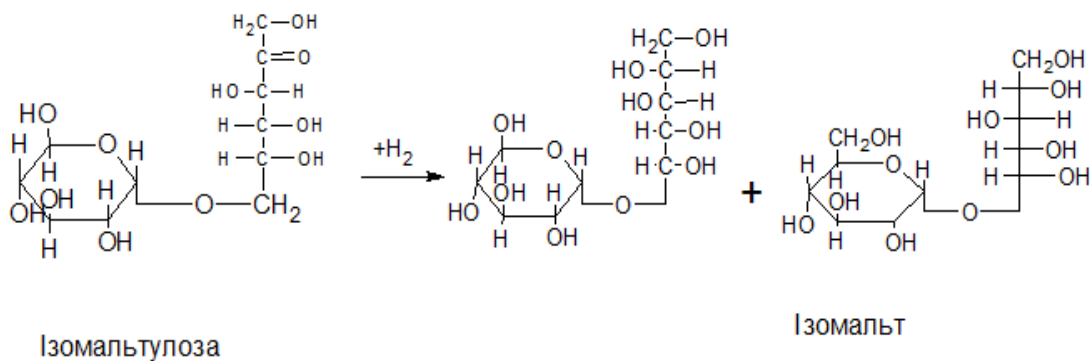
**Ферментативне перегрупування** проходить за рівнянням (4.1):



(4.1)

**Каталітична гідрогенізація** ізомальтулози проходить за рівнянням (4.2):

					<b>АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-</b>	Арк.
					<b>ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



(4.2)

### 1.4.2 Екологічні аспекти виробництва

Одними з найважливіших умов – є використання новітнього обладнання та технологій, щоб зменшити забруднення навколишнього середовища рідкими, твердими та газоподібними викидами. А також важливо використовувати якісну сировину під час всього періода виробництва.

Виробництво ізомальту потребує значних водних ресурсів, як і виробництво цукру. Тому одна із проблем — це значне водоспоживання та відсутність чи недосконалість водоочисних споруд. Вода потрібна для приготування та охолодження розчинів, для охолодження та миття реакторів, для промивання речовини в центрифугах. У результаті утворюється великий об'єм стрічних вод, які мають певну ступінь забрудненості, що в свою чергу може нести небезпеку мешканцям водойм. Саме із-за цього потрібно впроваджувати технології, які допоможуть раціонально використовувати воду, зменшити її витрати під час виробництва, удосконалювати водоочисні споруди або переходити на безстічні підприємства [12].

Іншою проблемою є великі енергетичні витрати. Для цього пропонують комплексні енергозберігаючі заходи, що полягають в підвищенні кратності випарювання випарювальної установки або в зменшенні кількості води, яку необхідно випарювати. Ряд енергозберігаючих заходів може зменшити витрати пари на певні технологічні процеси [13].

Ще однією проблемою, яка є на підприємствах цукрової промисловості та цукрозамінників – викиди у атмосферне повітря продуктів згорання палива

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

ТЕЦ. Димові гази, які викидаються котельнями, що присутні на більшості підприємств, містять продукти неповного згорання палива. Технологічні викиди можуть мати пил та надлишкову теплоту [12].

Також не можна забувати про упакування речовини. Хоча на це не так сильно звертають увагу, але фасування ізомальту є як невеликими пакетиками, так і великими партіями, то упаковка може бути з різного матеріалу, різної форми та структури. Потрібно слідкувати, щоб задовольнивши потреби продукту, не нанести шкоди навколишньому середовищу у вигляді упакування, яке не буде розкладатися протягом десятиліть. В деяких випадках підприємство може переходити на більш безпечні матеріали для упакування, переробляти і утилізувати їх.

Тому, ізомальт — цукрозамінник нового покоління. Є декілька варіантів виробництва, які мало відрізняються один від одного, але найпоширенішим є ферментативне перетворення сахарози в ізомальтулозу та подальше гідрування її з використанням Нікелю Ренея, як каталізатора. На сьогоднішній день, ізомальт — перспективна речовина у харчовій та фармацевтичній промисловості. Використовується як цукрозамінник та текстуратор, має низку фізико-хімічних властивостей, які являються перевагою у виробництві та полегшують процес. В майбутньому може знайти ширшого застосування в інших галузях промисловості, так як дослідження його властивостей тривають і сьогодні.

### 1.5 Удосконалення технології

Для удосконалення технології отримання ізомальту, було запропоновано замінити каталізатор, який використовується в реакції гідрування, під час якої відбувається утворення ізомальту з ізомальтулози. Раніше в даній реакції використовувався Нікель Ренея і параметри реакції були такі: маса каталізатора складала 8% від маси ізомальтулози, температура реакції 130-200° С, тиск 30-100

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

атмосфер, рН не менше 9, тривалість реакції 8-10 годин [14].

Можна було розглянути в якості каталізатора Паладій або Платину, адже цих каталізаторів потрібно в значно меншій кількості, ніж нікелю Ренея, для проведення реакції. Але серйозним недоліком є те, що вище зазначені каталізатори демонструють ефективну конверсію лише при температурі реакції понад 160 °С і тиску 160 атмосфер. Їх використання має також негативний вплив на взаємозв'язок між двома поліолами ізомальтиту [14].

Також одним із недоліків усіх способів отримання ізомальтиту є відносно тривалий час реакції при дуже високому тиску, щоб отримати оптимальний вихід співвідношення між глюкопіранозил маннітом і глюкопіранозил сорбітом.

Найбільш бажаним каталізатором для цього винаходу є Рутеній на інертному носії, необхідна кількість якого коливається в діапазоні від 0,28 до 1,3%. Рутеній не повинен бути абсолютно чистим, може містити невелику кількість інших металів. При кількості лише 0,86% каталізатора, отримують конверсію більше 85%. Ці кількості каталізатора набагато нижчі, ніж інших каталізаторів, таких як нікель Ренея, використовувана кількість якого становить 3%-10% [14].

Температура реакції вище 130 °С впливає на якість отриманого ізомальту за рахунок зміни співвідношення поліолів (маніту і сорбіту). При температурі 200 °С взагалі можливий ризик карамелізації отриманого продукту. При температурі 100 °С, ступінь конверсії ізомальтулози в ізомальт становить 82%, при 120 °С — 99%, що показує доцільність проведення реакції при температурі не вище 120 °С.

Також було встановлено, що найбільш оптимальний тиск знаходиться в діапазоні від 10 до 20 атмосфер. Через 45 хвилин при тиску 20 атмосфер отримують конверсію близько 83%, тоді як максимальна конверсія досягається при тиску 25 атмосфер [14].

Інертний носій для каталізатора може бути виготовлений з глинозему, вуглецю, діоксиду кремнію, діатомової землі, цеолітів, але найбільш переважним варіантом є вуглець.

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Було запропоновано використовувати в якості каталізатора Рутеній на інертному носії (вуглеці). Як показують дослідження, він є найоптимальнішим варіантом для даної реакції. За його участі, реакція проходить за такими параметрами: температура 100-120 °С, тиск 16-20 атмосфер, рН 3-8, тривалість реакції 1-2 години, кількість каталізатора — 1,3% від маси ізомальтулози [14].

Наведений метод має ряд переваг, а саме:

- 1) Використовується невелика кількість каталізатора, що дає кращий та більш економічно вигідний результат.
- 2) Реакція проходить при меншій температурі та тиску, тому легше забезпечити проходження процесу в апараті.
- 3) Час протікання реакції скоротився до 1-2 годин.
- 4) Простота виконання синтезу, відносно невисока вартість та більша безпечність методу.
- 5) Загальні умови реакції, при використанні Рутенія в якості каталізатора, є найбільш оптимальні для отримання якісного продукту.
- 6) Отриманий продукт має оптимальне співвідношення між глюкопіранозил маннітом і глюкопіранозил сорбітом, і таким чином ізомальт має чудові властивості для подальшої обробки, у цукерки, шоколад, драже [14].

					АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика сировини

У проектній роботі запропоновано технологічну лінію змішаної дії для виробництва ізомальту. В якості вихідного компоненту застосовують сахарозу та ферментний препарат.

*Ферментний препарат* складається з нежиттєздатних непатогенних клітин *Protaminobacter rubrum*, які являються біокаталізатором реакції ферментації сахарози в ізомальтулозу. Крім *Protaminobacter rubrum*, для процесу також використовують *Serratia plymuthica* або *S. marcescens*. Ці клітини вбивають за допомогою формальдегіду перед тим, як їх додають до сахарози. Або ж знерухомлюють в результаті їх захоплення в кульки гелю альгінату кальцію. Всі ці препарати є нешкідливі для організму людини [15].

*Сахароза* —  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , глікозилглікозид, утворений ланками глюкози і фруктози, які з'єднані ацетальним кисневим містком від напівацеталю глюкози до напівкеталю фруктози. Він грає роль осмоліта, підсолоджувача, метаболіту людини, метаболіту водоростей [16].

Розкладається при 160-186 °С; не відновлює солі Фелінга, не виявляє мутаротації, гідролізується до глюкози та фруктози розчиненими кислотами та інвертазою. Під час гідролізу, оптичне обертання падає і при завершенні процесу, є негативним [16].

Це безбарвна кристалічна речовина, без запаху, має солодкий смак, високу розчинність у воді ( в 1 л води при 20 °С розчиняється 2,039 кг цукрози) та малорозчинна у спирті (1 г розчиняється в 0,5 мл води, 170 мл спирту, близько 100 мл метанолу). Сахароза гігроскопічна, температура плавлення +180 °С. Вважається високоефективним джерелом енергії, бо при окисненні 1 г

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>					
Розроб.		Дика А.В.						Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О.В.							20	77
Консульт.		Житнецький І.В.						НУХТ Каф. ТЖХТ		
Н. Контр.		Бойчук Т.М.								
Затверд.		Носенко Т.Т.								

вуглеводів виділяється 16,8 кДж енергії. Солодкість сахарози становить 1. Чисті розчини сахарози не електропровідні і хімічно нейтральні, тобто їх рН=7. Під дією деяких ферментів, дріжджів, бактерій, сахароза розкладається на глюкозу і фруктозу [17].

У подрібненому стані має білий колір, містить 99,7% цукру, а у рафінованому стані – 99,9 % цукру. При застиганні розплавленої маси, утворюється прозора аморфна маса – карамель. Широко розповсюджена в природі, зустрічається в багатьох овочах та фруктах. Сахароза входить до складу соку цукрових буряків (16-20%) й цукрової тростини (14-26%). Невеликі кількості її разом із глюкозою є в плодах й листі багатьох зелених рослин, у березовому соці, кукурудзі.

Багато цукру в Україну для певного виробництва завозять із-за кордону, більшість з Куби. В Україні теж є свої заводи, де отримують продукт хорошої якості, але їхньої потужності не вистачає на всі підприємства країни. Вихід цукру з 100 кг цукрового буряку становить приблизно 15 кг. Важливим показником є цукровість буряка. Селекціонери працюють над виведенням буряків з високим вмістом цукру. При виробництві сахароза не зазнає хімічних перетворень, бо вона вже є в природних продуктах. Після виділення, її очищують, щоб отримати якомога чистіший продукт [17].

## 2.2 Опис принципово-технологічної схеми

### 1) Ферментація:

У блок ферментації надходять вихідні речовини — сахароза та вода у співвідношенні 1:4, щоб концентрація розчину сахарози становила 25%, а також бактеріальна маса (бактерії *Protaminobacter rumberum*). Мета даної стадії полягає у ферментативному перетворенні сахарози в ізомальтулозу. Процес відбувається при постійному пропусканні повітря та хорошому перемішуванні, температурі 20-37 °С, рН=7, протягом 12 годин. В процесі перетворюється 90%

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

використовуваної сахарози. Утворений розчин надходить на наступну стадію виробництва.

*2) Сепарація:*

Мета даної стадії: відділити бактеріальну масу від отриманого розчину. Очищений розчин подається на наступну стадію. Бактеріальна маса у вигляді осаду відводиться. Цільовий розчин надходить на іншу стадію.

*3) Випарювання:*

Випарювання очищеного розчину проводиться з метою концентрування розчину, тобто підвищення масової частки ізомальтулози. Розчин випарюють при температурі 50 °С та тиску 0,005 МПа до масової частки сухих речовин 40%. Подальше підвищення концентрації сухих речовин не доцільне, адже саме цієї концентрації достатньо для проведення гідрогенізації. Концентрований розчин подається на наступну стадію. Утворений при випарюванні конденсат видаляється.

*4) Гідрогенізація:*

На даній стадії відбувається перетворення ізомальтулози. До розчину ізомальтулози, випареного до масової частки сухих речовин 40%, в реактор вводять каталізатор даної реакції — Рутеній. В автоклав наганяють до 2,02 МПа водню і в присутності каталізатора, при повільному піднятті температури до 100 °С починається приєднання водню. Процес триває 1-2 годин, після чого розчин подається на стадію фільтрування.

*5) Фільтрування:*

На даній стадії проводиться для очищення отриманого розчину ізомальту. Відділяють каталізатор від цільового розчину, та видаляють Рутеній з реакційного поля. Температура під час процесу становить 80 °С та тиск 0,1 МПа.

*6) Випарювання:*

Отриманий очищений розчин ізомальту подається на випарювання з метою концентрування розчину, тобто збільшення концентрації ізомальту в розчині. Концентрування відбувається у вакуумно-випарних апаратах при температурі 70 °С та тиску 0,005 МПа до масової частки сухих речовин 70%. Подальше

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випарювання не доцільне, адже при збільшенні концентрації — збільшується в'язкість, що може погіршити та уповільнити процес кристалізації.

*7) Кристалізація:*

Концентрований розчин подається на кристалізацію для утворення кристалічного ізомальту. Процес відбувається в кристалізаторах-охолоджувачах, що забезпечує перемішування з частотою 0,5-1 об/хв та охолодження з частотою 1,5 град/год до температури 30 °С протягом 10-15 годин. Ці параметри забезпечують достатню кристалізацію ізомальту. Отримуємо розчин з кристалічним ізомальтом, який надходить на стадію центрифугування.

*8) Центрифугування:*

Етап центрифугування використовують для розділення на кристали та водну фракцію. Розділення відбувається на центрифугі з фактором розділення 610 та з частотою обертів 740 об/хв протягом 10 хв. Маточний розчин, який відділили, видаляється з реактора, кристали ізомальту надходять на наступну стадію. Вміст вологи після центрифуги становить 7%.

*9) Сушіння:*

Сирий продукт — кристали ізомальту, подаються зі стадії фільтрування в блок сушіння у вигляді вологих кристалів, з метою видалення вологи, яка залишилась. Процес відбувається за допомогою очищеного повітря при температурі 60 °С протягом 3 годин. Відпрацьоване повітря очищується та відводиться з реактора. Висушений продукт містить 3% вологи.

*10) Пакування:*

Після висушування, продукт йде на упакування, що здійснюється за допомогою фасувальної машини. Розфасовані пакети з транспортеру надходять на склад. Процес триває близько 2 годин.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Бактеріальна маса

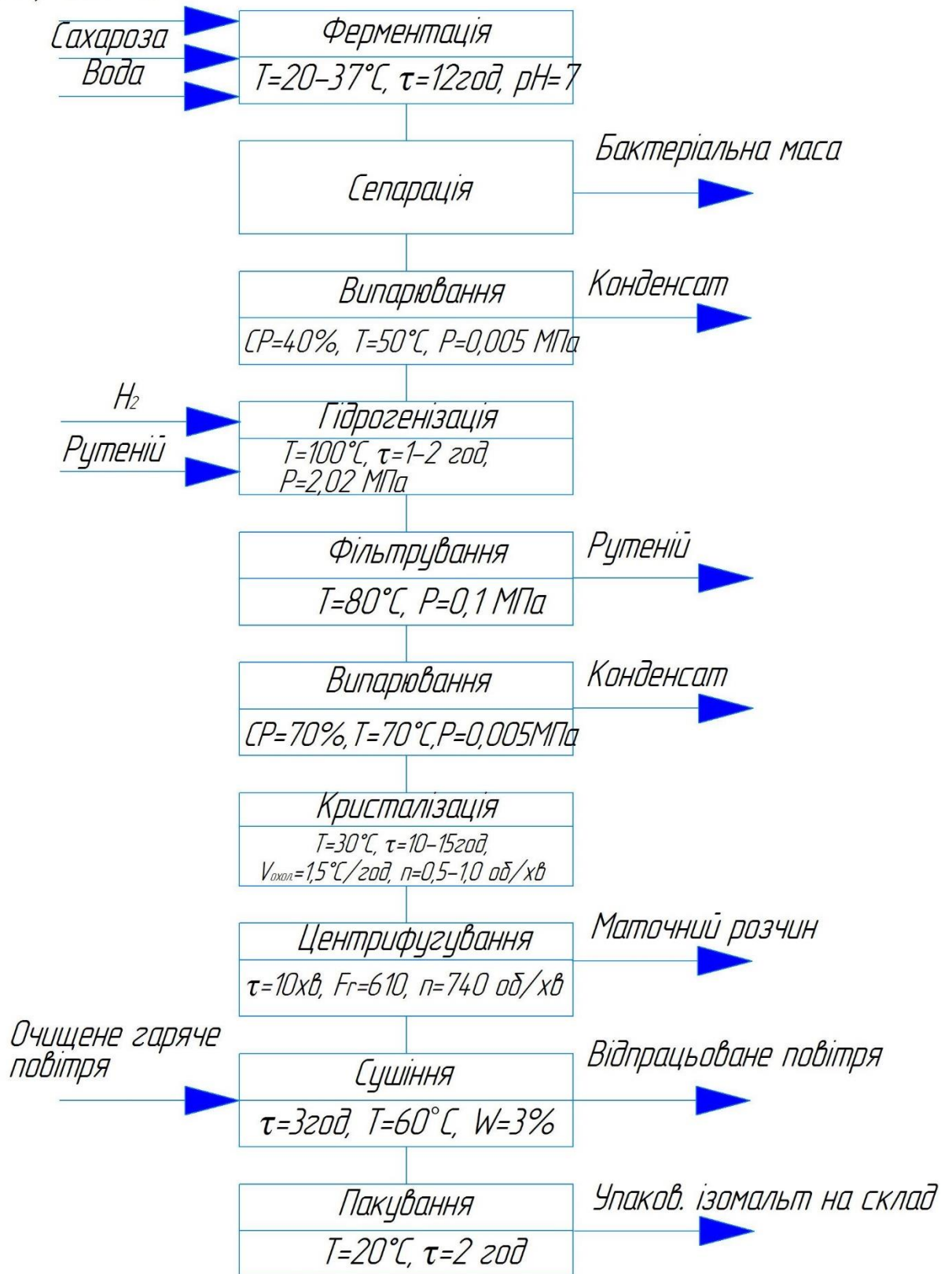


Рис. 2.1 Принципова технологічна схема отримання ізомальту

					ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

### 2.3 Матеріальний баланс виробництва

Розрахунок проводиться на 1 т/добу готового кристалічного ізомальту. Для виробництва потрібно: сахароза, вода, бактеріальна маса, водень, каталізатор Рутеній.

Для розрахунку першої стадії ферментації маса сахарози складає 4,64 т.

$$M(C_{12}H_{22}O_{11})=342,3 \text{ т/тмоль}$$

$$n(\text{сахарози}) = \frac{4,64}{342,3} = 0,01356 \text{ тмоль}$$

$$m(\text{води}) = 4,64 \times 4 = 18,56 \text{ т}$$

$$m(C_{12}H_{22}O_{11}): m(\text{бактер. маса}) = 1: 0,5365$$

$$m(\text{бактер. маса}) = 4,64 \times 0,5365 = 2,489 \text{ т}$$

Конверсія сахарози складає 90%, тоді:

$$n(\text{ізомальтулози}) = 0,01356 \times 0,9 = 0,0122 \text{ тмоль}$$

$$m(\text{ізомальтулози}) = 0,0122 \times 342,3 = 4,176 \text{ т}$$

$$m(\text{сахароза}_{\text{непрореаг.}}) = 4,64 \times 0,1 = 0,464 \text{ т}$$

Таблиця 2.1

#### Матеріальний баланс стадії ферментація

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
Сахароза	4,64	Ізомальтулоза	4,176
Вода	18,56	Вода	18,56
Бактеріальна маса	2,489	Бактеріальна маса	2,489
		Сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,464
<b>Всього</b>	<b>25,689</b>	<b>Всього</b>	<b>25,689</b>

На стадії сепарування, бактеріальна маса відділяється від цільового розчину. У фільтраті міститься ізомальтулоза, вода та сахароза, що не прореагувала.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Розраховуючи стадію сепарація, необхідно враховувати, що втрати на стадії ферментація становлять 3% :

$$m(\text{ізомальтулози}) = 4,176 - (4,176 \times 0,03) = 4,051\text{т}$$

$$m(\text{води}) = 18,56 - (18,56 \times 0,03) = 18,00\text{ т}$$

$$m(\text{бактер. маса}) = 2,489 - (2,489 \times 0,03) = 2,415\text{ т}$$

$$m(\text{Сахароза}_{\text{непрореаг.}}) = 0,464 - (0,464 \times 0,03) = 0,45\text{ т}$$

$$m(\text{фільтрату}) = 4,051 + 18,00 + 0,45 = 22,50\text{т}$$

Таблиця 2.2

**Матеріальний баланс стадії сепарація**

Прихід		Вихід	
1	2	3	4
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
Ізомальтулоза	4,051	Фільтрат в т.ч.:	22,50
		- Ізомальтулоза	4,051
		- Вода	18,00
		- Сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,45
Вода	18,00	Осад в т.ч.:	2,415
Бактеріальна маса	2,415	-Бактеріальна маса	2,415
Сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,45		
<b>всього</b>	<b>24,916</b>	<b>Всього</b>	<b>24,916</b>

Розраховуючи стадію випарювання, потрібно врахувати, що втрати на стадії сепарація — 1%:

$$m(\text{ізомальтулози}) = 4,051 - (4,051 \times 0,01) = 4,01\text{ т}$$

$$m(\text{води}) = 18,00 - (18,00 \times 0,01) = 17,823\text{ т}$$

$$m(\text{Сахароза}_{\text{непрореаг.}}) = 0,45 - (0,45 \times 0,01) = 0,446\text{т}$$

**Вихід:**

Так як розчин випарюється до вмісту сухих речовин 40%, то маса води в розчині становитиме:

$$m(\text{води}) = \frac{4,01 + 0,446}{0,4} = 11,14\text{ т}$$

Маса води, що видаляється в якості конденсату:

$$m(\text{води}) = 17,823 - 11,14 = 6,683 \text{ т}$$

Маса розчину з продуктом становить:

$$m = 4,01 + 11,14 + 0,446 = 15,596 \text{ т}$$

Таблиця 2.3

### Матеріальний баланс стадії випарювання

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
1	2	3	4
Ізомальтулоза	4,01	Розчин з продуктом в т.ч.: -ізомальтулоза -вода -сахароза <sub>непрореаг.</sub>	15,596  4,01 11,14 0,446
Вода	17,823	Конденсат в т.ч.:  -вода	6,683  6,683
Сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,446		
<b>Всього</b>	<b>22,279</b>	<b>Всього</b>	<b>22,279</b>

При розрахунку матеріального балансу стадії гідрогенізація, потрібно врахувати, що втрати на стадії випарювання становлять 2%:

$$m(\text{ізомальтулози}) = 4,01 \times (1 - 0,02) = 3,93 \text{ т}$$

$$m(\text{Сахароза}_{\text{непрореаг.}}) = 0,446 \times (1 - 0,02) = 0,437 \text{ т}$$

$$m(\text{води}) = 11,14 \times (1 - 0,02) = 10,917 \text{ т}$$

$$n(\text{ізомальтулози}) = \frac{3,93}{342,3} = 0,01148 \text{ т/тмоль}$$

$$n(\text{ізомальтулози}) = n(\text{ізомальту}) = n(\text{водня}) = 0,01148 \text{ т/тмоль}$$

$$M(\text{H}_2) = 2 \text{ т/тмоль.}$$

$$M(\text{ізомальту}) = 344,3 \text{ т/тмоль}$$

$$m(\text{водня}) = 0,01148 \times 2 = 0,023 \text{ т}$$

Маса каталізатора становить 1,3% від маси ізомальтулози:

$$m(\text{Рутенію}) = 3,93 \times 0,013 = 0,051 \text{ т}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$m(\text{ізомальту}) = 344,3 \times 0,01148 = 3,953 \text{ т}$$

Таблиця 2.4

### Матеріальний баланс стадії гідрогенізація

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
Ізомальтулоза	3,93	Ізомальт	3,953
Вода	10,917	Вода	10,917
сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,437	сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,437
Водень	0,023	Водень	0
Рутеній (кат)	0,051	Рутеній (кат)	0,051
		Ізомальтулоза	0
<b>Всього</b>	<b>15,358</b>	<b>Всього</b>	<b>15,358</b>

При розрахунку стадії фільтрування, потрібно врахувати втрати на стадії гідрогенізація, що становлять 1%:

$$m(\text{ізомальту}) = 3,953 \times (1 - 0,01) = 3,913 \text{ т}$$

$$m(\text{води}) = 10,917 \times (1 - 0,01) = 10,808 \text{ т}$$

$$m(\text{Сахароза}_{\text{непрореаг.}}) = 0,437 \times (1 - 0,01) = 0,432 \text{ т}$$

$$m(\text{Рутеній}) = 0,051 \times (1 - 0,01) = 0,0506 \text{ т}$$

Таблиця 2.5

### Матеріальний баланс стадії фільтрування

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
1	2	3	4
Ізомальт	3,913	Фільтрат в т.ч.:	15,153
		-ізомальт	3,913
		-вода	10,808
		- сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,432
Вода	10,808	Рутеній (кат)	0,0506
сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,432		
Рутеній (кат)	0,0506		
<b>Всього</b>	<b>15,204</b>	<b>Всього</b>	<b>15,204</b>

При розрахунку стадії випарювання, потрібно врахувати втрати на стадії фільтрування, що становлять 1%:

$$m(\text{ізомальту}) = 3,913 \times (1 - 0,01) = 3,874 \text{ т}$$

$$m(\text{води}) = 10,808 \times (1 - 0,01) = 10,70 \text{ т}$$

$$m(\text{Сахароза}_{\text{непрореаг.}}) = 0,432 \times (1 - 0,01) = 0,428 \text{ т}$$

**Вихід:**

Розчин випарюють до вмісту сухих речовин 70%, тоді:

$$m(\text{води}) = \frac{(3,874 + 0,428) \times (1 - 0,7)}{0,7} = 1,844 \text{ т}$$

$$m(\text{конденсату}) = 10,70 - 1,844 = 8,856 \text{ т}$$

Таблиця 2.6

### Матеріальний баланс стадії випарювання

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
Ізомальт	3,874	Розчин в т.ч.:	6,146
		-ізомальт	3,874
		-вода	1,844
		- сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,428
Вода	10,70	Конденсат в т.ч.:	8,856
		-вода	8,856
сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,428		
<b>Всього</b>	<b>15,002</b>	<b>Всього</b>	<b>15,002</b>

При розрахунку стадії кристалізація, потрібно врахувати втрати на стадії випарювання, що становлять 3%:

$$m(\text{ізомальту}) = 3,874 \times (1 - 0,03) = 3,758 \text{ т}$$

$$m(\text{води}) = 1,844 \times (1 - 0,03) = 1,789 \text{ т}$$

$$m(\text{Сахароза}_{\text{непрореаг.}}) = 0,428 \times (1 - 0,03) = 0,415 \text{ т}$$

**Вихід:**

Ізомальту кристалізується 30%, тому маса кристалічного ізомальту становить:

$$m(\text{ізомальту кристал.}) = 3,758 \times 0,3 = 1,127 \text{ т}$$

$$m(\text{ізомальту в розчині}) = 3,758 - 1,127 = 2,631 \text{ т}$$

Таблиця 2.7

### Матеріальний баланс стадії кристалізація

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
Ізомальт	3,758	кристалічний ізомальт	1,127
Вода	1,789	Ізомальт в розчині	2,631
сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,415	вода	1,789
		сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,415
<b>Всього</b>	<b>5,962</b>	<b>Всього</b>	<b>5,962</b>

При розрахунку стадії центрифугування, потрібно врахувати втрати на стадії кристалізація, що становлять 3%:

$$m(\text{ізомальт кристал.}) = 1,127 \times (1 - 0,03) = 1,094 \text{ т}$$

$$m(\text{води}) = 1,789 \times (1 - 0,03) = 1,735 \text{ т}$$

$$m(\text{Сахароза}_{\text{непрореаг.}}) = 0,415 \times (1 - 0,03) = 0,403 \text{ т}$$

$$m(\text{ізомальту в розчині}) = 2,631 \times (1 - 0,03) = 2,552 \text{ т}$$

**Вихід:**

Вологість ізомальту після центрифугування становить 7%, тоді:

$$m(\text{вологи}) = \frac{1,094 \times 0,07}{1 - 0,07} = 0,082 \text{ т}$$

$$m(\text{води}) = 1,735 - 0,082 = 1,653 \text{ т}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 2.8

## Матеріальний баланс стадії центрифугування

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
кристалічний ізомальт	1,094	Осад в т.ч.: -ізомальт кристал. -волога	1,176 1,094 0,082
Ізомальт в розчині	2,552	Маточний розчин в т.ч.: -ізомальт в розчині -вода -сахароза <sub>непрореаг.</sub>	4,608 2,552 1,653 0,403
вода	1,735		
сахароза <sub>непрореаг.</sub>	0,403		
<b>Всього</b>	<b>5,784</b>	<b>Всього</b>	<b>5,784</b>

При розрахунку стадії сушіння, потрібно врахувати втрати на стадії центрифугування, що становлять 5%:

$$m(\text{ізомальт кристал.}) = 1,094 \times (1 - 0,05) = 1,039 \text{ т}$$

$$m(\text{вологи}) = 0,082 \times (1 - 0,05) = 0,078 \text{ т}$$

**Вихід:**

Під час сушіння, кристали ізомальту висушуються до вмісту води 0,3%

$$m(\text{вологи}) = \frac{1,039 \times 0,03}{1 - 0,03} = 0,032 \text{ т}$$

$$m(\text{видаленої води}) = 0,078 - 0,032 = 0,046 \text{ т}$$

Таблиця 2.9

## Матеріальний баланс стадії сушіння

Прихід		Вихід	
1	2	3	4
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
Ізомальт кристалічний	1,039	Продукт в т.ч.: -ізомальт кристал. -волога	1,071 1,039 0,032

Продовження таблиці 2.

1	2	3	4
Волога	0,078	Видалена волога	0,046
<b>Всього</b>	<b>1,117</b>	<b>Всього</b>	<b>1,117</b>

При розрахунку стадії фасування, потрібно врахувати втрати на стадії сушіння, що становлять 4%:

$$m(\text{ізомальт кристал.}) = 1,039 \times (1 - 0,04) = 0,9974 \text{ т}$$

$$m(\text{вологи}) = 0,032 \times (1 - 0,04) = 0,0307 \text{ т}$$

**Маса готового продукту становить:  $0,9974 + 0,0307 = 1,0281 \text{ т}$**

Таблиця 2.10

#### Матеріальний баланс стадії фасування

Прихід		Вихід	
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
Продукт в т.ч.:	1,0281	Продукт в т.ч.:	1,0281
-ізомальт кристал.	0,9974	-ізомальт кристал.	0,9974
-волога	0,0307	-волога	0,0307
<b>Всього</b>	<b>1,0281</b>	<b>Всього</b>	<b>1,0281</b>

Таблиця 2.11

#### Матеріальний баланс виробництва ізомальту

Прихід		Вихід	
1	2	3	4
Сировина	Маса, т	Сировина	Маса, т
Сахароза	4,64	Ізомальт кристалічний.	1,0281
Вода	18,56	Ізомальт в розчині	2,552
Бактеріальна маса	2,489	Бактеріальна маса	2,415
Водень	0,023	Рутеній (кат)	0,0506

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

1	2	3	4
Рутеній (кат)	0,051	Ізомальтулоза	4,051
		Вода	12,543
		Сахароза не прореаг.	0,403
		<i>Втрати</i>	2,7203
<b>Всього</b>	<b>25,763</b>	<b>Всього</b>	<b>25,763</b>

## 2.4 Тепловий баланс сушарки

Розрахунок теплового балансу проводиться для стадії сушіння цільового продукту.

Для розрахунку використовуються такі дані:

1. Продуктивність сушарки по вологому продукту:  $G_1=1117$  кг/год;
2. Питома теплоємність абсолютно сухого матеріалу:  $c_2=1476$  Дж/(кг·°C)
3. Теплоємність вологого продукту:  $c_1=1560$  Дж/( кг·°C)
4. Вміст води в продукті:  
-початковий:  $w_1=7\%$ ;  
-кінцевий:  $w_2= 3\%$ ;
5. Температура продукту, що надходить в сушильну камеру:  $\theta_1=20$  °C;
6. Температура сухого продукту, що виходить із сушильної камери:  $\theta_2=50$ °C
7. Температура зовнішнього повітря:  $t_0=25$  °C;
8. Температура повітря після калорифера:  $t_1=100$  °C;
9. Температура відпрацьованого повітря:  $t_2=60$  °C;
10. Відносна вологість свіжого повітря:  $f_0= 60$  %

Масова витрата видаленої води (W):

$$W = G_1 \times \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} = 1117 \times \frac{7 - 3}{100 - 3} = 49 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = 0,013 \text{ кг/с}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Продуктивність сушарки по сухому продукту ( $G_2$ ):

$$G_2 = G_1 \times \frac{100 - w_1}{100 - w_2} = 1117 \times \frac{100 - 7}{100 - 3} = 1071 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = 0,3 \text{ кг/с}$$

Далі для розрахунку потрібно знайти початковий та кінцевий вологовміст повітря та ентальпії. Для цього будемо використовувати h-x діаграму Рамзіна. (рис. 2.2) На перетині ліній, що відповідають  $t_0$  та  $f_0$  ставимо точку А, яка характеризує початковий стан зовнішнього повітря. Опустивши з цієї точки перпендикуляр на вісь х, отримуємо значення  $x_0=0,012$  кг пари/кг сухого повітря. Через точку А проходить лінія постійної ентальпії, яка становить  $I_0=13$  кДж/кг. Визначаємо точку В, що характеризує стан повітря на виході з колорифера перед подачею в сушильну камеру — піднімаємось з точки А по перпендикулярній прямій до перетину з ізотермою  $t_1=100$  °С. Через точку В проходить ізотерма  $I_1=32$  кДж/кг. Рухаємось по ній вниз до перетину з ізотермою  $t_2= 60$  °С — точка С. Опустивши з цієї точки перпендикуляр на вісь х, знаходимо ізотерму  $x_2= 0,028$  кг пари/кг сухого повітря.

Визначаємо теоретичну питому витрату повітря  $\ell_0$  в сушарці:

$$\ell_0 = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{0,028 - 0,012} = 62,5$$

Розраховуємо теоретичну абсолютну витрату повітря в сушарці:

$$L = \ell_0 \times W = 62,5 \times 0,013 = 0,81 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 2916 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Рівняння теплового балансу має такий вигляд:

$$L \times I_1 + G_1 \times c_1 \times \theta_1 = L \times I_2 + G_2 \times c_2 \times \theta_2 + Q_{\text{п}}$$

де  $Q_{\text{п}}$  — теплові витрати, які з урахуванням правильно накладеної ізоляції приймаємо 5% від тепла, що надходить з гарячим повітрям:

$$Q_{\text{п}} = 0,05 \times L \times I_1 = 0,05 \times 0,81 \times 32 = 1,296 \text{ кВт}$$

Із рівняння теплового балансу маємо:

$$L \times (I_2 - I_1) = G_2 \times c_2 \times \theta_2 - G_1 \times c_1 \times \theta_1 + Q_{\text{п}}$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$\frac{[L \times ((I_2 - I_1))]}{W} = \frac{(G_2 \times c_2 \times \theta_2 - G_1 \times c_1 \times \theta_1 + Q_{\text{п}})}{W}$$

$G_2 \times c_2 \times \theta_2 - G_1 \times c_1 \times \theta_1 + Q_{\text{п}} = \Sigma Q$ , де  $\Sigma Q$  — алгебраїчна сума абсолютних теплот в сушильній камері, Вт.

$\Delta = \frac{\Sigma Q}{W}$  — теплова поправка на дійсний сушильний процес, кДж/кг

$$\Sigma Q = 0,3 \times 1,476 \times 50 - 0,31 \times 1,56 \times 20 + 1,296 = 13,76 \text{ Вт}$$

$$\Delta = \frac{\Sigma Q}{W} = \frac{13,76}{0,013} = 1058,5 \text{ кДж/кг}$$

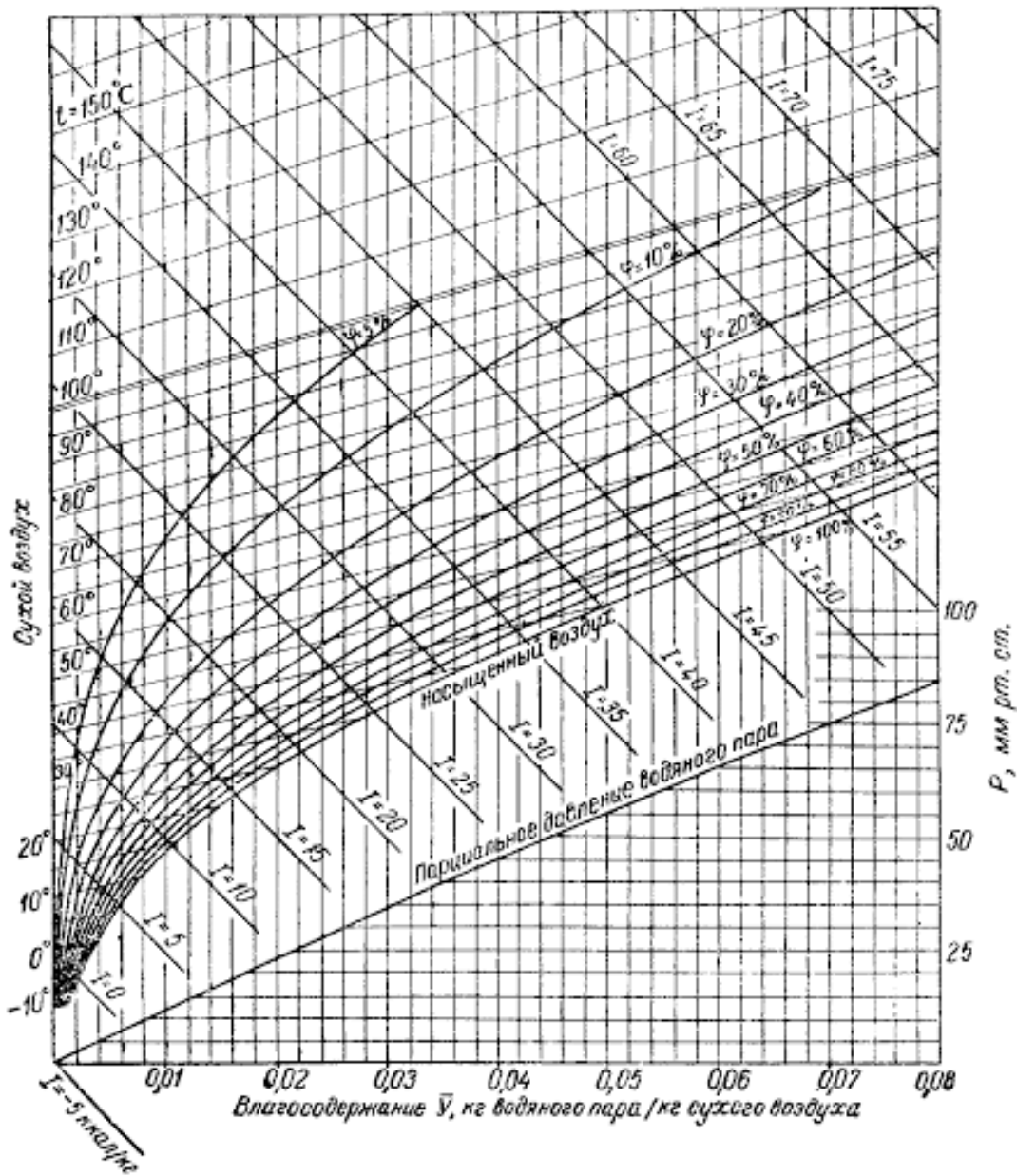


Рис. 2.2 Диаграма Рамзіна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

## 2.5 Підбір обладнання

Для проектування лінії виробництва ізомальту, було підібране відповідне обладнання.

### 1) Ферментер Biorus серії BIORUS-SJA місткістю 15000 л.

Для проведення ферментації використовують ферментер зі змішувальним пристроєм, який може використовуватися в біо-технічних виробництвах і харчовій промисловості. Основними вузлами апарату є корпус, привід та вал з мішалкою. За допомогою мішалки здійснюється перемішування реакційної маси з бактеріальною масою. Реактор має патрубок для вводу бактеріальної маси та патрубок для вводу основних компонентів, а також патрубок для виводу готової суміші. Так як температура реакції потрібна вища чим кімнатна, то для підтримки температури ферментери мають подвійний кожух, який має патрубки для входу та виходу теплоагента.

15000 л — робочий об'єм, апарат з подвійною стінкою з нержавіючої сталі 316L з поздовжнім оглядовим вікном з підсвічуванням. Верхній механічний привід з подвійним торцевим ущільненням. Діапазон швидкістю вала від 40 до 400 об/хв. Вимірювання і контроль рН в інтервалі між рН 2-12, +/- 0,05. Витримує потрібні інтервали температур (130-140 °C) та тиску.

### 2) Відцентровий лопатевий насос.

Відцентрові насоси використовуються для перекачування води, нафти і нафтопродуктів. Лопатеві насоси — це ті насоси, в яких рідина переміщається за рахунок енергії, що передається їй при обтіканні лопатей робочого колеса. У відцентрових насосах рідина переміщається через робоче колесо від центру до периферії. Потік рідини утворюється за рахунок взаємодії з робочим колесом, де відбувається прирощення її потенціальної та кінетичної енергії. У нерухомих елементах насоса (відводі) кінетична енергія перетворюється в енергію тиску [18].

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Використовується насос П8-ОНЦІ-25/32, що має такі характеристики: продуктивність 25 м<sup>3</sup>/год, тиск нагнітання 0,32 МПа, потужність електродвигуна 5,5 кВт, частота обертання 2920 об/хв, напруга 380 В.

3) *Шестерінчастий насос.*

Шестерінчастий насос – один з видів об'ємних гідравлічних машин роторного типу, що складається з пари зубчастих коліс, розміщених у герметичному корпусі, що має порожнину всмоктування і нагнітання, а робочі камери утворені профілями впадин зубів, поверхнями розточок корпусу і бокових. Вони відрізняються малими габаритами і вагою. Насос складається із двох циліндричних зубчастих коліс, що щільно щеплені, а між колесами і корпусом є невеликі зазори. Одне колесо (ведуче) обертається від електродвигуна, друге (відоме) – від першого. Рідина із всмоктувального патрубку захвачує зубцями і переносить по впадинах між зубцями до нагнітального патрубка. Шестеренчасті насоси використовують для подачі від 0,0001 до 0,01 м<sup>3</sup>/с при напорах до 20 – 30 МН/м<sup>2</sup> і вище, число обертів до 50 об/с. Шестеренчасті насоси використовують для перекачування в'язких рідин [18].

Використовується насос Varisco V70-2, що має такі характеристики: максимальна продуктивність — 28 м<sup>3</sup> / год, тиск — до 16 бар, температура рідини — від -40 °С до + 300 °С, частота обертання валу — до 600 об/хв, потужність електродвигуна — від 3,5 до 14,5 кВт

4) *Сепаратор марки ДСГ-35.*

Машина призначена для відокремлення бактеріальної маси від розчину ізомальтулози. Апарат складається зі станини з приводним механізмом, забезпеченою пробками, а також покажчиком рівня мастила, барабана з клапаном для зливання міжтарілкової рідини, приймально-відвідного пристрою, гідровузла та гальма. Барабан є основним робочим органом, що складається з основи барабана, корпусу, кришки та затяжних кілець, де під дією відцентрової сили у міжтарілковому просторі відбувається виділення зважених часток з

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

культуральної рідини. У корпусі барабана розташовані тарілотримач, комплект тарілок, поршень та клапани.

Культуральна рідина по центральній живильній трубці надходить у внутрішню порожнину тарілотримача, а потім — у шламовий простір барабана. Під дією відцентрової сили найбільш великі та важкі частки біомаси відкидаються до периферії барабана, а рідина з більш дрібними частками біомаси направляється в пакет конічних тарілок. Освітлена рідина — фугат, піднімається по зовнішніх каналах тарілотримача в камеру напірного диска та виводиться з барабана, а виділені частки біомаси зісковзують по поверхні тарілок у шламовий простір барабана. При повному заповненні шламового простору біомасою подачу культуральної рідини припиняють та за допомогою двох клапанних механізмів зливають фугат з міжтарілового простору у приймач. Біомасу за допомогою механізму розвантаження вивантажують у приймач шламу. Після припинення подачі буферної води у порожнину над поршнем барабан закривають та технологічний цикл повторюється [19].

Цей сепаратор з автоматичним періодичним відцентровим розвантаженням осаду продуктивністю до 35 000 л/год призначений для безперервного видалення бактерій і спорових мікроорганізмів.

Кришка посуду і приймач осаду виготовлені з нержавіючої сталі. Частота обертання барабана, об/хв  $5500 \pm 120$ .

#### 5) Вакуум-випарна установка.

У роботі використовується вакуум-випарний апарат ЭСВА-10000. Енергозберігаюча вакуум-випарна установка з МРП. Призначена для концентрування різних розчинів мінеральних солей, хімічних і фармацевтичних рідких продуктів, промивних вод та робочих розчинів підприємств різних галузей промисловості (до стану насичення 20-30%).

Принцип роботи ЕСВА: прилади працюють під вакуумом при середніх теплових навантаженнях і малому перепаді температури. Водяна пара, що утворюється на виході з випарника, адіабатично стискається спеціальним парокомпресором до високого тиску  $P = 0,3-0,4$  атм і пара, яка гріє,

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

спрямовується в міжтрубний простір випарника. В результаті виділяється енергія, яка використовується для випаровування в випарнику і нагріву вихідного розчину конденсатом пара в рекуперативному теплообміннику. Завдяки такому принципу роботи утворюється замкнений цикл передачі енергії. Повторне використання теплової енергії досягає 95%. Кількість теплоти, що розсіюється при такій схемі, знижена, оскільки сам апарат повторно використовує ту енергію, яка зазвичай відводиться охолоджуючою водою через контур [20].

Характеристика: продуктивність по дистилляту 10000 кг/год, встановлена потужність 500 кВт, споживана потужність 400 кВт, питома витрата енергії 40 Вт/л [20].

*б) Реактор для гідрування.*

Для гідрування використовують циліндричний апарат з кислотостійкої сталі зі сферичним дном і кришкою, всередині якого знаходяться турбінна мішалка та барботер для подачі водню, розташований нижче мішалки. Реактор має кожух, який дозволить підігріти і тримати температуру, яка потрібна для проведення реакції. Має патрубки для вводу продукту та каталізатора, а також для виходу продукту. Реактор обирається ємністю не менше 18000 л. Характеристики: об'єм — 20000 л, тиск — 20-250 атм., температура — до 500 °С.

*7) Нутч-фільтр.*

Використовуємо нутч-фільтр марки Rosenmund RND4

Об'ємом 6,4 м<sup>3</sup> з площею фільтрації 4,0 м<sup>2</sup>. Діаметр фільтраційної плити 2400 мм. Діаметр ємності фільтра 2400 мм, висота 1430мм. Розрахунковий тиск всередині нутч фільтра від повного вакууму до 3,2 бар, температура 170 °С. Фільтр обладнаний сорочкою нагріву і змішувиком нагріву. Тиск від вакууму до 7 бар, температура 170 °С. Фільтр обладнаний центральним нижнім вивантаженням і шнеком для осаду. Нутч фільтр виготовлений з нержавіючої сталі марки AISI 316L. Суспензія подається в нутч-фільтр. Тверда фаза затримується на фільтрувальній перегородці і формує шар осаду, в той час як фільтрат подається на дно фільтра і виводиться через донний злив.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

#### 8) Кристалізатор-охолоджувач РЗ-ОКО

Охолоджувальними кристалізаторами називають апарати і пристрої, у яких кристалізація проходить у результаті зниження температури при охолодженні концентрованих розчинів. При такому охолодженні концентрований розчин спочатку стає пересиченим, а потім, у міру зниження розчинності, з нього випадає кристалічний осад у вигляді зерен певного розміру і форми. В охолоджувальних кристалізаторах тепло від розчину відводиться переважно через поділяючу стінку до холодного теплоносія, у якості якого використовують технічну воду або попередньо охолоджену [21].

Відкритий горизонтальний кристалізатор-охолоджувач РЗ-ОКО являє собою ванну напівциліндричної форми з водяною сорочкою, в яку надходить охолоджуюча рідина. Ванна встановлена на чотирьох гвинтових ніжках, що дозволяють змінювати нахил в бік вивантаження. За допомогою механізму, кришка ванни може відкриватися і закриватися [22].

Ванна має мішалку, що приводиться в рух від електродвигуна. У днищі ванни розміщений зливний патрубок. Характеристики: об'єм — 2000 л; частота обертання мішалки 12 об/хв; температура води 6°C.

#### 9) Центрифуга ФГН-2001К-01.

Внаслідок проведення процесу центрифугування суспензій у відстійних та фільтрувальних центрифугах одержують вологий осад і освітлену рідину — фугат. Призначені для поділу суспензій із середньо- і дрібнозернистою розчинною твердою фазою. Центрифуги негерметизовані, з електрообладнанням загальнопромислового виконання.

Центрифуга фільтрувальна, горизонтальна, із ножовим вивантаженням осаду. Використовується для розділення суспензій з середньозернистою твердою фазою, застосовується в хімічній та інших промисловостях. Фактор розділення — 610, частота обертання ротора — 740 об/хв, максимальна загрузка 1700 кг.

#### 10) Стрічкова сушарка Evolut EV 600.

Сушарка підтримує постійну щільність і забезпечує однорідний рівень сушки продукту. Він транспортується тонкими шарами по стрічці на різних

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

швидкостях, сушиться за допомогою газу або системою вентиляції гарячого повітря з електроприводом при контролі температури. У багатострічкових сушарках транспортерні стрічки розташовуються одна над іншою і переміщуються в протилежних напрямках. Сушильний агент звичайно подають протитечією до висушуваного матеріалу, під час пересипання матеріалу з однієї стрічки на іншу відбувається його розпушення, що сприяє інтенсифікації процесу сушіння. Як сушильний агент використовують нагріте повітря або топкові газу. Стрічкові сушарки працюють за принципом неперервної дії і застосовуються для сушіння матеріалів волокнистої структури, фруктів і овочів, нарізаних на шматочки різної конфігурації, а також чаю, сірників, лляної соломи. Сушарка має камеру, всередині якої матеріал, що висушується, переміщується разом з несучою його стрічкою. Продуктивність 600 кг/год [23].

11) *Збірник Реаторг F20000*

Використовують на виробництві для накопичення та нетривалого зберігання цільової суміші. По будові являє собою резервуар, який має патрубки вводу і виходу. Потрібний для накопичення суміші, перед переходом її на іншу стадію, щоб заповнити максимально ефективно об'єм наступного апарату. Об'єм 20000 л, висота 5400 мм, внутрішній діаметр 2400 мм.

12) *Стрічковий транспортер*

Застосовується для транспортування сипучих сумішей. Стрічковий конвеєр, будова якого складається всього лиш з декількох елементів, у користуванні є дуже простим механізмом. Основні блоки: барабан приводу; сама стрічка; мотор-редуктор; барабан, на який натягається стрічка; ролики для допомоги руху стрічки; конструкція-рама.

13) *Шнековий транспортер*

Шнековий транспортер являє собою обладнання, призначене для транспортування сипучих продуктів в різних промислових сферах. Принцип дії конвеєра базується на використанні рушійної сили осьового типу, створеної при включенні електродвигуна. Вантаж, що підлягає транспортуванню, подається через вхідний патрубок або бункер. Електродвигун впливає на шнек

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

через редуктор, повідомляючи йому при цьому обертальний рух. Обертаючись, шнек забезпечує поступальний рух транспортується продукції. Дійшовши до вихідного патрубку, продукт вивантажується.

14) *Фасувальна машина НВП "Техноваги"*

Складається фасувальна машина з каркаса, вагового та підвісного бункерів, двох пневматичних заслінок, пневматичного притиску і пульта управління. Продукт гравітаційним методом подається у ваговий бункер. При досягненні потрібної дози подача продукту припиняється і на пульті управління загоряється відповідна індикація. Оператор встановлює порожній мішок для наповнення на патрубок та закріплює його притискним пристроєм. Запакований мішок падає на приймальний транспортер.

Фасувальні машини виробництва НВП "Техноваги" використовується для фасування борошна і аналогічних продуктів у відкриті мішки до 10 кг.

Характеристика: маса дози — від 1 до 10 кг, точність дозування — 0,5-2%, дозування — вагове, продуктивність — до 4-6 уп./хв.

Таблиця 2.12

**Технологічне обладнання процесу виробництва**

№	Назва	Марка	Продуктивність	Кі-сть
1	2	3	4	5
1	Ферментер	Серія BIORUS-SJA	-	2
2	Відцентровий насос	П8-ОНЦІ-25/32	25 м <sup>3</sup> /год	2
3	Осьовий насос		35 м <sup>3</sup> /год	1
4	Сепаратор	ДСГ-35	35 м <sup>3</sup> /год	1
5	Вакуум-випарна установка	ЭСВА-10000	10 м <sup>3</sup> /год	2
6	Шестерінчастий насос		м <sup>3</sup> /год	5

1	2	3	4	5
7	Збірник	Реаторг F20000	-	2
8	Реактор для гідрування			1
9	Нутч фільтр	Rosenmund RND4	-	1
10	Кристалізатор-охолоджувач	РЗ-ОКО	-	3
11	Центрифуга	ФГН-2001К-01	-	1
12	Стрічковий транспортер			1
13	Шнековий транспортер			2
14	Стрічкова сушарка	Evolum EV 600	0,6 м <sup>3</sup> /год	1
15	Упакувальна машина	НВП "Техноваги"	4-6 уп/хв	1

## 2.6 Розрахунок та креслення випарного апарату

### 1) ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

1. Загальну кількість випареного розчинника знаходимо з рівняння матеріального балансу випарної установки:

$$W = G_{\text{п}}(1 - X_{\text{п}}/X_{\text{к}}) \text{ кг/с}, \quad (2.1)$$

де  $W$  – кількість випареного розчинника, кг/с;

$G_{\text{п}}$  – продуктивність установки за вихідним розчином, кг/с;  $G_{\text{п}} = 10 \text{ т/год} = 2,78 \text{ кг/с}$ ;

$X_{\text{п}}$  і  $X_{\text{к}}$  – початкова і кінцева концентрації розчину, % мас. ( $X_{\text{п}} = 25,8\%$ , і  $X_{\text{к}} = 70\%$ )

$$W = 2,78 * (1 - 25,8/70) = 1,75 \text{ кг/с.}$$

Кількість утвореного концентрованого розчину складе:

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

$$G_k = G_{II} - W = 2,78 - 1,75 = 1,03 \text{ кг/с.} \quad (2.2)$$

## 2. Вибір тиску вторинної пари.

У вибраній схемі вторинна пара використовується для підігрівання розчину до температури  $t_{II} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ , тому її температура повинна бути на  $8\text{-}10^\circ\text{C}$  вище за кінцеву температуру нагрівання розчину [24]:

$$T_{\text{вт.п.}} = t_{II} + (8 - 10) = 70 + 10 = 80 \text{ }^\circ\text{C.} \quad (2.3)$$

Відповідно до температури пари за таблицею знаходимо її тиск,  $P_{\text{вт.п.}} = 0,047 \text{ МПа}$ .

## 3. Визначення температурного режиму випарного апарата.

Температура кипіння розчину у випарному апараті:

$$t_k = T_{\text{вт}} + \Delta' + \Delta'' \quad (2.4)$$

де  $\Delta'$  – температурна депресія;

$\Delta''$  – гідростатична депресія.

Температурна депресія залежить від концентрації розчину, тиску, природи розчиненої речовини і береться при атмосферному тиску [24].

Температурну депресію розчину при різному тиску визначається за формулою:

$$\Delta' = 1,62 * 10^{-2} \left( \frac{T_{\text{вт}}^2}{r_{\text{вт}}} \right) * \Delta_{\text{атм}} \quad (2.5)$$

де  $T_{\text{вт}}$  – абсолютна температура вторинної пари,  $T_{\text{вт}} = 273 + 80 = 353 \text{ К}$ ;  $\Delta'_{\text{атм}}$  – температурна депресія при атмосферному тиску,  $^\circ\text{C}$ ;

$r$  –теплота пароутворення вторинної пари при  $T_{\text{вт}} = 80^\circ\text{C}$ ;

$r = 2308 \text{ кДж/кг}$ ;

$\Delta'_{\text{атм}} = 4,2^\circ\text{C}$ .

$$\Delta' = 1,62 * 10^{-2} \left( \frac{T_{\text{вт}}^2}{r_{\text{вт}}} \right) * \Delta_{\text{атм}} = 1,62 * 10^{-2} \left( \frac{353^2}{2308} \right) * 4,2 = 3,6^\circ \quad (2.6)$$

Тоді температура кипіння розчину в сепараторі складе:

$$t_{\text{кип}} = T_{\text{вт}} + \Delta' = 80 + 3,6 = 83,6^\circ\text{C.} \quad (2.7)$$

Гідростатична депресія обумовлена різницею тисків у середньому шарі киплячого розчину і на його поверхні [24].

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

Тиск у середньому шарі киплячого розчину  $P_{cp}$  корпусу визначається за рівнянням:

$$P_{cp} = P_{вт} + \rho_p * g * H_p / 2, \quad (2.8)$$

$\rho_p$  — густина киплячого розчину, при  $X_k = 70\%$ ,  $\rho_p = 1255 \text{ кг/м}^3$ ;

$H_p$  — висота рівня розчину в кип'ятильних трубках в апараті, визначається по водомірному склу, в залежності від висоти кип'ятельних трубок  $H_{тр}$ , м.

Для вибору значення  $H_{тр}$  необхідно орієнтовно оцінити поверхню теплопередачі випарного апарата  $F_{op}$ . При кипінні водних розчинів можна прийняти питома теплове навантаження апаратів із природною циркуляцією  $q = 20\,000 - 50\,000 \text{ Вт/м}^2$ , з вимушеною циркуляцією  $q = 40\,000 - 80\,000 \text{ Вт/м}^2$ . Так як в моєму випадку апарат з природною циркуляцією, тоді орієнтовна поверхня теплопередачі корпусу дорівнює [24]:

$$F_{op} = Q/q = W * r' / q = 1,75 * 2308 * 10^3 / 35\,000 = 115,4 \text{ м}^2 \quad (2.9)$$

За ГОСТ 11987–81 (Аппараты выпарные, трубчатые) найближча поверхня складе  $F = 125 \text{ м}^2$ , при висоті труб  $H_{тр} = 4 \text{ м}$  (тип 1, виконання 2) [25].

Оптимальний рівень розчину при випарюванні водних розчинів в апаратах з природною циркуляцією розраховується за формулою:

$$H_p = H_{opt} = [0,26 + 0,0014 (\rho_p - \rho_v)] * H_{тр}, \quad (2.10)$$

$\rho_p$ ,  $\rho_v$  — густина розчину і води при температурі кипіння,  $t_{кип} = 83,6^\circ\text{C}$ ,

$\rho_p = 1240 \text{ кг/м}^3$ , (густина розчину ізомальту при середній концентрації),

$\rho_v = 970 \text{ кг/м}^3$ .

$$H_{opt} = [0,26 + 0,0014 * (1240 - 970)] * 4 = 2,55 \text{ м.}$$

$$P_{cp} = 0,47 + (0,5 * 1255 * 9,81 * 2,55) * 10^{-5} = 0,62 \text{ кг/м}^3 = 0,06 \text{ МПа.}$$

Такому тискові відповідає температура  $t_{cp} = 86^\circ\text{C}$ .

Гідростатична депресія за рахунок гідростатичного стовпа рідини складе:

$$\Delta'' = t_{cp} - T_{вт.п} = 86 - 80 = 6,0. \quad (2.11)$$

Звідси, середня температура кипіння розчину у корпусі складе:

$$t_{кип} = T_{вт} + \Delta' + \Delta'' = 80 + 3,6 + 6,0 = 89,6^\circ\text{C}; \quad (2.12)$$

4. Визначення корисної різниці температур в установці.

Загальна різниця температур в установці:

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta t_{\text{заг}} = T_{\text{г.п}} - T_{\text{б.к}}, \quad (2.13)$$

де  $T_{\text{г.п}}$  – температура гріючої пари при тиску  $P_{\text{г.п.}} = 0,4$  МПа;  $T_{\text{г.п.}} = 143,6^\circ\text{C}$ .

$T_{\text{б.к.}}$  – температура конденсації вторинної пари, що надходить в барометричний конденсатор:

$$T_{\text{б.к.}} = T_{\text{вт}} - \Delta''' = 80 - 1 = 79^\circ\text{C}. \quad (2.14)$$

де  $\Delta'''$  – гідравлічна депресія, яку приймаємо в межах  $1-1,5^\circ\text{C}$ .

Загальна різниця температур в установці складе:

$$\Delta t_{\text{заг}} = T_{\text{г.п.}} - T_{\text{к}} = 143,6 - 79 = 64,6^\circ\text{C}. \quad (2.15)$$

Корисна різниця температур:

$$\Delta t_{\text{к}} = \Delta t_{\text{заг}} - \sum \Delta_{\text{вт}} = 64,6 - 10,6 = 54^\circ\text{C}. \quad (2.16)$$

де  $\sum \Delta_{\text{вт}}$  – сума температурних втрат:

$$\sum \Delta_{\text{вт}} = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 3,6 + 6 + 1 = 10,6^\circ\text{C}. \quad (2.17)$$

Перевірка корисної різниці температур в апараті:

$$\Delta t_{\text{к}} = T_{\text{г.п.}} - t_{\text{кип}} = 143,6 - 89,6 = 54^\circ\text{C}. \quad (2.18)$$

## 2) ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ

Надходження тепла в апарат:

– з гріючою парою:  $Q_{\text{г.п.}} = D \cdot I_{\text{г.п.}}$ ; (2.19)

– з початковим розчином:  $Q_{\text{п.р.}} = G_{\text{п.р.}} \cdot c_{\text{п.р.}} \cdot t_{\text{п.}}$ ; (2.20)

Витрати тепла в апараті:

– з вторинною парою  $Q_{\text{вт}} = W \cdot I_{\text{вт.}}$ ; (2.21)

– з концентрованим розчином  $Q_{\text{к.р.}} = (G_{\text{п.}} - W) \cdot c_{\text{к.р.}} \cdot t_{\text{к.}}$ ; (2.22)

– з конденсатом гріючої пари  $Q_{\text{к}} = D \cdot c_{\text{к.}} \cdot \Theta_{\text{к.}}$ ; (2.23)

– теплота концентрування розчину  $Q_{\text{конц.}}$ ;

– втрати тепла в навколишнє середовище  $Q_{\text{втр.}}$ .

Де  $D$  – витрата гріючої пари, кг/с;

$I_{\text{г.п.}}$  – тепловміст гріючої пари при  $P_{\text{г.п.}} = 0,4$  МПа,  $I_{\text{г.п.}} = 2744$  кДж/кг;

$c_{\text{р.}}$  – теплоємність розбавленого розчину, знаходимо за формулою:

$$c_{\text{р.}} = 4190(1 - X_{\text{п.}}) = 4190(1 - 0,258) = 3109 \text{ Дж/кг} \cdot \text{K}; \quad (2.24)$$

$t_{\text{п.}}$  – початкова температура розчину,  $t_{\text{п.}} = 70^\circ\text{C}$ ;

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

$I_{BT}$  – тепловміст вторинної пари при  $T_{BT} = 80^{\circ}\text{C}$ ,  $I_{BT} = 2643$  кДж/кг;

$C_K$  – теплоємність концентрованого розчину :

$$C_K = 4190(1 - X_K) + C_I * X_K = 4190(1 - 0,7) + 1476 * 0,7 = 2290 \text{ Дж/кг} * \text{К}; \quad (2.25)$$

де  $C_I$  – питома теплоємність ізомальту (1476 Дж/кг\*К),

$t_K$  – температура кипіння розчину в апараті,  $t_{\text{кип}} = 89,6^{\circ}\text{C}$ ;

$C_B$  – теплоємність води,  $C_B = 4190$  Дж/кг\*К;

$\theta_K$  – температура конденсату,  $\theta_K = T_{\text{г.п.}} - (2-3^{\circ}) = 143,6 - 2 = 141,6^{\circ}\text{C}$ . (2.26)

Теплове навантаження випарного апарата:

$$Q = W * r_{BT} = 1,75 * 2308 * 10^3 = 4039000 \text{ Вт} \quad (2.27)$$

де  $W$  – кількість вторинної пари,  $r_{BT}$  – теплота пароутворення вторинної пари.

Втрати тепла в навколишнє середовище приймаємо 3% від загальної кількості надходження тепла [24]:  $Q_{\text{вт}} = 0,03 Q_{\text{з.п.}}$  (2.28)

Підставивши необхідні величини в наведені вище рівняння знаходимо статті надходження та витрати тепла:

$$Q_{\text{г.п.}} = D * 2744000 \text{ Вт};$$

$$Q_p = 2,78 * 3109 * 70 = 605011 \text{ Вт};$$

$$Q_{BT} = 1,75 * 2643 * 10^3 = 4625250 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{кр}} = (2,78 - 1,75) * 2290 * 89,6 = 211339 \text{ Вт};$$

$$Q_K = D * 4190 * 141,6 = D * 593304 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{вт}} = 0,03(D * 2744000 + 605011) \text{ Вт}.$$

Складаємо тепловий баланс і зводимо в таблицю 2.13.:

$$D * 2744000 + 605011 = 4625250 + 211339 + D * 593304 + 0,03(D * 2744000 + 605011)$$

$$2744000 * D = 4625250 - 605011 + 211339 + 593304 * D + 82320 * D + 18150$$

$$2744000 * D - 593304 * D - 82320 * D = 4246728$$

$$2068376 * D = 4246728$$

$$D = 2,053 \text{ кг/с}.$$

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

## Зведений тепловий баланс процесу випарювання

Надходження тепла	Вт	%	Витрати тепла	Вт	%
З гріюч. пар. $Q_{г.п.}=2,053*27440$ 00	5633432	90,3	З вторинною парою $Q_{вт}=1,75*2643000$	4625250	74,1
З розб. розч. $Q_p=2,78*3109*70$	605011	9,7	З конц. розч. $Q_{кр}=(2,75-1,75)*2290*89,6$	211339	3,4
			З паровим конден. $Q_k=2,053*4190*141,6$	1218053	19,5
			Теплові втрати $Q_{вт}=\frac{6241795-6238443}{0,03(2,053*2744000+605011)}$	187153	3
<b>УСЬОГО</b>	<b>6238443</b>	<b>100</b>		<b>6241795</b>	<b>100</b>

Розходження балансу:

$$\Delta = \frac{6241795 - 6238443}{6241795} * 100\% = 0,05\%, \text{ що не перевищує } 5\%.$$

### 5. Визначення витрати гріючої пари у підігрівачі вихідної суміші.

Складаємо тепловий баланс підігрівача, з якого знаходимо теплове навантаження  $Q_{п}$ :

$$Q_{п} = G_{п}(I_{п} - I_{к}) = G_{п} * c_{p}(t_{п} - t_{0}) \quad (2.29)$$

де  $G_{п}$  – витрата початкового розбавленого розчину,  $G_{п} = 2,78$  кг/с;

$c_{p}$  – теплоємність початкового розчину,  $c_{p} = 3109$  Дж/кг\*К;

$t_{0}$ ,  $t_{п}$  – температури розчину на вході та виході з підігрівача,  $t_{0} = 50^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{п} = 70^{\circ}\text{C}$ .

В якості гріючої пари використовуємо вторинну пару випарного апарата, яка має наступні параметри [24]:

$$T_{вт.п} = 80^{\circ}\text{C}; I_{п} = 2643 \text{ кДж/кг}; I_{к} = 335 \text{ кДж/кг};$$

Витрата гріючої пари на підігрівання розчину складе:

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

$$D_{\text{підігр}} = \frac{G_n \cdot c_p \cdot (t_n - t_0) \cdot 1,03}{I_n - I_k} = \frac{2,78 \cdot 3,109 \cdot (70 - 50) \cdot 1,03}{2643 - 335} = 0,077 \text{ кг/с} \quad (2.30)$$

б. *Визначення витрати охолоджуючої води в барометричному конденсаторі.*

Витрату води в барометричному конденсаторі визначаємо з рівняння теплового балансу конденсатора:

$$G_B = \frac{W_k \cdot (I_{\text{в.п.}} - c_B \cdot t_{\text{кін}})}{c_B \cdot (t_{\text{кін}} - t_{\text{поч.}})} = \frac{1,673 \cdot (2643 - 4,19 \cdot 74)}{4,19 \cdot (74 - 20)} = 17,25 \text{ кг/с} \quad (2.31)$$

де  $W_k$  – кількість вторинної пари, що надходить на конденсацію, кг/с,

$$W_k = W - D_{\text{підігр}} = 1,75 - 0,077 = 1,673 \text{ кг/с}; \quad (2.32)$$

$I_{\text{в.п.}} = 2643,0$  – ентальпія вторинної пари кДж/кг;

$t_{\text{кін}}, t_{\text{поч.}}$  – кінцева та початкова температури охолоджуючої води,  $t_{\text{поч.}} = 20^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{кін}}$  – приймаємо на  $3\text{--}5^\circ\text{C}$  нижче від температури конденсації пари,

$$t_{\text{кін}} = T_{\text{бк}} - 5 = 79 - 5 = 74^\circ\text{C}; \quad (2.33)$$

$c_B = 4,19$  кДж/кг – теплоємність охолоджуючої води.

### 3) **КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ВИПАРНОГО АПАРАТА**

*Вихідні дані для розрахунку:*

Витрата початкового розбавленого розчину,  $G_{\text{п}} = 2,78$  кг/с;

Температура кипіння розчину  $t_k = 89,6^\circ\text{C}$ ;

Корисна різниця температур  $\Delta t_{\text{кор}} = 54^\circ\text{C}$ ;

Температура гріючої пари,  $T_{\text{г.п.}} = 143,6^\circ\text{C}$ ;

Температура вторинної пари,  $T_{\text{в.п.}} = 80^\circ\text{C}$ .

1. *Визначення коефіцієнта теплопередачі в випарному апараті.*

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.34)$$

де  $\alpha_1$  коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки кип'ятильної труби, Вт/м<sup>2</sup>\*К [24];

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$\alpha_2$  коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до киплячого розчину, Вт/м<sup>2</sup>\*К;

$\sum \delta/\lambda_1$  – сума термічних опорів стінки і забруднень, м<sup>2</sup>\*К/Вт і визначається за формулою:

$$\sum \frac{\delta}{\lambda_1} = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + 2/r \quad (2.35)$$

де  $\delta_{ст} = 0,002$  м – товщина стінки трубки;

$\lambda_{ст} = 17,5$  Вт/м\*К – теплопровідність нержавіючої сталі;

$2/r$  – тепловий супротив забруднених труб — 5800 Вт/м<sup>2</sup> ·К.

$$\sum \frac{\delta}{\lambda_1} = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{2}{r} = 0,002/17,5 + 2/5800 = 4,6 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \times \text{К/Вт.}$$

2. Визначення коефіцієнта тепловіддачі від гріючої пари до стінки.

$$\alpha_1 = 2,04 * \sqrt[4]{\frac{\lambda_1^3 * \rho_1^2 * r_1}{\mu_1 * \Delta t_1 * H}} \quad (2.36)$$

де  $r_1$  – теплота конденсації гріючої пари,  $r = 2133$  кДж/кг;

$\mu_1 = 0,199 \times 10^{-3}$  Па\*с – в'язкість конденсату при середній температурі плівки;

$\lambda_1 = 0,618$  Вт/м\*К – теплопровідність конденсату при середній температурі плівки;

$\rho_1 = 930$  кг/м<sup>3</sup> – густина конденсату при середній температурі;

$\Delta t_1$  – різниця температури конденсації пари і температури стінки зі сторони пари ( $\Delta t_1 = 2$  °С);

$H = 4$  м – висота нагріву трубок.

$$\alpha_1 = 2,04 * \sqrt[4]{\frac{0,618^3 * 930^2 * 2133000}{0,199 * 10^{-3} * 2 * 4}} = 4664 \text{ Вт/м}^2 * \text{К}$$

Для сталого процесу теплопередачі справедливе рівняння для питомого теплового потоку [24]:

$$q = \alpha_1 * \Delta t_1 = \frac{\Delta t_{ст}}{\sum \delta/\lambda_1} = \alpha_2 \Delta t_2, \text{ тоді}$$

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

$$\alpha_2 = Aq^{0,6}$$

$$A = \frac{780 * \lambda_2^{1,3} * \rho_2^{0,5} * \rho_{\text{п}}^{0,06}}{\sigma_2^{0,5} * r_2^{0,6} * \rho_0^{0,66} * c_2^{0,3} * \mu_2^{0,3}} \quad (2.37)$$

де  $\lambda_2 = 0,450 \text{ Вт/м} \times \text{К}$  – теплопровідність ізомальту;

$r_2 = 1255 \text{ кг/м}^3$  – густина ізомальту;

$r_{\text{п}} = 0,424 \text{ кг/м}^3$  – густина пара при  $t_{\text{вт.п.}} = 54,6^0 \text{ С}$ ;

$\delta_2 = 0,056 \text{ Н/м}$  – поверхневий натяг;

$c_2 = 3,109 \text{ кДж/кг} \times \text{К}$  – теплоємність ізомальту;

$\mu_2 = 2 \times 10^{-3} \text{ Па} \times \text{с}$  – в'язкість ізомальту.

$$A = \frac{780 * 0,450^{1,3} * 1255^{0,5} * 0,424^{0,06}}{0,056^{0,5} * 2133000^{0,6} * 0,579^{0,66} * 3109^{0,3} * 0,002^{0,3}} = 5,1$$

$$\lambda_2 = A(\alpha_1 \Delta t_1)^{0,6} = 5,01 * (4664 * 2)^{0,6} = 1229 \text{ Вт/м}^2 \times \text{К}.$$

$$q' = \alpha_1 \Delta t_1 = 4664 * 2 = 9328 \text{ Вт/м}^2,$$

$$q'' = \alpha_2 \Delta t_2 = 1229 * 4,3 = 5284,7 \text{ Вт/м}^2.$$

$$q_1 \gg q_2$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{4664} + 4,6 * 10^{-4} + \frac{1}{1229}} = 675,7 \text{ Вт/м}^2 * \text{К}$$

### 3. Визначення поверхні теплопередачі випарного апарата.

Поверхню теплопередачі (нагрівання) випарного апарата визначаємо із основного рівняння теплопередачі за формулою [24]:

$$F = \frac{Q}{K * \Delta t_K} \quad (2.38)$$

де  $Q$  – теплове навантаження випарного апарата, Вт, визначаємо за формулою

$$Q = D * (I_{\text{г.п.}} - i_k) = 2,053 * (2744 - 601,1) * 10^3 = 4399373,7 \text{ Вт}; \quad (2.39)$$

де  $I_{\text{г.п.}} = 2744 \text{ кДж/кг}$ , та  $i_k = 601,1 \text{ кДж/кг}$  – тепловміст грючої пари та парового конденсату при  $P = 0,4 \text{ МПа}$ .

Тоді за формулою (2.38):

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$F = \frac{4399373,7}{675,7 * 54} = 120,6 \text{ м}^3$$

Приймаємо стандартний випарний апарат за ГОСТ 11987-81, тип 1, виконання 2, з такою характеристикою [25]:

Поверхня теплопередачі –  $F = 125,0 \text{ м}^2$ ;

Висота трубок гріючої камери –  $H = 4 \text{ м}$ ;

Діаметр гріючої камери –  $D = 1000 \text{ мм}$ ;

Діаметр сепаратора –  $D_1 = 2200 \text{ мм}$ ;

Діаметр циркуляційної труби –  $D_2 = 700 \text{ мм}$ ;

Висота сепаратора –  $H_c = 13500 \text{ мм}$ ;

Маса апарата –  $M = 11500 \text{ кг}$ .

Запас поверхні складе:

$$\Delta = \frac{(F_{ст} - F_p) * 100}{F_p} = \frac{(125 - 120,6) * 100}{120,6} = 3,6\% \quad (2.40)$$

#### 4. Визначення діаметрів штуцерів.

Діаметри штуцерів для підведення та відведення теплоносіїв визначаємо з рівняння витрати за формулою

$$d = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * \omega}} \quad (2.41)$$

де  $V$  – об'ємна витрата теплоносія,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$\omega$  — швидкість руху теплоносія в штуцері,  $\text{м}/\text{с}$ , приймаємо для рідин,  $\omega = 3 \text{ м}/\text{с}$ , для газів  $\omega = 20 - 50 \text{ м}/\text{с}$ .

##### 4.1 Діаметр штуцера для підведення гріючої пари, складе:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * D_n}{3,14 * \omega * \rho_n}} = \sqrt{\frac{4 * 2,053}{3,14 * 35 * 2,13}} = 0,187 \text{ м} \quad (2.42)$$

де витрата гріючої пари  $D_n = 0,868 \text{ кг}/\text{с}$ ; швидкість руху гріючої пари у штуцері приймаємо  $\omega = 35 \text{ м}/\text{с}$ ; густина гріючої пари при  $T_{г.п} = 143,6^\circ\text{C}$ ,  $\rho_n = 2,13 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Приймаємо стандартний діаметр  $d_1 = 200 \text{ мм}$  [24].

##### 4.2. Діаметр штуцера для виходу конденсату гріючої пари:

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 * D_n}{3,14 * \omega * \rho_n}} = \sqrt{\frac{4 * 2,053}{3,14 * 1,5 * 930}} = 0,0433 \text{ м}$$

де витрата конденсату гріючої пари  $D_k = 2,053$  кг/с; швидкість руху конденсату гріючої пари у штуцері приймаємо  $\omega = 1,5$  м/с; густина конденсату гріючої пари при  $T_{г.п} = 143,6^\circ\text{C}$ ,  $\rho_n = 930$  кг/м<sup>3</sup>.

Приймаємо стандартний діаметр  $d_2 = 50$  мм.

4.3. Діаметр штуцера підведення розчину на випарювання:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 * G_n}{3,14 * \omega * \rho_p}} = \sqrt{\frac{4 * 2,78}{3,14 * 1,5 * 1150}} = 0,045 \text{ м} \quad (2.43)$$

де витрата початкового розчину  $G_n = 2,78$  кг/с; швидкість подачі початкового розчину приймаємо  $\omega = 1,5$  м/с; густина початкового розчину  $\rho_n = 1150$  кг/м<sup>3</sup> [24].

Приймаємо стандартний діаметр  $d_3 = 50$  мм.

4.4. Діаметр штуцера виходу концентрованого розчину:

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 * G_k}{3,14 * \omega * \rho_p}} = \sqrt{\frac{4 * 1,03}{3,14 * 1,5 * 1255}} = 0,026 \text{ м}$$

де витрата концентрованого розчину  $G_k = 1,03$  кг/с; швидкість руху концентрованого розчину у штуцері приймаємо  $\omega = 1,5$  м/с; густина концентрованого  $\rho_n = 1255$  кг/м<sup>3</sup>.

Приймаємо стандартний діаметр  $d_4 = 32$  мм.

4.5. Діаметр штуцера для виходу вторинної пари складе:

$$d_5 = \sqrt{\frac{4 * W}{3,14 * \omega * \rho_n}} = \sqrt{\frac{4 * 1,75}{3,14 * 35 * 0,293}} = 0,466 \text{ м}$$

де витрата вторинної пари  $W = 1,75$  кг/с; швидкість руху вторинної пари у штуцері приймаємо  $\omega = 35$  м/с; густина вторинної пари при  $T_{вт.п} = 80^\circ\text{C}$ ,  $\rho_{вт.} = 0,293$  кг/м<sup>3</sup>.

Приймаємо стандартний діаметр  $d_5 = 500$  мм.

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

5. Розрахунок трубок для нагріву.

Кількість трубок для нагріву:

$$n = F/\pi d_{\text{ср}} * H_{\text{тр}} \quad (2.44)$$

де  $d_{\text{ср}} = 0,036$  м – середній діаметр трубки.

$$n = 125/(3,14*0,036*4) = 277 \text{ шт.}$$

Розміщення трубок в трубній решітці:

При розміщенні трубок необхідно забезпечити максимальну компактність, щільність і міцність їх кріплення, простоту розмітки, виготовлення трубної решітки та збірки трубного пучка. Цим вимогам відповідає розмітка труб по вершинах правильних шестикутників [24].

Число труб по діагоналі:

$$n_{\text{п}} = \sqrt{\frac{4}{3}(N - 1) + 1} = \sqrt{\frac{4}{3}(277 - 1) + 1} \approx 20 \text{ шт} \quad (2.45)$$

На стороні шестикутника:

$$n_{\text{с}} = \frac{n_{\text{п}}}{2} = \frac{20 + 1}{2} = 10,5 \approx 11 \quad (2.46)$$

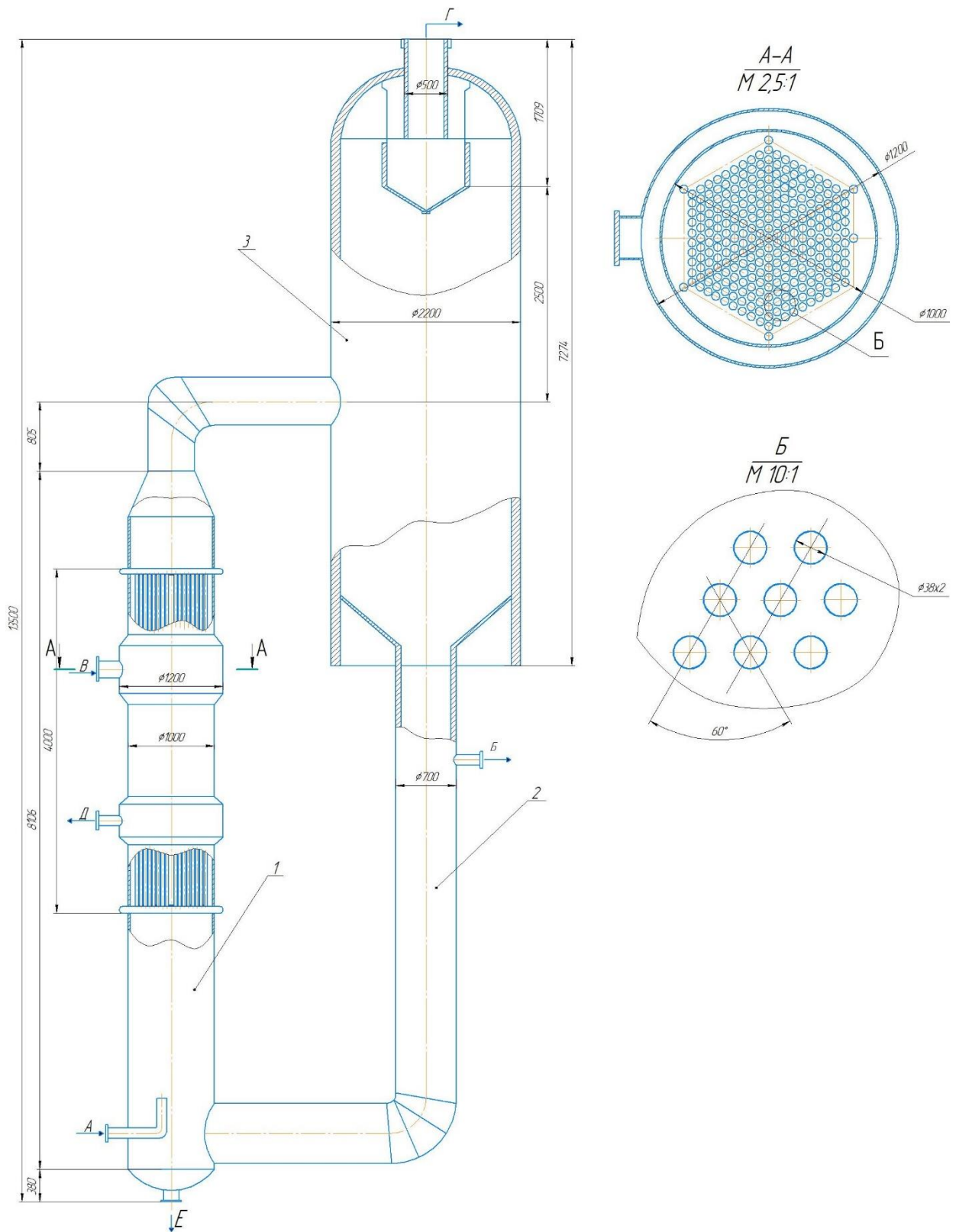


Рис. 2.3 Випарна установка

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			55

## 2.7 Опис апаратурно-технологічної схеми

В ферментер 1 подаються потоками 1 вода, 30 сахароза, 29 бактеріальна маса, що являються вихідною сировиною. Суміш перемішується лопатевою мішалкою, якою оснащений ферментер 1. Реактор оснащений сорочкою, до якої підводиться гаряча вода, для підтримання температури. Після ферментації, отриманий розчин ізомальтулози, через осьовий насос 2, потрапляє у сепаратор 3, де відбувається відділення бактеріальної маси від цільового розчину. Шар осаду, що утворюється, по трубопроводу 29 видаляється з фільтру та направляється на утилізацію. Очищений розчин, подається у вакуум-випарну установку 4, до якої підведений трубопроводом 2 пар, який надходить до випарних трубок, а трубопровід 27 забезпечує розрідження повітря. В ході процесу, отриманий конденсат видаляється через патрубок відводу конденсату. Випарений розчин за допомогою шестерінчастого насосу 5 потрапляє у збірник 6. Зібраний концентрований розчин, за допомогою насосу 7 подається в реактор для гідрогенізації 8, який має сорочку, до якої підводиться водяна пара. Крім основного розчину, в апарат подається трубопроводом 31 каталізатор Рутеній. Реактор оснащений барботером, через який в середину подається водень, що надходить по трубопроводу 32. Суміш перемішується за допомогою лопатевої мішалки, яка присутня в апараті. Отриманий розчин ізомальту, за допомогою насоса 9 надходить в нутч-фільтр 10, де відбувається відділення каталізатора від розчину, а через трубопровід 27 забезпечується вакуум в даному фільтрі. Шар осаду, що утворюється, вивантажується та направляється на утилізацію. Очищений розчин, через насос 11, надходить у вакуум-випарну установку 12. В процесі, конденсат видаляється, а розчин за допомогою насосу 13 надходить у збірник 14, де накопичується для подачі в наступний апарат. Із збірника, насосом 15, розчин надходить до кристалізатора 16. Кристалізатор має сорочку, до якої підводиться холодна вода, що забезпечує охолодження розчину. Розчин з кристалічним ізомальтом, насосом 17 подається в центрифугу 18. Тут відбувається відділення кристалів ізомальту від маточного розчину, який трубопроводом 33 відводиться з центрифуги та йде на утилізацію. Вологі

					<b>ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

кристали вивантажуються з фільтру на шнековий транспортер 19, за допомогою якого вони надходять в стрічкову сушарку 20. В стрічковій сушарці 20 відбувається остаточне видалення вологи з кристалічного ізомальту. Після висушування, з сушарки, кристалічний ізомальт потрапляє на стрічковий транспортер 21, а далі потрапляє на шнековий транспортер 22. Транспортер 22 подає цільовий продукт у фасувальну машину 23. Упакований ізомальт зберігається на складі.

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

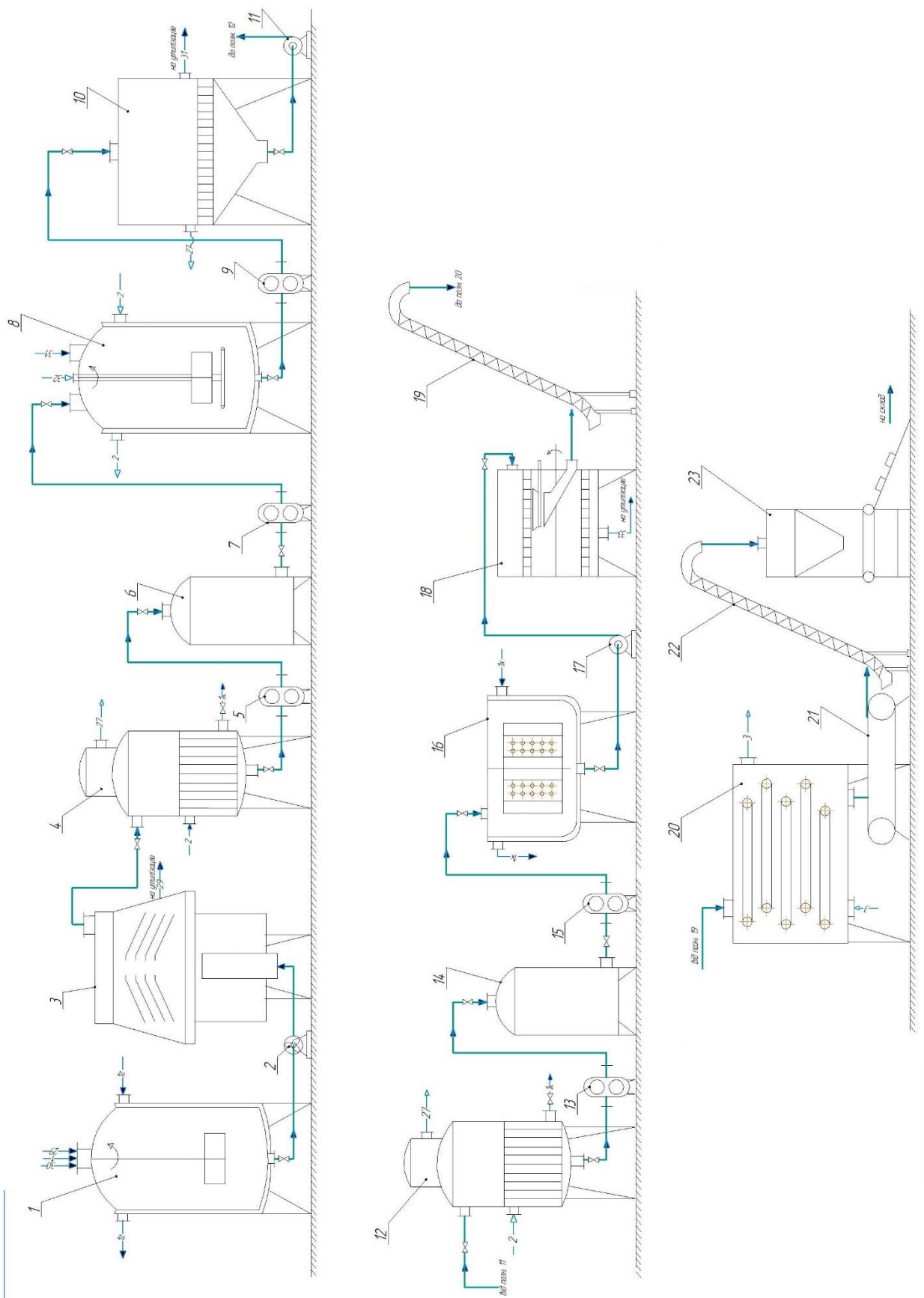


Рис. 2.4 Апаратурно-технологічна схема отримання ізомальту

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

**ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

### РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА

За допомогою розрахунку калькуляції собівартості виробництва визначається доцільність цього процесу.

Таблиця 3.1

#### Потреба в сировині та матеріалах на 1000 кг виробництва

Сировина та матеріали	Одиниця виміру	Норми витрат на 1000 кг	Ціна одиниці сировини, грн	Сума, грн/1000 кг
Вода	кг	18560	0,023	427
Бактеріальна маса	кг	2489	20	49780
Сахароза	кг	4640	20	92800
Рутеній (кат)	кг	51	28	1428
Водень	кг	23	10	230
<b>Всього</b>		<b>144665</b>		

Отже, витрати на сировину та основні матеріали для виготовлення 1000 кг становлять 144665 грн.

Транспортно-заготівельні витрати на сировину та основні матеріали приймаємо в розмірі 5 %, що складають:

$$144665 * 0,05 = 7233 / 1000 \text{ кг}$$

Звідси, всього витрати становлять:

$$144665 + 7233 = 151898 / 1000 \text{ кг.}$$

Енерговитрати на виробництво ізомальту масою 1000 кг складають 1700 кВт. Згідно постанови Кабінету Міністрів України ціна за електроенергію в 2021 році складає 1,68 грн. (з ПДВ) за 1 кВт/год. незалежно від об'єму споживання.

Отже, вартість витрат за спожиту електроенергію при виробництві ізомальту

					<b>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ</b>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дика А.В.			<b>ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О.В.					59	77
Н. Контр.		Бойчук Т.М.			НУХТ Каф. ТЖХТ			
Затверд.		Носенко Т.Т.						

буде:

$$1700 \times 1,68 = 2856 \text{ грн}$$

Фактичний обсяг виробництва розраховується за формулою 3.1:

$$P_{\text{факт}} = P_{\text{доб}} \times K_{\text{вик}} \quad (3.1)$$

де  $K_{\text{вик}}$  – коефіцієнт використання потужності (нормативне значення 0,8).

Фактичний добовий обсяг виробництва ізомальту складе:

$$P_{\text{факт}} = 1000 \times 0,8 = 800 \text{ кг}$$

Річний обсяг виробництва розраховується за формулою 3.2:

$$O = P_{\text{факт}} \times K_{\text{д.р.}} \quad (3.2)$$

Тоді річний обсяг виробництва ізомальту складе:

$$O = 800 \times 250 = 200000 \text{ кг}$$

Далі розраховуємо основну заробітну плату працівників. За одну добу випускають 1000 кг готового продукту – ізомальту. Тривалість зміни на виробництві становить 12 год., кількість робочих днів – 250 (з урахуванням святкових та вихідних днів). Так як, виробництво працює цілодобово, то деякі робітники працюють в 2 зміни: I зміна – 6<sup>00</sup>-18<sup>00</sup>, II зміна – 18<sup>00</sup>-6<sup>00</sup>.

За роботу у нічні зміни (з 22<sup>00</sup>-6<sup>00</sup>) встановлено доплату в розмірі 25% годинної тарифної ставки за кожну годину роботи.

Тарифні ставки для працівників різного розряду розраховують множенням ставки працівника I-го розряду на відповідний тарифний коефіцієнт. Згідно закону про державний бюджет на 2021 рік, мінімальна зарплата в Україні становить 6000 грн. Тарифний коефіцієнт для працівників II розряду складає – 1,09, для III — 1,18, для IV – 1,27, для VIII – 1,64.

Заробітна плата для працівника I-го розряду, враховуючи мінімальну заробітну плату, буде становити:

$$6000 / 160 = 37,5 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника II-го розряду I зміни складе:

$$37,5 \times 1,09 = 40,88 \text{ грн/год}$$

					<b>ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА</b>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника III-го розряду I зміни складе:

$$37,5 \times 1,18 = 44,25 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника IV-го розряду I зміни складе:

$$37,5 \times 1,27 = 47,63 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата за погодинною системою оплати праці для робітника VIII-го розряду складе:

$$37,5 \times 1,64 = 61,5 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата працівника I-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе:

$$37,5 \times 1,25 = 46,88 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата працівника II-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе:

$$40,88 \times 1,25 = 51,1 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата працівника III-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе:

$$44,25 \times 1,25 = 55,31 \text{ грн/год}$$

Заробітна плата працівника IV-го розряду II зміни, враховуючи доплату за нічну зміну складе:

$$47,63 \times 1,25 = 59,54 \text{ грн/год}$$

Основна заробітна плата працівників, які працюють за погодинною системою оплати праці наведена в таблиці 3.2.

					<b>ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА</b>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2

**Основна заробітна плата працівників, що працюють за погодинною системою оплати праці**

Назва посади	К-ість	Розряд працівника	К-ість год/день	Заробітна плата 1 працівника, грн/зміну	Зароб. плата прац. зміни, грн/зміна
Інженер-технолог	1	VIII	12	738	738
Апаратник I зміна	7	IV	12	571,56	4000,92
II зміна	7			714,48	5001,36
Оператор лінії		II	12		
I зміна	2			490,56	981,12
II зміна	2			613,2	1226,4
Підсобний робітник		I	12		
I зміна	3			450	1350
II зміна	3			562,56	1687,68
<b>Всього</b>	<b>25</b>				<b>14985,48</b>

Отже, основна заробітна плата за добу складає 14985,48 грн.

Також на підприємстві передбачена додаткова заробітна плата, як винагорода за працю понад установлені норми, за трудові успіхи та особливі умови праці, що складає 30 % від основної заробітної плати.

Обов'язковим платежем є — Єдиний соціальний внесок, який складає 22% від основної заробітної плати.

Додаткова заробітна плата та сума ЄСФ наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Показник	Відсоток, %	Сума, грн/зміну
Додаткова заробітна плата	30 %	4495,64
Відрахування до ЄСФ	22 %	3296,8

					<b>ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА</b>	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже витрати на додаткову заробітну плату складають 4495,64 грн/зміну, а відрахування до ЄСФ –3296,8 грн/зміну.

На утримання та обслуговування обладнання витрати складають 150 % від основної заробітної плати:

$$14985,48 \times 1,5 = 22478,22 \text{ грн/зміну}$$

Витрати, що пов'язані з підготовкою та освоєнням виробництва продукції складають 10 % від основної заробітної плати (ОЗП):

$$14985,48 \times 0,1 = 1498,55 \text{ грн/зміну}$$

Загальновиробничі витрати складають 200 % від ОЗП:

$$14985,48 \times 2 = 29971 \text{ грн/зміну}$$

Виробнича собівартість буде становити:

$$151898 + 2856 + 14985,48 + 4495,64 + 3296,8 + 22478,22 + 1498,55 + 29971 = 231479,70 \text{ грн}$$

Сума адміністративних витрат складає 1,5 % від виробничої собівартості:

$$231479,70 \times 0,015 = 3472,2 \text{ грн/зміну}$$

Витрати на збут складають 2 % від виробничої собівартості:

$$231479,70 \times 0,02 = 4629,6 \text{ грн/зміну}$$

Інші операційні витрати складають 1% від виробничої собівартості:

$$231479,70 \times 0,01 = 2314,80 \text{ грн/зміну}$$

Отже, повні втрати складають:

$$231479,70 + 3472,2 + 4629,6 + 2314,80 = 241896,30 \text{ грн/зміну}$$

Повні витрати на виробництво за рік будуть становити:

$$241896,30 \times 250 = 60474075 \text{ грн}$$

Рентабельність виробництва становить 10%, отже прибуток буде складати:

$$60474075 \times 0,1 = 6047407,5 \text{ грн}$$

Загальна сума, без урахування ПДВ, буде складати:

$$60474075 + 6047407,5 = 66521482,50 \text{ грн}$$

ПДВ складає 20% від загальної суми:

$$66521482,50 \times 0,2 = 13304296,50 \text{ грн}$$

Загальна сума, з урахуванням ПДВ буде складати:

					<b>ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА</b>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$66521482,50 + 13304296,0 = 79825779 \text{ грн}$$

Ізомальт буде продаватися в різних формах випуску, розрахуємо вартість 1 кг:

$$79825779 / (1000 \times 250) = 319 \text{ грн}$$

Враховуючу середню вартість ізомальту на споживчому ринку, що становить 270-500 грн/кг, можна сказати, що даний продукт має доволі низьку вартість серед представленого цінового сегменту, але продукт виготовляється високої якості, і в той же час дана ціна окупається.

					<b>ЕКОНОМІКА ПІДПРИЄМСТВА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

## РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

*Система контролю якості продукції* являє собою сукупність методів і засобів контролю, регулювання компонентів зовнішнього середовища, що визначають рівень якості продукції на стадіях виробництва, маркетингу, а також здійснення технічного контролю на всіх стадіях виробничого процесу [26].

Для того щоб отримати високоякісний продукт, необхідно дотримуватися нормального технологічного режиму виробництва, що регулюється системою контролю якості.

Ізомальт добре переноситься, споживання ізомальту не погіршує метаболічну функцію та не викликає гіперкальциурію. Добова доза більше 50 г може викликати пронос і здуття живота. У тонкому кишечнику піддається неповному гідролізу (до глюкози, сорбіту та маніту). Залишок розщеплюється мікрофлорою товстого кишечника до коротколанцюгових жирних кислот, які всмоктуються, виділяючи близько 2,4 ккал/г. Ізомальт не є каріогенним і не становить серйозної загрози хворим на цукровий діабет. Він не мутагенний в тесті Еймса, не канцерогенний, не тератогенний [27].

Ізомальт не рекомендується застосовувати вагітним жінкам, дітям і новонародженим.

Якість ізомальту регламентується відповідно до СанПіН 2.3.2.1078-01, основні значення показників цього документу наведено в таблиці 4.1.

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Дика А.В.			<b>ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ</b>		
Перевір.		Подобій О.В.					
						65	77
Н. Контр.		Бойчук Т.М.			НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

**Гігієнічні норми якості ізомальту**

Показник	Значення
Токсичні елементи, мг/кг, не більше:	
Миш'як	2,0
Кадмій	0,05
Ртуть	0,01
Нікель	2,0
<b>Радіонукліди, Бк/кг, не більше:</b>	
Цезій-137	200
Стронцій-90	100
<b>Мікробіологічні показники</b>	
Загальне мікробне число, КУО/г,	$\leq 1 \times 10^4$
БГКП (коліформи)	не допускаються в 1,0 г
Цвілі, КУО/г	$\leq 1 \times 10^2$
Патогенні (сальмонели)	не допускаються в 25 г

Також ізомальт повинен пройти перевірку і отримати сертифікат аналізу, де будуть вказані допустимі значення основних показників безпечності продукту, що дозволить потім використовувати ізомальт у виробництві інших продуктів. Ці дані наведені в табл. 4.2 [28].

Таблиця 4.2

**Сертифікат аналізу ізомальту**

Показник	Стандарт
<b>1</b>	<b>2</b>
Вміст ізомальта, % СВ, не менше	98
Вміст А-форми, %	43-57
Вміст В-форми, %	43-57
Вода (по Фішеру), %, не більше	7
Сульфатна зола, % СВ, не більше	0,05
Редукуючі цукри, %, не більше	1,5

					<b>ОРГАНІЗАЦІЯ</b>	<b>КОНТРОЛЮ</b>	<b>ЯКОСТІ</b>	Арк.
					<b>ПРОДУКЦІЇ</b>			66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

1	2
D-Манніт, %, не більше	0,5
D-Сорбіт, %, не більше	0,5
Ізомальтулоза, %, не більше	0,8
Нікель, мг/кг, не більше	2
As/Pb/важ. мет., мг/кг, не більше	3/1/10
Колір розчину, ICUMSA, не більше	30

Контроль виробництва здійснюється такими способами:

- а) точне дозування реагуючих речовин по вазі та об'єму;
- б) дотримання температурного режиму виробництва;
- в) хімічний аналіз сировини, реагуючих речовин та готового продукту.

Таблиця 4.3

### Контроль проєктованого виробництва

Об'єкт контролю	Частота контр.	Що визначається	Норма по техн. режиму	Спосіб контролю
Сахароза	Кожну загрузку	Мікробіологічна чистота		ГОСТ 26968-86
Вода		Склад, чистота		ГОСТ 2874-82
Ізомальт	Кожну операцію	Склад, чистота		СанПіН 2.3.2.1078-01
Сепарація		Кі-сть бактер. маси	Не повинно бути	Мікробіологічний аналіз
Випарювання		Масова частка вологи та сухих речовин	Залежить від стадії виробництва	Відповідно до технічної документації
Гідрогенізація		Температура, тиск, рН	100° С, 20 атм., рН 3-6	Термометр, барометр, рН-метр
Фільтрування		Кі-сть видалених домішок	Залежить від об'єму виробн.	
Сушка		Температура та кі-сть вологи	60° С та 0,3%	Термометр, галогенний аналізатор вологості

					<b>ОРГАНІЗАЦІЯ</b>	<b>КОНТРОЛЮ</b>	<b>ЯКОСТІ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ПРОДУКЦІЇ</b>			67

Харчова добавка зареєстрована в європейській кодифікації під індексом E 953:

- 1) Являє собою білу порошкоподібну або кристалічну речовину;
- 2) Без запаху, має солодкий смак;
- 3) отримують в результаті ферментативної ізомеризації бурякового цукру в ізомальтулозу з подальшим каталітичним гідруванням;
- 4) виконує роль підсолоджувача, текстуратора, наповнювача;
- 5) Є натуральним підсолоджувачем;
- 6) Не шкідлива для організму людини.

					<b>ОРГАНІЗАЦІЯ</b>	<b>КОНТРОЛЮ</b>	<b>ЯКОСТІ</b>	Арк.
					<b>ПРОДУКЦІЇ</b>			68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1 Охорона праці на підприємстві

Перед прийомом на роботу, працівник повинен пройти медичне обстеження, де буде зазначено, що він не має захворювань, що перешкоджатимуть праці. Також, до роботи допускаються особи, які пройшли інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки.

Весь персонал повинен використовувати засоби захисту органів дихання, хімічно сумісні рукавички, захисні окуляри та захисний одяг. При потребі, залежно від процесу виробництва, працівників повинні забезпечити спецодягом та засобами захисту (маски, рукавички, окуляри, шлеми).

При роботі в приміщеннях, де знаходиться сильне джерело шуму, необхідно забезпечити персонал протишумовими навушниками або берушами [29].

Потрібно використовувати респіратор, якщо це необхідно в результаті промислового гігієнічного обстеження, що включає моніторинг повітря; якщо респіратор не потрібно, слід використовувати респіраторну маску.

Ще одним джерелом негативного впливу на працівників є — вібрації. Для забезпечення захисту працівника від впливу високочастотної місцевої вібрації, використовують: засоби для рук (віброізолюючі рукавиці), для ніг (спецвзуття та коврики), для тіла (спецкостюми, пояси), які мають пружні прокладки, що захищають працівника від впливу високочастотної місцевої вібрації

Курити, вживати їжу та напої в не призначених для цього місцях, суворо заборонено.

Загалом, на підприємстві повинні дотримуватися таких правил:

- 1) Точно дотримуватися норм технологічного режиму всіх стадій

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Дика А.В.			<b>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</b>		
Перевір.		Подобій О.В.					
						69	77
Н. Контр.		Бойчук Т.М.			НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

виробництва, правила безпечної експлуатації устаткування, вимоги інструкцій по робочих місцях обслуговуючого персоналу виробництва [30].

2) Не допускати експлуатацію обладнання з відключеними або несправними системами. Слід спостерігати за герметичністю систем, в яких містяться горючі продукти, для виключення створення небезпечних концентрацій цих речовин у навколишньому середовищі в усіх режимах роботи [30].

3) Трубопроводи для пари і гарячих рідин повинні мати відповідну ізоляцію та маркування; високотемпературні зони повинні мати захисні екрани, що допоможуть запобіганню попадання в них різних частин тіла. Адже використання великих обсягів пари, що перебуває під тиском, і гарячої води (операції ферментації) створює можливість отримати опіки від впливу пари або прямого контакту з гарячими поверхнями [29].

4) На підприємстві рекомендується технічний контроль, одним із різновидів якого є витяжна вентиляція. У виробничих приміщеннях нормальні умови середовища створюються припливно-витяжною вентиляцією, при якій в приміщення подається свіже чисте повітря і видаляється забруднене.

5) Цей матеріал вважається горючим. Як і у випадку з усіма сухими порошками, доцільно заземлити механічне обладнання, що контактує з сухим матеріалом, щоб розсіяти потенційне скупчення статичної електрики.

6) Також повинні бути наявні засоби пожежогасіння, у разі виникнення пожежі на підприємстві ( розпилювач води, сухий хімікат, вуглекислий газ або піна відповідно до навколишнього вогню та матеріалів).

7) У приміщеннях, де застосовуються токсичні, вибухонебезпечні і вибухопожежонебезпечні продукти, повинні бути встановлені газоаналізатори з пристроєм світлової та звукової сигналізації, вона повідомляє про наявність в повітрі приміщення довибухових концентрацій вибухонебезпечних речовин [30].

8) У приміщеннях, де відбувається гідрування, при аваріях можливе виділення великих кількостей вибухонебезпечних парів і газів, тому в таких

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

цехах потрібно встановлювати пристрої аварійної витяжної вентиляції з 8-кратним повітрообміном додатково до основної вентиляційної системи [30].

9) При неправильній експлуатації обладнання, що працює під тиском, можливі вибухи руйнівної сили. Тому до обслуговування установок, що працюють під тиском, допускаються тільки ті особи, які мають відповідну кваліфікацію.

10) Залишки каталізатора не можна викидати в ящик чи в інше не призначене місце, адже він може бути легкозаймистим (наприклад нікель Ренея) [31].

11) Сепаратори і центрифуги повинні бути обладнані блокуючим устаткуванням, яке може автоматично, у разі потреби, відключити привід машин при підвищенні частоти обертання вище встановлених технологічних норм. Також оснащують тахометрами та манометрами, щоб можна було слідкувати за показниками [32].

12) Трубопроводи, що розміщені на висоті більше 2 м, мають бути обладнані стаціонарними або пересувними майданчиками для обслуговування [32].

## 5.2 Охорона навколишнього середовища

*Екологічна безпека* — це стан навколишнього природного середовища, коли забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я людей. Це залежить від цілого ряду факторів, що взаємопов'язані: екологічних, політичних, економічних, технічних, організаційних, державно-правових.

1) Однією з проблем є те, що повітря, яке видаляється з ферментера, має вологість близько 100% і містить крапельну вологу в якій містяться живі клітини мікроорганізмів. Тому потрібно проводити очистку відпрацьованого повітря після ферментації від мікробних клітин перед викидом в атмосферу. Для очищення відпрацьованого повітря застосовують систему «циклон + фільтр

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

сітчастий», що дає можливість відділити до 90 % мікробних клітин. На даний момент, ферментери зразу оснащені додатковими фільтрами, що забезпечують достатню очистку. Ще однією проблемою процесу ферментації є неприємні запахи, що вирішується установкою очищувача повітря поряд з установкою, що дозволяє покращити умови праці [29].

2) Викиди токсичних сполук в атмосферу на запроєктованому виробництві відсутні. Захистом від інших забруднювачів повітря, таких як пил та пар, є додатково встановлені захисні фільтри в системі вентиляції.

3) Щоб зменшити загалом будь-які шкідливі викиди в атмосферу, потрібно установлювати на підприємствах очисні споруди та вводити пункти контролю забруднень.

4) Також бажано переходити на альтернативні, менш токсичні і негорючі джерела енергії, щоб уникнути серйозних наслідків на довкілля в майбутньому [29].

5) Фугат, що утворюється під час стадії центрифугування, потребує утилізації чи очищення. Для початку його збирають у спеціальні ємності, а потім відправляють на очищення до очисних споруд.

6) Ще однією проблемою підприємства є значне використання водних ресурсів. Вода потрібна для приготування та охолодження розчинів, для охолодження та миття реакторів, для промивання речовини в центрифугах. В результаті утворюється великий об'єм стрічних вод, які мають певну ступінь забрудненості. Саме із-за цього потрібно удосконалювати водоочисні споруди та встановлювати додаткові стадії очищення. Стічні води даного виробництва проходять декілька стадій очистки [29].

					<b>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО</b>	Арк.
						<b>СЕРЕДОВИЩА</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Було проведено аналіз науково технічної літератури, що стосувалась фізико-хімічних, органолептичних, фізіологічних властивостей ізомальту. Здійснено пошук методів виробництва ізомальту, що застосовуються на сьогоднішній день.

2. Розглянуто сировину та допоміжні матеріали, що застосовуються при виробництві.

3. Розроблено та описано принципово-технологічну та апаратурно-технологічну схеми, де зазначені основні параметри виробництва.

4. Розраховано матеріальний та тепловий баланси виробництва, де відображено кількість компонентів, що надходить на певну стадію та кількість тих речовин, що утворюються на виході, при продуктивності 1000 кг/добу цільового продукту.

5. З розрахунку матеріально балансу видно, що в ході виробництва, із 4,64 т сахарози можна отримати 1000 кг ізомальту.

6. Підібрано обладнання відповідно потужності даного виробництва, проведено розрахунок та накреслено основний вид випарного апарату.

7. Описано показники якості та безпечності готової продукції, що дозволяють контролювати чистоту ізомальту для подальшого використання в промисловості.

8. Розраховано техніко-економічні показники виробництва. Результати розрахунку показують, що ціна за 1 кг ізомальту становитиме 319 грн, що є доволі низькою вартістю серед представленого цінового сегменту, враховуючи якість отриманого продукту.

9. Розглянуто екологічні проблеми виробництва та запропоновано методи вирішення цих проблем. Одним з яких є — збільшення кількості та удосконалення очисних споруд.

					ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>ВИСНОВКИ</b>		
Розроб.		Дика А.В.					
Перевір.		Подобій О.В.				73	77
Н. Контр.		Бойчук Т.М.			НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.А. Герасимова. Использование подслащивающих веществ в производстве пищевых продуктов / В.А. Герасимова, Е.С. Белокурова // Технико-технологические проблемы сервиса, 2010.- № 12.-С.53-57
2. З.А. Канарская. Тенденции в производстве сахарозаменителей / З.А. Канарская, Н.В. Демина // Вестник Казанского технологического университета, 2012.- Т.15.- № 9.- С. 145-153
3. В.В. Дорохович. Солодкі речовини - цукрозамінники: обґрунтування доцільності використання їх при виробництві борошняних кондитерських виробів / В. В. Дорохович, М. П. Гуліч // Гігієна населених місць. - 2007. - № 50. - С. 273-279.
4. Подобій О.В. Хімія та технологія харчових добавок: конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічна технологія», денної та заочної форм навчання / О.В.Подобій. – К.: НУХТ, 2019. – С. 131.
5. А.І. Українець. Технології цукропродуктів і цукрозамінників / А.І. Українець, Н.І. Штангеева , Л.С. Клименко // Навч. посіб. — К.:НУХТ, 2009. — 231 с.
6. Method for improved production of isomalt: Пат. WO2020053207A1 German, Alireza Haji Begli. — №РСТ / EP2019 / 074102; заявл.: 2019-09-10; опублік.:2020-03-19.
7. А.К. Стрелкова. Нуга с пищевыми волокнами «САМАСЕЛ@ и изомальтом / А.К. Стрелкова, И.Б. Красина // Научные труды КубГТУ .— К.: 2016 г., №14. — 854-856 ст.
8. К. McNutt. Isomalt / К. McNutt, A. Sentko // Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. — 2003., т.2.

					<b>ННІХТ.ХТ-4-4.021.161.КР.ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Дика А.В.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Подобій О.В.				74	77
Н. Контр.		Бойчук Т.М.			<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ</b>  НУХТ Каф. ТЖХТ		
Затверд.		Носенко Т.Т.					

9. Isomalt. // Calorie Control Council // [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://caloriecontrol.org/isomalt/>
10. Isomalt [Electronic Resource]. – Mode of access: [https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty\\_EN\\_CB1309643.htm](https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB1309643.htm)
11. Verfahren zur Herstellung von Isomaltit: пат. DE19523008A1 Germany, Rivka Labin Goldscher. — заявл: 1994-06-26; опубл.: 1996-01-04.
12. Н.О. Гунько. Напрями екологічної реструктуризації підприємств цукрової промисловості України / Н. О. Гунько // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2013. – № 49. – С. 66–70.
13. Нікітюк П. Методи екологізації цукрового виробництва / Нікітюк П. // Матеріали II Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання, 25-26 квітня 2019.» — Т. : ТНТУ, 2019. — С. 12–13
14. Prepn of isomaltitol by hydrogenation of isomaltulose soln. Пат. DE19523008A1, German, Rivka Labin Goldscher . — заявл.: 1994-06-26; опублік.: 1996-01-04. // [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://patents.google.com/patent/DE19523008A1/en>
15. С.М. Петров. Инновационное направление переработки сахара в дисахарид изомальтулозу / С.М. Петрова, Н.М. Подгорнова // Сахар. — 2018.— №10. — ст. 30-37.
16. Isomalt. // National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information // [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Isomalt>
17. Л.П. Величко Хімія: підруч. для 10 клас. Закладів загальної середньої освіти: проф. рівень. — К.: Школяр, 2018. — 296 с.
18. Б. Х. Драганов. Основи теплотехніки і гідравліки : навч. посіб. / Б. Х. Драганов, А. В. Міщенко, Ю. О. Борхаленко ; ред. Б. Х. Драганов. - Київ : Аграр. освіта, 2011.
19. Устаткування виробництв галузі [Електронний ресурс]: лабораторний практикум для студ. напряму підготовки 6.051401 «Біотехнологія»

					<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

ден. та заоч. форм. навч./уклад.: І.В.Житнецький, О.А.Терещенко, Л.В. Марцинкевич, К.: НУХТ, 2014. - 50 с.

20. Вакуум-выпарные аппараты типа ЭСВА [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.vladbmt.ru/oborudovanie/promyishlennoe-oborudovanie/esva/>

21. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1971.

22. Курочкин А.А. Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства. // пер. и доп. Учебник и практикум для академического бакалавриата» — Ч. 2, 2-е изд., 2018. – 256с.

23. Ленточная сушилка Evolum. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.clextral.com/ru/линии-и-технологии/оборудование/ленточная-сушилка-evolum/>

24. Дубинін А.І. Процеси та апарати хімічної технології: навч. посібник з курсового проектування / А.І. Дубинін, Р.І. Гаврилів, І.О. Гузьова; за ред. А.І. Дубиніна. – Львів: видавнц. Львівської політехніки, 2012. – 360 с.

25. ГОСТ 11987-81. Аппараты выпарные трубчатые стальные. Типы, основные параметры и размеры. — М.: Изд-во стандартов, 1981. –с. 21.

26. Клименко Л.П. Метрологія, стандартизація та управління якістю. // Л.П. Клименко, Л.В. Пізінцалі, Н.І. Александровська, В.Д. Євдокимов //– Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. П. Могили, 2011.

27. Isomalt (JECFA Evaluation). [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v20je14.htm>

28. Специфікація Ізомальту [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://100ing.ru/media/specifications/izomalt-granuli.pdf>

29. Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для фармацевтического и биотехнологического производства // Международная финансовая корпорация. — апрель, 2007. – 27с.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

30. Толстов Л.С. Проект производства полигидроксиалканоатов. [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук (06.04.01.09). — Красноярск, 2016. – 60 с.

31. Коста А.Н. Общий практикум по органической химии // — изд. Мир. — М., 1965.

32. Технологія виробництва вина. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://topref.ru/referat/73867/10.html>

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

34. Методичні рекомендації до складання матеріального та енергетичного балансу в хімічній технології для студентів напряму підготовки 6.051301 "Хімічна технологія" денної форми навчання [Електронний ресурс] / уклад. О.Г. Макаренко, І.В. Житнецький - К.: НУХТ, 2015. - 21 с.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77