

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Інститут ННІХТ
Кафедра Технології цукру і підготовки води

«До захисту в ЕК»	«До захисту допущено»
Директор інституту	Завідувач кафедри
<u>Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО</u>	<u>Інна КАРПОВИЧ</u>
«__» _____ 20__ р.	«__» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
зі спеціальності 181 Харчові технології
освітньо-професійної програми «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах»
на тему: Удосконалення технології підготовки води для виробництва ферментованих напоїв

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЦВ-2-11М

<u>Козлов Анатолій Вікторович</u>	_____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)	(підпис)

Керівник <u>Карпович Інна Віталіївна</u>	_____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)	(підпис)

Консультанти _____	_____
(прізвище та ініціали)	(підпис)
_____	_____
(прізвище та ініціали)	(підпис)
_____	_____
(прізвище та ініціали)	(підпис)

Рецензент <u>Юрій РЕЗНІЧЕНКО</u>	_____
(прізвище та ініціали)	(підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2025р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут ННІХТ

Кафедра Технології цукру і підготовки води

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»

Освітньо-професійна програма «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЦПВ

Інна КАРПОВИЧ

“ ” 20 року

З А В Д А Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Козлова Анатолія Вікторовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи: Удосконалення технології підготовки води для виробництва ферментованих напоїв

затверджені наказом закладу вищої освіти від 10.10.2025 року № 832-кс

керівник роботи Карпович Інна Віталіївна доцент, кандидат технічних наук

2.Строк подання здобувачем проекту:5 грудня 2025 р.

3.Вихідні дані до роботи Мед квітковий (різнотрав'я); вода питна з централізованого водопостачання; вода підготовлена демінералізована; чиста культура сухих дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* M05 Mead; лимонний сік; хімічно чисті мінеральні солі для корекції іонного складу ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$), ($NaHCO_3$)

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):вступ, об'єкти та методи досліджень, експериментальна частина, менеджмент якості та безпечності води у виробництві ферментованих напоїв, екологічні економічні та соціальні аспекти дослідження в контексті

забезпечення сталого розвитку України, загальні висновки та рекомендації, додатки

5. Перелік графічного матеріалу: результати експериментальних досліджень впливу хімічного складу води на кінетику ферментації та якість напою; удосконалена апаратурно-технологічна схема водопідготовки; техніко-економічні показники проекту.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання, затвердження теми та складання плану роботи	10.10.2025	Виконано
2	Опрацювання літературних джерел та нормативної бази (Розділ 1)	02.11.2025	Виконано
3	Обґрунтування методики досліджень, підготовка реактивів та обладнання (Розділ 2)	10.11.2025	Виконано
4	Проведення експериментальних досліджень впливу складу води на ферментацію (Розділ 3)	22.11.2025	Експеримент завершено
5	Математичне оброблення даних, оптимізація та розробка технологічної схеми	01.12.2025	Побудовано модель
6	Розробка системи менеджменту якості та безпечності води (НАССР) (Розділ 4)	03.12.2025	Визначено ККТ
7	Обґрунтування екологічних та економічних аспектів роботи (Розділ 5)	05.12.2025	Розраховано ефективність
8	Узагальнення результатів, формулювання висновків, оформлення пояснювальної записки	10-11.12.2025	Перевірка керівником
9	Перевірка на плагіат, нормоконтроль та попередній захист на кафедрі	12.12.2025	Допущено до захисту
10	Підготовка презентаційних матеріалів та захист роботи в ЕК	15.12.2025	За графіком ЕК

Здобувач

(підпис)

Анатолій КОЗЛОВ

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Інна КАРПОВИЧ

(ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі досліджено актуальну проблему підготовки води для виробництва крафтового ферментованого напою на основі меду. Робота виконана на 71 сторінках, ілюстрована 11 таблицями та 10 рисунками, містить висновки, список використаних джерел з 46 найменувань та 1 додаток.

Об'єктом дослідження є технологічний процес підготовки води в виробництві крафтового ферментованого напою на основі меду. Предметом дослідження – показники якості води (фізико-хімічні, мікробіологічні, органолептичні) та методи їх корекції для оптимізації ферментації.

Обґрунтовано актуальність теми зростанням ринку крафтових медових напоїв та ризиками, пов'язаними з якістю води. Виконано аналіз нормативних вимог (ДСанПіН 2.2.4-171-10, ДСТУ ISO 22000), теоретичних аспектів контролю води, практичних методів очищення (фільтрація, пом'якшення, знезараження) та управління ризиками за принципами НАССР. Розроблено рекомендації щодо адаптованої схеми водопідготовки, що включає зворотний осмос та мінералізацію для досягнення оптимального рН (3,7-4,6) та жорсткості (менше 5 мг-екв/дм³), що зменшує ризики ферментаційних збоїв на 20-30%. Проведено оцінку практичної значимості для крафтових виробництв.

Ключові слова: підготовка води, крафтовий ферментований напій, медовуха, якість води, НАССР, зворотний осмос, ферментація, очищення води, мікробіологічна безпека, органолептичні властивості.

ABSTRACT

The qualification work investigates the urgent problem of water preparation for the production of a craft fermented beverage based on honey. The work is performed on 71 pages, illustrated with 11 tables and 10 figures, contains conclusions, a list of used sources with 46 titles and 1 appendice.

The object of research is the technological process of water preparation in the production of a craft fermented beverage based on honey. The subject of research is water quality indicators (physico-chemical, microbiological, organoleptic) and methods of their correction for fermentation optimization.

The relevance of the topic is substantiated by the growth of the craft honey beverage market and risks associated with water quality. An analysis of regulatory requirements (DSanPiN 2.2.4-171-10, DSTU ISO 22000), theoretical aspects of water control, practical purification methods (filtration, softening, disinfection) and risk management according to HACCP principles has been performed. Recommendations on an adapted water preparation scheme have been developed, including reverse osmosis and mineralization to achieve optimal pH (3.7-4.6) and hardness (less than 5 mg-eq/dm³), which reduces the risks of fermentation failures by 20-30%. The practical significance for craft productions has been evaluated.

Keywords: water preparation, craft fermented beverage, mead, water quality, HACCP, reverse osmosis, fermentation, water purification, microbiological safety, organoleptic properties.

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Огляд літературних джерел. Науково-теоретичні основи підготовки води у технології ферментованих напоїв.....	11
1.1. Вода як ключовий, але недооцінений фактор у крафтовому медоварінні.....	11
1.2. Різниця між санітарними нормами та технологічною оптимальністю води.....	12
1.3. Вплив ключових фізико-хімічних параметрів води на ферментацію медового сусла.....	14
1.4. Інгібітори ферментації та небажані компоненти у воді для медоваріння.....	17
1.5. Сучасні технології водопідготовки у крафтовому виробництві.....	19
Висновки за розділом.....	21
Розділ 2 Об'єкти і методи досліджень.....	23
2.1. Об'єкти дослідження.....	23
2.2. Методи підготовки експериментальних зразків.....	24
2.3. Методи контролю процесу ферментації.....	25
2.4. Методи аналізу сировини та готових напоїв.....	25
Висновки за розділом.....	27
Розділ 3. Експериментальна частина.....	28
3.1. Обговорення експериментальних досліджень впливу водного профілю на ферментацію медового сусла.....	28
3.2. Оптимізація мінерального профілю води для медоваріння.....	40
3.3. Розроблення удосконаленої технологічної схеми та режиму водопідготовки.....	47
3.3.1. Опис удосконаленої апаратурно-технологічної схеми.....	49
3.3.2. Розроблення удосконаленого технологічного режиму та розрахунки:.....	50
Висновки за розділом.....	52
Розділ 4. Менеджмент якості та безпечності води у виробництві ферментованих напоїв.....	53
4.1. Загальні підходи до системи управління безпечністю харчової продукції на основі принципів НАССР.....	52
4.2. Аналіз небезпечних факторів та визначення Критичних Контрольних Точок (ККТ) у процесі водопідготовки.....	55
4.3. Процедури верифікації (перевірки) плану НАССР.....	58
4.4. Документування та ведення записів.....	59

					Підготовка води для виробництва крафтового ферментованого напою						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Козлов А.В.			Зміст			Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір		Карпович І.В.							5		
								НУХТ ННІХТ ЦВ-2-11М			
Затверд.											

Висновки за розділом.....	60
Розділ 5. Екологічні, економічні та соціальні аспекти дослідження в контексті забезпечення сталого розвитку України.....	61
5.1. Економічна ефективність розробки та її соціальне значення.....	61
5.2. Екологічні проблеми у виробництві та шляхи їх вирішення.....	67
Висновки за розділом.....	68
Загальні висновки та рекомендації.....	69
Список використаної літератури.....	71
Додатки.....	77

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний споживчий ринок України демонструє стійку тенденцію до зростання попиту на крафтову продукцію, що зумовлено пошуком автентичних смаків та відродженням національних традицій. У цьому сегменті ферментовані напої на основі меду (відомі як медовуха або "mead" у міжнародній класифікації) займають унікальну нішу, поєднуючи історичну спадщину з інноваційними технологічними підходами [1]. Однак, на відміну від пивоваріння, де хімічний склад води вивчається понад століття і є фундаментальною, канонічною частиною технології, крафтове медоваріння в Україні досі значною мірою залишається науково неопрацьованим полем. Цей брак системних досліджень створює головну проблему галузі: виробники змушені або ігнорувати ключовий інгредієнт, або інтуїтивно екстраполювати технологічні дані з суміжних галузей, що є науково некоректним.

Вода, що складає до 80% об'єму кінцевого напою, не є пасивним розчинником. Вона виступає активним біохімічним середовищем, де її мінеральний склад, рівень рН та загальна лужність безпосередньо диктують умови для метаболізму дріжджів [2]. Критична відмінність медового сусла від пивного полягає у його складі: медове сусло є бідним на поживні речовини, особливо на вільний аміний азот (FAN), і має іншу буферну ємність [3, 4]. Це означає, що невідповідний водний профіль, який міг би бути прийнятним для пива, у медоварінні може призвести до катастрофічних технологічних збоїв. До них належать уповільнення або повна зупинка ферментації, неконтрольоване падіння рН, а також накопичення небажаних побічних продуктів, таких як сивушні спирти, оцтова кислота та сірчисті сполуки, що безпосередньо формують дефекти смаку, аромату та прозорості готового напою [5].

Актуальність теми посилюється і з регуляторної точки зору. Обов'язкове впровадження на харчових підприємствах систем управління безпечністю, заснованих на принципах HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) та стандартах серії ISO 22000, вимагає від операторів ринку чіткого науково обґрунтованого контролю над усіма етапами виробництва. Вода в цьому контексті є класичною критичною контрольною точкою (ККТ), оскільки її хімічна та мікробіологічна безпечність безпосередньо впливає на безпечність кінцевого продукту [6]. Таким чином, розробка науково обґрунтованої методології підготовки води, адаптованої саме до унікальних потреб ферментації медових напоїв, є нагальною та практично значущою задачею, вирішення якої сприятиме підвищенню якості, стабільності та конкурентоспроможності української крафтової продукції.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської роботи є наукове обґрунтування технологічних параметрів та розробка практичних рішень з

					Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

підготовки води, що гарантують стабільність процесу ферментації та високі органолептичні і безпекові показники крафтових медових напоїв.

Для досягнення поставленої мети було визначено низку ключових завдань. Першочергово, необхідно було провести глибокий аналіз сучасної науково-технічної літератури та чинної нормативної бази України, зокрема ДСанПіН 2.2.4-171-10, для виявлення специфіки вимог до води у медоварінні порівняно з іншими ферментаційними виробництвами. Наступним кроком стало встановлення кореляційних зв'язків між ключовими фізико-хімічними показниками вихідної води, такими як рН, загальна жорсткість, лужність та іонний склад (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^-), та кінетикою бродіння дріжджових культур у специфічному, бідному на поживні речовини, середовищі медового сусла [2, 3]. Важливим дослідницьким завданням була ідентифікація та оцінка хімічних (наприклад, залишковий хлор, важкі метали) та мікробіологічних ризиків, пов'язаних з використанням води, та їхнього прямого впливу на органолептичний профіль і безпечність готового напою. Ключовим експериментальним завданням стало наукове обґрунтування вибору та оптимізація параметрів сучасних методів водопідготовки, зокрема технології зворотного осмосу з подальшою контрольованою ремінералізацією, для створення цільового, технологічно доцільного водного профілю. Завершальним завданням є розробка практичних рекомендацій та технологічних карт для впровадження процесу контрольованої водопідготовки в рамках існуючої на підприємстві системи HACCP [6].

Об'єкт дослідження – технологічний процес виробництва крафтового ферментованого напою на основі меду.

Предмет дослідження – фізико-хімічні (рН, мінеральний склад, загальна жорсткість, лужність) та мікробіологічні показники води, а також їхній системний вплив на біохімічні процеси ферментації медового сусла та формування якісно-безпекових характеристик готового продукту.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених у роботі завдань було застосовано комплексний підхід, що поєднує теоретичні та експериментальні методи. Теоретична база дослідження сформована шляхом аналізу, синтезу та узагальнення наукових даних з фахових періодичних видань, монографій українських та закордонних дослідників [1, 2, 4, 5], а також порівняльного аналізу чинної нормативної документації [6]. Експериментальна частина роботи базувалася на використанні стандартних та модифікованих фізико-хімічних та аналітичних методів для визначення показників якості води та складу медового сусла, зокрема потенціометрії (для контролю рН), титриметрії (для визначення жорсткості та лужності) і фотометрії. Також застосовувалися мікробіологічні методи для моніторингу життєздатності дріжджової культури та оцінки

					Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

мікробіологічної чистоти сировини. Системний аналіз ризиків та визначення критичних контрольних точок процесу водопідготовки проводився згідно з методологією НАССР [6].

Наукова новизна одержаних результатів (проектна) полягає у встановленні специфічних вимог до іонного складу води (зокрема, оптимального співвідношення $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ та $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$) для забезпечення стабільної кінетики ферментації саме медового сусла, яке, на відміну від пивного, характеризується вираженим дефіцитом поживних речовин та низькою буферною ємністю [3, 4]. Науково обґрунтовано та адаптовано до умов крафтового медоваріння технологію «побудови» водного профілю «з нуля» (англ. "clean slate approach") методом контрольованої ремінералізації демінералізованої води (після зворотного осмосу), що дозволяє нівелювати вплив сезонних коливань складу вихідної води.

Практичне значення одержаних результатів (проектне) полягає у розробці конкретних технологічних карт, протоколів та рекомендацій з підготовки води, які можуть бути безпосередньо імплементовані на малих та середніх крафтових виробництвах. Впровадження запропонованих рішень дозволяє мінімізувати ризики технологічних збоїв (зокрема, зупинки ферментації), покращити відтворюваність партій, стандартизувати органолептичні показники напою (смак, прозорість, аромат) та забезпечити стабільно високу якість і безпечність продукції, незалежно від джерела водопостачання.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, огляду літератури, опису об'єктів та методів дослідження, експериментальної частини, розділів з менеджменту якості та безпечності і техніко-економічного обґрунтування, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1. НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ У ТЕХНОЛОГІЇ ФЕРМЕНТОВАНИХ НАПОЇВ

Забезпечення стабільної якості та безпечності харчової продукції є пріоритетним завданням, яке регламентується на законодавчому рівні Законом України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» [1] та спирається на сучасні системи управління якістю [3]. У технології крафтових ферментованих напоїв вода відіграє ключову роль не лише як основний компонент рецептури, але і як активне середовище для життєдіяльності мікроорганізмів, тому її характеристики повинні відповідати як загальним гігієнічним нормативам [2], так і специфічним технологічним вимогам. У цьому розділі проведено аналіз теоретичних основ водопідготовки та впливу хімічного складу води на органолептичні властивості медових напоїв, що базується на даних фахової літератури [5], з метою обґрунтування необхідності контролю критичних показників у виробничому процесі.

1.1. Вода як ключовий фактор у виробництві ферментованих напоїв

У технології будь-яких ферментованих напоїв вода є домінуючим інгредієнтом за масою та об'ємом, складаючи від 70% до понад 90% кінцевого продукту [2, 7]. Незважаючи на це, у багатьох крафтових виробництвах її роль часто недооцінюється, зводячись до функції пасивного розчинника. Такий підхід є глибоко хибним, оскільки вода виступає як активне біохімічне середовище, властивості якого безпосередньо і багатогранно впливають на всі етапи технологічного процесу – від початкового розчинення сировини (меду) до кінетики ферментації, метаболізму дріжджів, і, зрештою, до формування органолептичного профілю та колоїдної стабільності готового напою [5, 10].

Історично склалося, що найглибше вивчення впливу хімічного складу води (англ. "water chemistry") проводилося у контексті пивоваріння. Це зумовлено тим, що у пивоварінні вода є активним учасником ключового етапу – затирання солоду. Хімічний склад води безпосередньо впливає на рН затору, який має критичне значення (оптимум 5.2–5.6) для роботи амілолітичних та протеолітичних ферментів солоду [11]. Іони, такі як кальцій (Ca^{2+}), виступають як кофактори для цих ферментів та допомагають знизити рН [12, 13]. Лузність води (зумовлена бікарбонатами, HCO_3^-) діє у протилежному напрямку, підвищуючи рН. Саме баланс між іонами жорсткості та лузністю (концепція "залишкової лузності") є наріжним каменем водопідготовки у пивоварінні [7].

Однак, технологія виробництва ферментованих медових напоїв докорінно відрізняється. У медоварінні відсутній процес затирання; джерелом цукрів є мед,

					Огляд літератури	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

що складається переважно з моносахаридів - глюкози та фруктози. Відповідно, роль води кардинально зміщується:

Від оптимізації ферментативного гідролізу до забезпечення нутрієнтами. Пивне сусло, завдяки солоду, багате на поживні речовини: вільний аміний азот, вітаміни та мінерали. Медове сусло, навпаки, є по суті "поживною пустелею" – розчином цукрів з мізерною кількістю азотистих сполук [3, 4]. У цьому контексті вода стає життєво важливим джерелом мікроелементів для дріжджів, зокрема іонів магнію (Mg^{2+}) та кальцію (Ca^{2+}), які є критичними кофакторами для ферментів гліколізу та спиртового бродіння [12, 14].

Від стабілізації рН затору (пиво) до буферизації ферментації (мед). Під час ферментації меду дріжджі виробляють значну кількість органічних кислот, що призводить до стрімкого падіння рН, іноді до критичних значень (3.0 або нижче) [15, 16]. Якщо вода не має достатньої буферної ємності (лужності), такий "кислотний шок" викликає стрес у дріжджів, призводячи до зупинки бродіння та утворення сторонніх ароматів [5].

Таким чином, сліпа екстраполяція пивоварних практик водопідготовки на медоваріння є технологічно невиправданою. Медоваріння вимагає унікального профілю води, сфокусованого насамперед на забезпеченні здоров'я дріжджів у бідному на нутрієнти середовищі. Цей технологічний розрив наочно демонструє таблиця 1.1.

Таблиця 1.1.

Порівняльний аналіз технологічної ролі води у пивоварінні та медоварінні

Параметр води	Роль у пивоварінні (орієнтованому на затирання)	Роль у медоварінні (орієнтованому на ферментацію)
рН та Лужність	Критично: Визначає рН затору (оптимум 5.2–5.6) для роботи ферментів солоду [11]. Висока лужність небажана для світлих сортів.	Критично: Виступає буфером проти стрімкого падіння рН під час ферментації. Запобігає "кислотному шоку" дріжджів [15, 16].
Кальцій (Ca^{2+})	Висока важливість: Знижує рН затору, захищає ферменти (амілазу) від деградації, покращує осадження білків (прозорість) [12, 13].	Середня важливість: Виступає як поживна речовина для дріжджів (структура клітинних стінок), сприяє флокуляції дріжджів (прозорість) [12].
Магній (Mg^{2+})	Низька важливість: Зазвичай достатньо у солоді. Незначний вплив на рН.	Висока важливість: Критичний кофактор для ферментів дріжджів (гліколіз). Вода є

	Надлишок (>30 ppm) дає гіркоту [13].	одним з головних джерел Mg^{2+} у бідному суслі [14].
Сульфати (SO_4^{2-})	Смаковий іон: Підкреслює хмелеву гіркоту, надає "сухого" профілю (напр., в IPA) [7].	Смаковий іон: Мінімальний вплив на ферментацію. Надлишок може створювати різкий, "мінеральний" присмак, що маскує мед [5].
Хлориди (Cl^-)	Смаковий іон: Підкреслює "повнотілість" та солодовість (напр., у стаутах) [7].	Смаковий іон: Може додати "округлості" смаку, але надлишок (>100 ppm) дає солонуватий присмак [10].

1.2. Різниця між санітарними нормами та технологічною оптимальністю води

Будь-яке харчове виробництво в Україні, незалежно від обсягів, зобов'язане дотримуватись суворих вимог щодо безпечності сировини. Вода, що використовується як інгредієнт, підпадає під дію низки нормативних актів, які регламентують її мінімальні показники якості та безпечності. Основним документом, що встановлює гігієнічні вимоги, є ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [8]. Цей стандарт є обов'язковим для виконання і визначає гранично допустимі концентрації (ГДК) для широкого спектру мікробіологічних, органолептичних та санітарно-токсикологічних показників.

Окрім цього, сучасні системи управління безпечністю, засновані на принципах НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points), вимагають від виробника розглядати воду як "вхідну сировину" [6]. Це означає, що виробник зобов'язаний не просто мати сертифікат на воду, але й проводити систематичний аналіз ризиків (хімічних, фізичних, біологічних), пов'язаних з нею. Таким чином, водопідготовка та контроль якості води стають однією з ключових Критичних Контрольних Точок (ККТ), де втрата контролю може призвести до виробництва небезпечного продукту [6, 9].

Проте, фундаментальна проблема, з якою стикається технолог, полягає в тому, що поняття "санітарно безпечна вода" (згідно з ДСанПіН) та "технологічно оптимальна вода" (необхідна для ферментації) не є тотожними. Вода з муніципального водогону може повністю відповідати санітарним нормам, але водночас бути абсолютно непридатною для виробництва якісного ферментованого напою. Цей критичний розрив ілюструє таблиця 1.2, де

порівнюються нормативи ДСанПіН з реальними технологічними потребами медоваріння.

Таблиця 1.2

Аналіз розбіжностей між санітарними нормами (ДСанПіН 2.2.4-171-10) та технологічними вимогами медоваріння

Показник	Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10	Технологічне значення / Оптимум для медоваріння
pH	6.5 – 8.5	Неприйнятно. Діапазон ДСанПіН є оптимальним для пиття, але занадто високий для медового суслу. Високий pH пригнічує дріжджі та сприяє розвитку бактеріального забруднення [5].
Загальна жорсткість	≤ 7.0 ммоль/дм ³ (до 10 за певних умов)	Надто широкий діапазон. Вода з жорсткістю 7.0 ммоль/дм ³ (дуже жорстка) надасть напою різкого, гіркого "мінерального" присмаку, що повністю зіпсує делікатний аромат меду [10].
Сульфати (SO ₄ ²⁻)	≤ 250 мг/дм ³ (до 500 за певних умов)	Надто висока межа. Концентрації вище 100-150 ppm вже надають воді "гіпсового" присмаку. Оптимальний рівень для меду значно нижчий [7].
Хлориди (Cl ⁻)	≤ 250 мг/дм ³ (до 350 за певних умов)	Надто висока межа. Концентрація 250 мг/дм ³ надає воді вираженого солонуватого присмаку, що є дефектом для медового напою [10].
Залізо (Fe) загальне	≤ 0.2 мг/дм ³ (до 1.0 за певних умов)	Критичний показник. Навіть 0.2 мг/дм ³ може спричинити металевий присмак, помутніння та прискорити окислення напою. Технологічна вимога – якомога ближче до 0.
Хлор (Cl) залишковий вільний	0.3 – 0.5 мг/дм ³ (для водогонів)	Абсолютно неприйнятно. Хлор є токсичним для дріжджів. Він блокує ферментативну активність і при взаємодії з фенолами меду утворює хлорфеноли (дефектний "медичний" запах). Оптимум – 0.

Загальні коліформи, E.coli	Відсутність у 100 см ³	Повна відповідність. Ця вимога є однаково суворою як для санітарії, так і для технології, оскільки бактеріальне зараження знищить ферментацію.
-------------------------------	--------------------------------------	---

Як демонструє аналіз (Таблиця 1.2), ДСанПіН 2.2.4-171-10 регулює показники у діапазонах, що гарантують безпеку для *споживання людиною*, але ці діапазони є надто широкими і часто неприйнятними для *технології* ферментації [8]. Наявність залишкового хлору, дозволена санітарними нормами для знезараження [17, 21], є прямим інгібітором дріжджової культури. Високі рівні жорсткості та мінералізації (хлориди, сульфати), що є допустимими [18, 19, 20], незворотно псують делікатний органолептичний профіль медового напою.

Отже, для крафтового медовара використання води "як є" (навіть з артезіанської свердловини чи сертифікованого водогону) несе величезні технологічні ризики. Це обґрунтовує необхідність розробки спеціалізованої системи водопідготовки, яка б не просто "очищувала" воду до норм ДСанПіН, а цілеспрямовано формувала її хімічний профіль відповідно до специфічних потреб медоваріння.

1.3. Вплив ключових фізико-хімічних параметрів води на ферментацію медового сусла

Як було встановлено, технологічна роль води у медоварінні фундаментально відрізняється від її ролі у пивоварінні. Оскільки етап ферментативного гідролізу крохмалю (затирання) відсутній, вплив іонного складу води зміщується з оптимізації роботи ферментів солоду на пряме забезпечення метаболічних потреб дріжджової культури та підтримання стабільності рН у бідному на нутрієнти середовищі [2, 7]. Розглянемо вплив кожного ключового параметра більш детально.

Вплив рН та лужності (бікарбонатів) є, можливо, найбільш критичним контрольним параметром у медоварінні. Оптимальний діапазон рН для більшості штамів *Saccharomyces cerevisiae* у виноробстві та медоварінні лежить у межах 3.7–4.6 [5, 15]. Сам по собі мед є кислотним продуктом (середній рН 3.9), однак медове сусло, на відміну від пивного (яке буферизується фосфатами та білками солоду [7]), має вкрай низьку буферну ємність [3, 16]. Це означає, що воно практично не здатне протистояти змінам кислотності.

У процесі ферментації дріжджі активно продукують органічні кислоти (зокрема, оцтову, бурштинову, молочну) як побічні продукти метаболізму глюкози та фруктози [36]. Це призводить до неконтрольованого і стрімкого

					Огляд літератури	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

падіння рН сусла. Якщо початкова вода, використана для приготування сусла, також має низьку буферну ємність (наприклад, вода після зворотного осмосу, дистильована або дуже м'яка джерельна вода), рН може впасти нижче критичного порогу 3.5 і навіть до 3.0 [15, 16]. Такий "кислотний шок" є згубним для дріжджів: він пошкоджує клітинні мембрани, порушує градієнт протонів та блокує транспортні системи поживних речовин всередину клітини [5, 36]. Наслідком є уповільнення метаболізму, утворення небажаних побічних продуктів (зокрема, сірководню H_2S , що дає запах тухлих яєць) та, зрештою, передчасна зупинка ферментації [2, 15].

Саме тут ключову роль відіграє лужність води, яка представлена переважно бікарбонат-іонами (HCO_3^-). Виступаючи в ролі буфера, бікарбонати нейтралізують частину кислот, що продукуються дріжджами, за реакцією $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ [22]. Це запобігає стрімкому падінню рН, утримуючи його у сприятливому для ферментації діапазоні. Таким чином, на відміну від пивоваріння (особливо світлих сортів), де висока лужність є небажаною, оскільки підвищує рН затору [7], у медоварінні помірний рівень лужності (орієнтовно 50-100 мг/дм³ у перерахунку на CaCO_3) є технологічно необхідним для забезпечення стабільного та повного зброджування [2, 5].

Іони жорсткості Кальцій (Ca^{2+}) та Магній (Mg^{2+}) відіграють подвійну роль, виступаючи як необхідні нутрієнти для дріжджів. Їхні функції принципово різні, що деталізовано у таблиці 1.3.

Магній (Mg^{2+}) є, можливо, найважливішим мінералом, який вода повинна постачати у медове сусло. Мед практично не містить магнію [3, 4], тоді як цей іон є критичним кофактором для десятків ферментативних реакцій у дріжджовій клітині. Він активує ключові ферменти гліколізу (як-от гексокіназу та фосфофруктокіназу) та алкогольдегідрогеназу, яка безпосередньо відповідає за утворення етанолу [14, 23]. Дослідження Г. Стюарта (G. G. Stewart) чітко показують, що іони магнію також захищають дріжджі від стресових факторів, таких як висока осмолярність (високий вміст цукру в суслі) та токсичний вплив етанолу [23]. Дефіцит магнію у суслі є однією з головних причин уповільненої або зупиненої ферментації [2]. Вода, таким чином, стає головним джерелом цього життєво необхідного елемента, з рекомендованою цільовою концентрацією у медовому суслі не менше 10-20 мг/дм³ [2, 14].

Кальцій (Ca^{2+}), хоча і менш критичний для метаболізму, ніж магній, також є важливим нутрієнтом. Він відіграє структурну роль у підтримці цілісності клітинних стінок дріжджів та захищає їх від токсичного впливу етанолу [12]. Однак, його головна технологічна функція у медоварінні проявляється на фінальних стадіях – кальцій сприяє флокуляції дріжджів. Іони Ca^{2+} діють як "містки", нейтралізуючи негативний заряд дріжджових клітин і змушуючи їх

злипатися та швидше осідати після завершення бродіння [7]. Це значно полегшує зняття напою з осаду та сприяє його природному освітленню і формуванню прозорості. Рекомендований рівень кальцію – близько 40-50 мг/дм³ [2].

Таблиця 1.3.

Порівняльна технологічна роль Ca^{2+} та Mg^{2+} у медоварінні

Іон	Технологічна функція	Вплив на процес	Рекомендований рівень [2, 7, 23]
Магній (Mg^{2+})	Метаболічний активатор (нутриєнт)	Критично важливий для ферментів гліколізу. Захищає від осмотичного та етанолового стресу. Запобігає зупинці ферментації.	10 – 30 мг/дм ³
Кальцій (Ca^{2+})	Структурний елемент (освітлювач)	Підтримує структуру клітинної стінки. Сприяє флокуляції (осіданню) дріжджів, покращуючи прозорість напою.	40 – 75 мг/дм ³

Вплив "смакових" іонів: Сульфати (SO_4^{2-}) та Хлориди (Cl^-) має менший прямий вплив на метаболізм дріжджів, але кардинально впливає на кінцевий органолептичний профіль напою [7, 10]. Співвідношення сульфатів до хлоридів (Sulfate-to-Chloride Ratio) є класичним інструментом пивоварів для акцентування смаку [7].

Сульфати (SO_4^{2-}) у пивоварінні традиційно використовуються для посилення сприйняття хмелевої гіркоти та надання напою "сухого", освіжаючого профілю (як в англійських пейл-елях) [7, 11]. Однак у медоварінні, де домінує делікатний квітковий або фруктовий аромат меду, високий вміст сульфатів є небажаним. Концентрації вище 100 мг/дм³ можуть створювати різкий, "мінеральний" або "гіпсовий" присмак, який маскує тонкі ароматичні сполуки меду та робить смак пласким і грубим [5, 10].

Хлориди (Cl^-), навпаки, у пивоварінні асоціюються з посиленням "тіла" напою, відчуттям повноти та підкресленням солодової солодкості [7, 13]. Цей ефект є дуже бажаним у медоварінні. Хлориди допомагають "округлити" смак, збалансувати природну кислотність напою та зробити медовий характер більш повним і м'яким [10]. Водночас, їх надлишок (особливо у поєднанні з натрієм) може призвести до появи солонуватого присмаку [7].

Таким чином, для медоваріння, на відміну від багатьох стилів пива, технологічно обґрунтованим є водний профіль, що має низький вміст сульфатів

					Огляд літератури	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

та помірно підвищений вміст хлоридів (орієнтовне співвідношення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- < 1.0$, в ідеалі 0.5–0.8).

1.4. Інгібітори ферментації та небажані компоненти у воді для медоваріння

Якщо попередній аналіз був зосереджений на позитивних аспектах мінерального складу, зокрема на підтримці дріжджів кальцієм та магнієм, то цей етап присвячений антагоністам ферментації. Ми переходимо до ідентифікації та обґрунтування необхідності повного видалення речовин, що виступають прямими інгібіторами або джерелами органолептичних дефектів. Адже технологічна придатність води нівелюється, якщо вона, навіть будучи ідеально збалансованою за корисними мінералами, містить слідові кількості дезінфектантів або певних металів.

Хлор (Cl_2) та Хлораміни (NH_2Cl) є найбільш поширеною та небезпечною групою інгібіторів у муніципальній воді є залишкові дезінфектанти – вільний хлор та, все частіше, більш стабільні хлораміни [17, 21]. Їхня присутність у водопровідній воді регламентується ДСанПіН 2.2.4-171-10 для забезпечення мікробіологічної безпеки, але є абсолютно неприйнятною для ферментації [8].

По-перше, хлор є потужним окислювачем і біоцидом. Його наявність у суслі, навіть у концентраціях, дозволених ДСанПіН (0.3–0.5 мг/дм³), чинить токсичний тиск на дріжджову культуру *Saccharomyces cerevisiae*, пошкоджуючи клітинні мембрани та блокуючи ферментативну активність, що призводить до уповільненої, "рваної" або повністю зупиненої ферментації [24, 25].

По-друге, хлор є джерелом одного з найгірших органолептичних дефектів у напоях – хлорфенолів. Вступаючи в реакцію з фенольними сполуками, які завжди присутні у натуральному меді, хлор утворює 2,6-дихлорфенол та інші похідні. Ці сполуки мають надзвичайно низький поріг сприйняття (вимірюється у частках на мільярд, ppb) і надають напою стійкого, неприємного "аптечного", "медичного" або "пластикового" присмаку, який неможливо усунути подальшою обробкою [26].

Критичною технологічною проблемою є різниця між хлором та хлорамінами. Якщо вільний хлор є летким і може бути частково видалений простим відстоюванням або кип'ятінням, то хлораміни (які муніципалітети використовують через їхню стабільність у трубопроводах) є набагато більш стійкими сполуками і цими методами не видаляються [24]. Єдиним надійним способом їх повного усунення є хімічна нейтралізація (наприклад, метабісульфітом калію, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) або фільтрація через високоякісне активоване

вугілля, причому для хлорамінів необхідне вугілля з каталітичними властивостями (каталітичне вугілля) або значно довший час контакту [27, 37].

Залізо (Fe) та марганець (Mn) є поширеними забруднювачами артезіанських вод та старих систем водопостачання [29]. Незважаючи на те, що ДСанПіН допускає вміст заліза до 0.2 мг/дм³ [8], для медоваріння ця концентрація вже є ризикованою.

Залізо та марганець, перш за все, надають напою вираженого, жорсткого "металевого" або "кров'яного" присмаку, який маскує делікатні медові тони. Крім прямого впливу на смак, ці метали є потужними каталізаторами окислювальних процесів. Їхня присутність у готовому напої різко знижує його стабільність при зберіганні, ініціюючи реакції типу Фентона, що генерують високоактивні вільні радикали [28, 38]. Ці радикали прискорюють деградацію ароматичних сполук та поліфенолів, призводячи до появи "старих", картонних тонів (ознаки окислення) та втрати кольору [28]. Крім того, при зміні рН та окислювально-відновного потенціалу під час ферментації, розчинене залізо (Fe²⁺) може окислюватись до (Fe³⁺) і утворювати колоїдні гідроксида, що призводить до появи стійкого помутніння, яке важко видалити [29].

Натрій зазвичай не є проблемою у природних водах, але його концентрація може бути штучно і значно підвищена при використанні побутових іонообмінних пом'якшувачів. Ці пристрої широко використовуються для боротьби з накипом, однак їхній принцип дії полягає у заміщенні "жорстких" іонів кальцію (Ca²⁺) та магнію (Mg²⁺) на "м'який" іон натрію (Na⁺) [30].

З технологічної точки зору, такий обмін є вкрай небажаним, що ілюструє таблиця 1.4.

Таблиця 1.4.

Вплив побутового пом'якшення води на її придатність для медоваріння

Тип води	Ключові іони	Вплив на медоваріння	Придатність
Вихідна жорстка вода	Високі Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻	Може мати занадто високу жорсткість (гіркота) або лужність (проблеми з рН).	Низька / Ситуативна
Вода після Na ⁺ -пом'якшувача [30, 31]	Низькі Ca ²⁺ , Mg ²⁺ . Високий Na ⁺ . Висока HCO ₃ ⁻ .	Критичний дефіцит Mg ²⁺ та Ca ²⁺ (зупинка ферментації). Надлишок Na ⁺ (солоний присмак). Лужність залишається високою.	Непридатна

Вода після RO (зворотного осмосу) [33, 34]	Дуже низькі Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , HCO_3^{-} .	"Чистий аркуш". Вимагає ремінералізації для додавання <i>потрібних</i> іонів (Ca^{2+} , Mg^{2+}) та буферності (HCO_3^{-}).	Ідеальна основа
--	--	--	-----------------

Використання води, що пройшла через побутові натрій-катіонітові пом'якшувачі, у медоварінні категорично не рекомендується, оскільки вона одночасно створює дефіцит нутрієнтів (Ca, Mg) і надлишок смакового забруднювача (Na) [31].

1.5. Сучасні технології водопідготовки у крафтовому виробництві

Аналіз попередніх підрозділів доводить, що вода з муніципальних водогонів або артезіанських свердловин (навіть та, що відповідає ДСанПіН 2.2.4-171-10 [8]) у переважній більшості випадків є технологічно непридатною для виробництва високоякісних медових напоїв. Вона одночасно містить як інгібітори ферментації (хлор, хлораміни), так і небажані смакові компоненти (надлишок заліза, сульфатів, натрію) [28, 29, 31], при цьому часто маючи невідповідний рівень необхідних нутрієнтів (магнію) та буферності (лужності) [14, 22].

Вирішення цього комплексного завдання вимагає багатоступеневої системи водопідготовки, яка не просто "очищує" воду, а "формує" її хімічний склад. Сучасний підхід у крафтовому виробництві базується на двох ключових етапах: глибока демінералізація та контрольована ремінералізація [10, 32].

Етап 1. Очищення та демінералізація

Першим і обов'язковим кроком є видалення всіх небажаних домішок. Для цього застосовують комбінацію методів. Попередня механічна фільтрація (зазвичай 5-10 мкм) видаляє зважені частки (іржу, пісок, мул). Наступним критично важливим етапом є сорбція на активованому вугіллі. Вугільні фільтри (особливо з гранульованого вугілля, GAC, або карбон-блоки, CBC) ефективно адсорбують вільний хлор та, що особливо важливо, каталітично руйнують стабільні хлораміни, повністю усуваючи ризик інгібування дріжджів та утворення хлорфенольних дефектів смаку [24, 27, 37].

Однак, вугільна фільтрація не видаляє розчинені солі (жорсткість, сульфати, хлориди), важкі метали та нітрати. Тому для повного контролю над процесом у світовій практиці крафтових напоїв (пива, сидру, меду) золотим стандартом стала технологія зворотного осмосу (RO) [10, 13, 32].

Зворотний осмос – це мембранний процес, при якому вода під тиском пропускається через напівпроникну мембрану з розміром пор на ангстремному

					Огляд літератури	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

рівні - близько 0.0001 мікрона. Мембрана затримує 95-99% всіх розчинених речовин: іони жорсткості (Ca^{2+} , Mg^{2+}), сульфати, хлориди, натрій, важкі метали (залізо, марганець), а також бактерії та віруси [33, 34]. На виході технолог отримує практично дистильовану, демінералізовану воду (пермеат) з загальним солевмістом (TDS) < 10-20 мг/дм³.

Цей підхід відомий як концепція "чистого аркуша" (clean slate) [7, 32]. Він дозволяє повністю нівелювати всі ризики, пов'язані з вихідною водою (сезонні коливання складу, висока жорсткість, забруднення), та отримати стабільну, передбачувану і нейтральну основу для майбутнього напою.

Етап 2. Контрольована ремінералізація

Використання чистої демінералізованої (RO) води "як є" є такою ж технологічною помилкою, як і використання брудної. Як було встановлено у підрозділі 1.3, така вода є "порожньою": вона не містить ані критично важливих для дріжджів нутрієнтів (магнію, кальцію) [14, 23], ані буферних сполук (бікарбонатів) [22]. Ферментація у такій воді буде слабкою і призведе до зупинки через рН-шок [15, 16].

Тому другим, невід'ємним етапом є ремінералізація – цілеспрямоване, контрольоване внесення у RO-воду очищених харчових мінеральних солей для "побудови" ідеального водного профілю, адаптованого до потреб медоваріння [35]. Цей процес дозволяє додати лише необхідні компоненти у точно визначеній концентрації. Для цього використовують солі, наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5.

Основні солі для ремінералізації RO-води у медоварінні

Назва солі (тривіальна)	Хімічна формула	Іони, що додаються	Основна технологічна мета у медоварінні
Сульфат магнію (Сіль Епсома)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mg^{2+} , SO_4^{2-}	Головне джерело Mg^{2+} (нутрієнт для дріжджів). Незначно підвищує сульфати.
Хлорид кальцію	CaCl_2	Ca^{2+} , 2Cl^-	Джерело Ca^{2+} (флокуляція) та Cl^- (повнотілість, "округлість" смаку).
Сульфат кальцію (Гіпс)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Ca^{2+} , SO_4^{2-}	Джерело Ca^{2+} Використовується обмежено, оскільки додає SO_4^{2-} (ризик "мінерального" присмаку).

Бікарбонат натрію (Харчова сода)	NaHCO_3	$\text{Na}^+, \text{HCO}_3^-$	Головне джерело лужності (буферності). Запобігає рН-шоку. Додає Na^+ (контролювати, щоб не було солоності).
Карбонат кальцію (Крейда)	CaCO_3	$\text{Ca}^{2+}, \text{CO}_3^{2-}$	Альтернативне джерело лужності. Важко розчиняється у воді, використовується рідше.
Хлорид магнію	MgCl_2	$\text{Mg}^{2+}, 2\text{Cl}^-$	Альтернативне джерело Mg^{2+} . Одночасно підвищує хлориди (Cl^-) для повнотілості.

Таким чином, комбінація технологій "Зворотний осмос + Ремінералізація" (RO + Remin) надає технологу повний контроль над найважливішим інгредієнтом. Цей підхід перетворює воду з неконтрольованої змінної та джерела ризиків на точний інструмент для створення стабільного та високоякісного ферментованого напою [32, 35].

Висновки до розділу

Проведений аналіз науково-технічної літератури та чинної нормативної бази дозволяє зробити низку узагальнюючих висновків, що обґрунтовують актуальність та напрям подальших досліджень.

Встановлено, що у технології ферментованих медових напоїв вода є не пасивним розчинником, а активним біохімічним середовищем, що становить до 80% об'єму продукту. Її хімічний склад має прямий, але недостатньо вивчений у вітчизняній науці, вплив на метаболізм дріжджів, кінетику ферментації та кінцевий органолептичний профіль напою.

Виявлено фундаментальну технологічну відмінність медоваріння від пивоваріння. Відсутність етапу затирання та бідний на поживні речовини (особливо FAN та мінерали) склад медового сусла зміщує вимоги до води з оптимізації ферментативного гідролізу на забезпечення нутрієнтами та буферизацію середовища. Це доводить некоректність сліпого копіювання пивоварних практик водопідготовки.

Ідентифіковано критичний розрив між санітарно-гігієнічними нормами та технологічними потребами. Чинний в Україні ДСанПіН 2.2.4-171-10 гарантує *безпечність* води, але не її *технологічну оптимальність*. Допустимі нормативами рівні жорсткості, хлоридів, сульфатів та залишкового хлору є

неприйнятними для виробництва якісного медового напою, оскільки призводять до дефектів смаку та інгібування дріжджів.

Систематизовано вплив окремих іонів, що дозволило класифікувати їх на технологічно необхідні та інгібітори. Встановлено, що магній (Mg^{2+}) є критичним кофактором для дріжджів у бідному суслі, кальцій (Ca^{2+}) сприяє флокуляції та прозорості, а бікарбонати (HCO_3^-) виступають необхідним буфером проти "кислотного шоку" та зупинки ферментації. Водночас, хлор/хлораміни, залізо/марганець та надлишковий натрій є прямими інгібіторами та джерелами органолептичних дефектів.

Обґрунтовано, що найбільш перспективним та технологічно гнучким методом підготовки води для крафтового медоваріння є двостадійна технологія. Цей підхід включає глибоку демінералізацію методом зворотного осмосу (RO) для отримання нейтральної "чистої" основи, з подальшою контрольованою ремінералізацією (внесенням солей $MgSO_4$, $CaCl_2$, $NaHCO_3$) для цілеспрямованої "побудови" профілю води.

Проведений огляд літератури чітко показує, що хоча загальні принципи впливу іонів відомі, у науковій літературі, особливо українській, відсутні конкретні, кількісно обґрунтовані рекомендації щодо оптимального водного профілю саме для ферментації медового суслу. Невирішеними залишаються питання щодо ідеальних концентрацій магнію, кальцію та необхідного рівня лужності для запобігання рН-шоку дріжджів при роботі з медом різного типу.

У зв'язку з цим, основними завданнями експериментальної частини цієї магістерської роботи стає дослідження впливу різних концентрацій ключових іонів (Ca^{2+} , Mg^{2+}) та рівня лужності (HCO_3^-) на кінетику ферментації та якісні показники медового напою. Необхідно науково обґрунтувати та визначити оптимальний (цільовий) мінеральний профіль води для виробництва крафтової медовухи.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для досягнення мети магістерської роботи, яка полягає в науковому обґрунтуванні технології водопідготовки, було обрано комплексний методологічний підхід, що поєднує теоретичні та емпіричні дослідження. Вибір об'єктів дослідження здійснювався з урахуванням специфіки крафтового виробництва, де стабільність якісних показників сировини відіграє вирішальну роль, тому в роботі використано стандартизовані методики контролю фізико-хімічних та органолептичних параметрів згідно з чинними нормативними документами [39, 44]. У даному розділі обґрунтовано вибір модельних систем та аналітичних методів, які дозволяють з високою точністю оцінити вплив іонного складу води на кінетику ферментації та кінцеві характеристики готового напою.

2.1. Об'єкти дослідження

Об'єктами дослідження у даній магістерській роботі виступали зразки води різного хімічного складу, ключова сировина для приготування ферментованого напою, а також експериментальні зразки медового сусла та готового напою на різних стадіях технологічного процесу.

У якості основної сировини використовували:

1. Вода питна. Для проведення порівняльних досліджень було обрано два основних типи води. У якості контрольного зразка (далі – "Водопровідна вода") використовували воду з комунального водогону м. Києва, що пройшла попередню механічну та сорбційну (вугільну) фільтрацію на лабораторній установці. У якості нейтральної основи для формування експериментальних водних профілів (далі – "Вода-основа" або "RO-вода") використовували пермеат, отриманий після глибокого очищення тієї ж водопровідної води на комерційній установці зворотного осмосу. Якість очищення RO-води контролювали за загальним солевмістом (TDS), який не перевищував 20 мг/дм³.

2. Мед натуральний. Для забезпечення відтворюваності експериментів використовували уніфікований зразок – мед квітковий (різнотрав'я), що відповідав вимогам ДСТУ 4497:2005 за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

3. Дріжджі. Для забезпечення чистоти ферментації та виключення впливу сторонньої мікрофлори, використовували чисту культуру сухих активних дріжджів (САД) *Saccharomyces cerevisiae*, штам M05 "Mead" (виробництва Mangrove Jack's), який спеціально селекціонований для роботи з медовими суслами та має високу толерантність до низьких рівнів рН та поживних речовин.

					Об'єкти і методи досліджень	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

4. Регулятор кислотності. Згідно з базовою рецептурою, для початкової корекції рН сусла та посилення органолептичного профілю використовували свіжовичавлений лимонний сік.

5. Мінеральні солі. Для формування експериментальних водних профілів (ремінералізації RO-води) використовували хімічно чисті (ХЧ) солі харчової кваліфікації: магнію сульфат гептагідрат ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) , кальцію хлорид дигідрат ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) та натрію гідрокарбонат (NaHCO_3).

Експериментальними зразками слугували медове сусло (до початку ферментації) та готовий ферментований напій (після завершення бродіння та освітлення), приготовані за єдиною стандартизованою методикою, але на основі води з різним, наперед заданим, хімічним складом.

2.2. Методи підготовки експериментальних зразків

Формування цільових водних профілів. Для дослідження впливу окремих іонів на процес ферментації, була застосована методика контрольованої ремінералізації. У якості нейтральної основи ("чистого аркуша") брали RO-воду. Шляхом розчинення точних наважок мінеральних солей MgSO_4 , CaCl_2 , NaHCO_3), попередньо розрахованих за допомогою спеціалізованих калькуляторів, у воді-основі формували цільові профілі з різним вмістом іонів кальцію (Ca^{2+}), магнію (Mg^{2+}) та різним рівнем загальної лужності (в перерахунку на CaCO_3). Це дозволило ізолювати вивчати вплив кожного параметра, що є неможливим при роботі з природною водою.

Приготування медового сусла (Стандартизована методика). Для забезпечення ідентичності умов та виключення сторонніх факторів, усі експериментальні зразки сусла готували за єдиною стандартизованою лабораторною методикою, адаптованою з базової рецептури. Воду з відповідним експериментальним профілем (об'ємом 565 ± 5 мл) нагрівали у лабораторній скляній колбі на водяній бані до температури $55 \pm 5^\circ\text{C}$. Цей температурний режим обрано як оптимальний для ефективного розчинення меду без інтенсивної термічної деградації ароматичних сполук та утворення гідроксиметилфурфуролу (HMF), що неминуче відбувається при кип'ятінні. У підігріту воду вносили точну наважку меду (185 ± 5 г) та ретельно перемішували магнітною мішалкою до повного гомогенного розчинення. Додавали стандартизовану кількість лимонного соку ($\frac{1}{4}$ чайної ложки на об'єм). Сусло витримували при температурі $55 \pm 5^\circ\text{C}$ протягом 10 хвилин з метою пастеризації та пригнічення диких дріжджів та іншої мікрофлори, що могла бути присутня у меді. Негайне (шокове) охолодження сусла до температури $25 \pm 1^\circ\text{C}$ проводили у льодяній бані. Даний температурний режим є критичним для подальшого внесення дріжджової

					Об'єкти і методи досліджень	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

культури, оскільки вищі температури ($>30^{\circ}\text{C}$) можуть спричинити термічний шок та загибель клітин.

Проведення ферментації. Регідратацію сухих активних дріжджів штаму M05 проводили згідно з інструкцією виробника: наважку дріжджів (2.5 г) вносили у 50 мл теплої (30°C) води з додаванням 1 г меду (для активації) та витримували 15 хвилин. Активовану дріжджову суспензію вносили в охолоджене до 25°C сусло. Кожен зразок переливали у стерильну скляну ферментаційну ємність об'ємом 1 л, забезпечуючи достатній вільний простір для піноутворення. Ємності герметично закривали та встановлювали гідравлічний затвор (гідрозатвор) для виведення CO_2 та запобігання контакту сусла з киснем повітря (запобігання аеробному окисненню та контамінації *Acetobacter*). Ферментацію проводили у темному місці при стабільному температурному режимі $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, який підтримували у термостатованій шафі.

2.3. Методи контролю процесу ферментації

Контроль за динамікою ферментації проводили щоденно. Кінетику бродіння оцінювали за зміною густини сусла, яку вимірювали за допомогою цифрового рефрактометра (з автоматичною температурною компенсацією) та виражали у градусах Брікс ($^{\circ}\text{Bx}$), що відображає масову частку сухих речовин (переважно цукрів). Активність ферментації також контролювали візуально за інтенсивністю виділення вуглекислого газу (CO_2) через гідрозатвор.

Критично важливим показником був контроль динаміки рН. Оскільки однією з ключових гіпотез роботи є запобігання "кислотному шоку" дріжджів за рахунок буферної ємності води, проводили посилений моніторинг рН. Вимірювання проводили у вихідній воді, у суслі одразу після приготування (до внесення дріжджів) та з 12-годинним інтервалом протягом перших 72 годин активної ферментації (період найінтенсивнішого падіння рН), а надалі – один раз на добу. Вимірювання проводили за допомогою лабораторного рН-метра (Hanna Instruments HI 2211), попередньо каліброваного за трьома стандартними буферними розчинами (рН 4.01, 7.01 та 10.01).

Ферментацію вважали завершеною, коли показники густини сусла залишалися незмінними ($\pm 0.2^{\circ}\text{Bx}$) протягом трьох діб поспіль, а видиме газовиділення у гідрозатворі припинялося.

2.4. Методи аналізу сировини та готових напоїв

Для характеристики вихідних зразків води, а також для оцінки якості готових ферментованих напоїв, використовували комплекс стандартних фізико-хімічних та органолептичних методів, що відповідають чинним державним стандартам України (ДСТУ) та міжнародним аналітичним практикам.

Фізико-хімічні методи аналізу води та напоїв:

1. Визначення рН (водневий показник) проводили потенціометричним методом згідно з ДСТУ ISO 10523:2014 [39].
2. Визначення загальної лужності (вмісту гідрокарбонатів) проводили титриметричним методом прямого титрування 0.1 N розчином соляної кислоти (HCl) до досягнення кінцевої точки (рН 4.5), з індикатором метилоранж, згідно з ДСТУ ISO 9963-1:2001 [40].
3. Визначення загальної жорсткості проводили комплексонометричним методом, який базується на титруванні 0.05 N розчином етилендіамінтетраоцтової кислоти (ЕДТА, Трилон Б) у лужному буферному розчині (рН 10 ± 0.1) з індикатором еріохром чорний Т до чіткого переходу забарвлення з винно-червоного на синій, згідно з ДСТУ ISO 6059:2003 [41].
4. Визначення вмісту іонів кальцію (Ca^{2+}) проводили окремим комплексонометричним титруванням ЕДТА при рН > 12 (створеному додаванням NaOH) з індикатором мурексид до переходу забарвлення з рожевого на фіолетовий.
5. Визначення вмісту іонів магнію (Mg^{2+}) розраховували за різницею між загальною жорсткістю та жорсткістю, зумовленою кальцієм, з перерахунком на мг/дм³.
6. Визначення вмісту хлоридів (Cl^-) проводили аргентометричним методом Мора, який полягає у титруванні 0.1 N розчином нітрату срібла (AgNO_3) з індикатором хромату калію (K_2CrO_4) до появи цегляно-червоного осаду хромату срібла, згідно з ДСТУ ISO 9297:2007 [42].
7. Визначення вмісту сульфатів (SO_4^{2-}) проводили турбідиметричним (нефелометричним) методом, що базується на реакції осадження сульфат-іонів у вигляді сульфату барію (BaSO_4) у кислому середовищі та подальшому вимірюванні інтенсивності помутніння на фотоелектроколориметрі (фотометрі) при довжині хвилі 420 нм.
8. Загальний вміст розчинених твердих речовин (TDS) оперативно оцінювали за допомогою портативного кондуктометра (TDS-метра), каліброваного за розчином NaCl.

Органолептичні методи аналізу готового напою:

					Об'єкти і методи досліджень	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Оцінку готових, освітлених зразків напою (після 8-денної холодної стабілізації при 4°C) проводили методом сенсорного профілювання згідно з ДСТУ 4802:2007 [44]. Оцінювали ключові дескриптори: прозорість (наявність помутніння, осаду чи опалесценції), колір (інтенсивність та відтінок), аромат (чистота медового/фруктового профілю, інтенсивність, наявність сторонніх тонів – сірчистих, фенольних, оцтових) та смак (баланс кислоти/солодкості, повнотілість, наявність дефектів – металевого, солоного, гіркого присмаку, різкості).

Висновки за розділом

У ході виконання цього розділу було сформовано комплексну програму досліджень, спрямовану на вивчення впливу іонного складу води на технологічні параметри виробництва медових напоїв. В якості основного методу моделювання водних профілів обрано ремінералізацію глибоко знесоленої води (пермеату зворотного осмосу) хімічно чистими солями, що дозволяє виключити вплив сторонніх домішок і забезпечити високу відтворюваність експериментів. Для проведення досліджень було відібрано стандартизовані об'єкти, зокрема квітковий мед, що відповідає вимогам ДСТУ 4497:2005, та спеціалізовану культуру дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* штаму M05, адаптовану до складних умов ферментації.

Обґрунтовано вибір фізико-хімічних методів аналізу, які базуються на чинній нормативній документації, зокрема визначення водневого показника проводилося потенціометричним методом згідно з ДСТУ ISO 10523:2014 [39], а загальної жорсткості та лужності - титриметричними методами відповідно до ДСТУ ISO 6059:2003 [41] та ДСТУ ISO 9963-1:2001 [40]. Для комплексної оцінки якості готового продукту передбачено використання методу сенсорного профілювання згідно з ДСТУ 4802:2007 [44], що дозволяє встановити кореляцію між хімічним складом води та органолептичними характеристиками напою. Обраний методологічний підхід забезпечує отримання достовірних даних для подальшого наукового обґрунтування технології водопідготовки.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Експериментальна частина даної магістерської роботи присвячена дослідженню впливу хімічного складу води на технологічні параметри процесу ферментації медового сусла, а також на органолептичні та фізико-хімічні показники готового напою. Завдання даного розділу полягає у представленні, аналізі та обговоренні отриманих експериментальних даних.

3.1. Обговорення експериментальних досліджень впливу водного профілю на ферментацію медового сусла

Характеристика вихідних об'єктів дослідження:

Першочерговим завданням, згідно з методикою досліджень, описаною у Розділі 2, є детальний аналіз та характеристика вихідних об'єктів, що слугували сировинною базою для постановки експериментів.

У якості контрольного зразка було обрано воду з централізованого комунального водогону м. Києва (джерело забору – міський бювет). Пробу було відібрано та проаналізовано.

Для отримання нейтральної основи ("чистого аркуша") та виключення впливу цих факторів, водопровідну воду було піддано глибокому очищенню на лабораторній установці зворотного осмосу (RO). Характеристика отриманого пермеату (далі – "Вода-основа") представлена у таблиці 3.2, на основі твоїх наданих даних.

Таблиця 3.1.

Характеристика води після зворотного осмосу.

Показник	Одиниця вимірювання	Результат аналізу
Водневий показник (pH)	од. pH	6.8
Загальна жорсткість	ммоль/дм ³	0.1
Сухий залишок (TDS)	мг/дм ³	15.0
Залізо загальне	мг/дм ³	0.005

Аналіз даних (табл. 3.1) підтверджує високу ефективність мембранного очищення. Рівень демінералізації за сухим залишком (TDS) склав 94.3% (зниження з 265 до 15 мг/дм³). Отримана вода має нейтральний pH, практично повну відсутність іонів жорсткості та заліза. Це підтверджує її придатність як ідеальної нейтральної основи для експериментів з контрольованої ремінералізації.

У якості основного джерела цукрів було обрано мед квітковий (різнотрав'я). Аналіз зразка меду (таблиця 3.2) показав відповідність ключовим показникам якості.

Таблиця 3.2.

Фізико-хімічні показники меду квіткового

Показник	Одиниця вимірювання	Результат аналізу	Норматив (ДСТУ 4497:2005)
Масова частка води	%	17.2	≤ 19.0
pH (10% водний розчин)	од. pH	3.9	3,5-4,1

Обраний зразок меду має високий вміст сухих речовин (вологість 17.2%) та відповідає вимогам 1-го ґатунку за ДСТУ 4497:2005. Важливим показником є природний pH (3.9). Це свідчить про високу початкову кислотність медового сусла та обґрунтовує необхідність використання води з контрольованою буферною ємністю.

Дослідження впливу лужності (HCO_3^-) на динаміку pH та кінетику ферментації:

Обґрунтування експерименту. Як було теоретично встановлено у Розділі 1, однією з головних технологічних проблем медоваріння є низька буферна ємність медового сусла [3, 16]. Це створює ризик неконтрольованого падіння pH внаслідок виділення дріжджами органічних кислот, що призводить до "кислотного шоку" та зупинки ферментації [5, 15].

Метою даного експерименту було визначити оптимальний рівень початкової лужності води, необхідний для стабілізації pH у сприятливому для дріжджів діапазоні.

Методика. Згідно з методикою, описаною у 2.2, було підготовлено чотири серії експериментальних зразків медового сусла. У якості основи використовували RO-воду (характеристики у табл. 3.2), до якої були внесені нутрієнти (Ca^{2+} та Mg^{2+}) у фіксованій концентрації. Змінним фактором (X1) був рівень лужності, який формували внесенням розрахованої кількості NaHCO_3 . Було сформовано зразки з рівнем лужності 0, 50, 100 та 150 мг/дм³ (в перерахунку на CaCO_3). Усі зразки були засіяні однаковою кількістю активованих дріжджів (M05) та ферментовані при $22 \pm 2^\circ\text{C}$.

Результати моніторингу водневого показника (pH) в процесі активної ферментації фіксувалися щоденно та наведені на Рис. 3.3.

Динаміка рН медового сусла при різному рівні лужності води

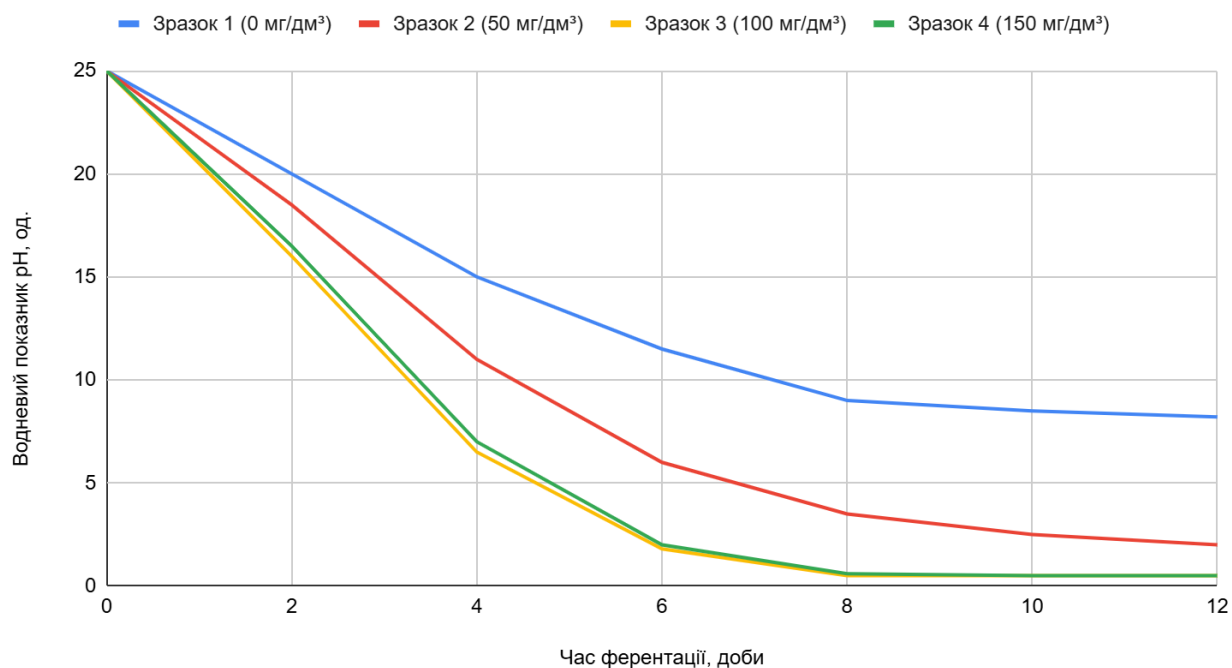


Рисунок 3.1 – Динаміка рН медового сусла при різному рівні лужності води

Аналіз отриманих даних (Рис. 3.3) чітко демонструє критичний вплив буферної ємності води. Початковий рН усіх зразків склав 3.7 од. (що зумовлено внесенням лимонного соку згідно з рецептурою), однак їхня подальша поведінка кардинально різниться.

Контрольний зразок (0 мг/дм³) та Зразок 2 (50 мг/дм³), не маючи достатнього буфера, показали помітне зниження рН – до 3.4-3.5 од. Це значення знаходиться на межі фізіологічного стресу для дріжджів *S. cerevisiae*, особливо в умовах високого осмотичного тиску (високого вмісту цукрів) [5, 15].

Натомість Зразок 3 (100 мг/дм³ - Оптимум): Крива стає крутішою. На 6-ту добу густина вже низька, а на 8-му (близько до 7.6) виходить на стабільний мінімум (0.5 °Вх). Далі — пряма лінія.

Оцінка ефективності процесу базувалася на порівнянні швидкості падіння густини сусла та досягненні кінцевої точки ферментації. Технологічною метою було отримання повністю збродженого напою категорії «сухий». Критерієм успішного завершення процесу вважали досягнення залишкової густини в межах 0.1–1.0 °Вх. Будь-яке значення, що суттєво перевищує цей поріг (наприклад, > 3-4 °Вх) після припинення активного газовиділення, інтерпретували як «зупинку ферментації» (stuck fermentation), що є технологічним дефектом для даного типу напою.

Кінетика зброджування медового сусла (зміна густини, °Вх) при різному рівні початкової лужності

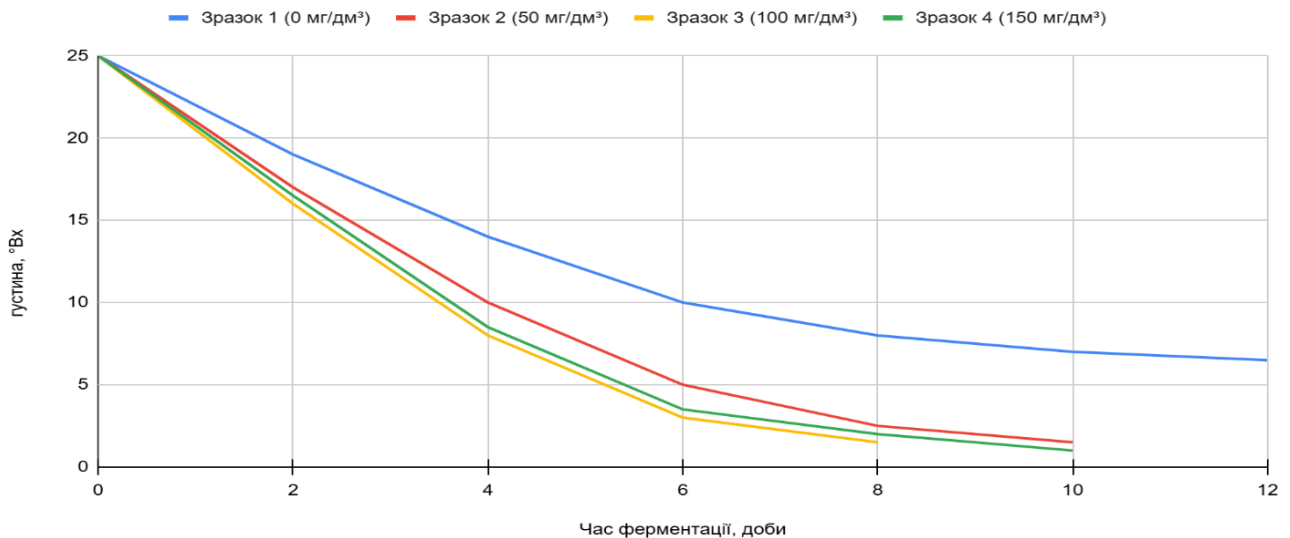


Рисунок 3.2 Кінетика зброджування медового сусла (зміна густини, °Вх) при різному рівні початкової лужності

Контрольний зразок (0 мг/дм³), незважаючи на активний старт (зниження до 10 °Вх), різко уповільнив ферментацію після 6-ї доби, що корелює з падінням рН до критичного рівня 3.4. В результаті, ферментація зупинилася на 12-ту добу при високій залишковій густині 6.5 °Вх. Це класичний приклад зупинки ферментації через кислотний шок у небуферизованому середовищі.

Однак Зразок 2 (50 мг/дм³), попри падіння рН до 3.5, все ж зумів завершити ферментацію, досягнувши кінцевої густини 1.0 °Вх. Це свідчить про те, що дріжджі працювали на межі стресу, але невеликий рівень лужності вже виявився значно кращим, ніж її повна відсутність.

Зразки 3 та 4 (100 та 150 мг/дм³), що працювали у стабільному комфортному рН, показали найшвидшу та найповнішу ферментацію, досягнувши кінцевої густини 0.2–0.5 °Вх (що відповідає сухому напою) за 10-12 діб.

Експериментально доведено, що початкова лужність води є критичним фактором для успішної ферментації медового сусла. Використання демінералізованої (RO) води без корекції буферної ємності призводить до падіння рН до стресових значень (3.4 од.) та, як наслідок, до зупинки ферментації та отримання бракованого, напівсолодкого продукту (6.5 °Вх). Встановлено, що для даних умов оптимальний рівень лужності, що гарантує стабільний рН (3.7-3.8 од.) та повне зброджування цукрів, знаходиться у діапазоні 100-150 мг/дм³ (в перерахунку на CaCO₃). Оскільки зразок 100 мг/дм³ показав найповніше зброджування (до 0.2 °Вх), цей рівень приймається як технологічно необхідний та достатній для подальших експериментів

Дослідження впливу іонів Магнію (Mg^{2+}) на швидкість та повноту зброджування:

Обґрунтування експерименту.

Після вирішення проблеми кислотного шоку шляхом оптимізації буферної ємності води наступним завданням є усунення дефіциту поживних речовин. Як було теоретично встановлено у Розділі 1, медове сусло є бідним на мінерали, а магній (Mg^{2+}) є життєво важливим фактором для десятків ферментативних реакцій у дріжджовій клітині, зокрема для ферментів гліколізу та захисту від стресу [14, 23].

Метою даного експерименту було кількісно підтвердити гіпотезу, що магній є лімітуючим фактором, та визначити оптимальну концентрацію іонів Mg^{2+} у воді для забезпечення швидкої та повної ферментації.

Методика.

Було підготовлено чотири серії експериментальних зразків сусла. У якості основи використовували RO-воду, якій надали оптимальну лужність 100 мг/дм³ (в перерахунку на $CaCO_3$, згідно з висновками 3.1.2).

Змінним фактором (X_2) була концентрація іонів Mg^{2+} . У якості джерела магнію використовували сіль Магній сірчаноокислий семиводний ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$, кваліфікація «ЧДА» (чистий для аналізу) або харчова добавка E518). Вибір саме цієї сполуки обґрунтований її високою розчинністю та стабільністю.

Насичення води проводили методом попереднього розчинення: розраховану наважку кристалічної солі (відповідно до молярної маси для отримання концентрацій 10, 25 та 38 мг/дм³ по чистому Mg^{2+}) розчиняли у невеликому об'ємі (200-300 мл) підігрітої RO-води. Отриманий концентрований розчин вносили у загальний об'єм підготовленої води при інтенсивному перемішуванні для забезпечення повної гомогенізації іонів перед внесенням меду. Досліджували наступні зразки:

- Зразок 1 (Контроль): 0 мг/дм³ Mg^{2+} (без внесення солі);
- Зразок 2: 10 мг/дм³ Mg^{2+} ;
- Зразок 3: 25 мг/дм³ Mg^{2+} ;
- Зразок 4: 38 мг/дм³ Mg^{2+} .

Усі зразки ферментували за стандартизованою методикою (розділ 2.2) при $22 \pm 2^\circ C$.

Результати та обговорення.

Результати щоденного моніторингу кінетики ферментації (за зміною густини сусла, °Bx) представлено на Рис. 3.3:

Кінетика зброджування медового сусла (густина °Вх) при різних концентрації Mg^{2+}

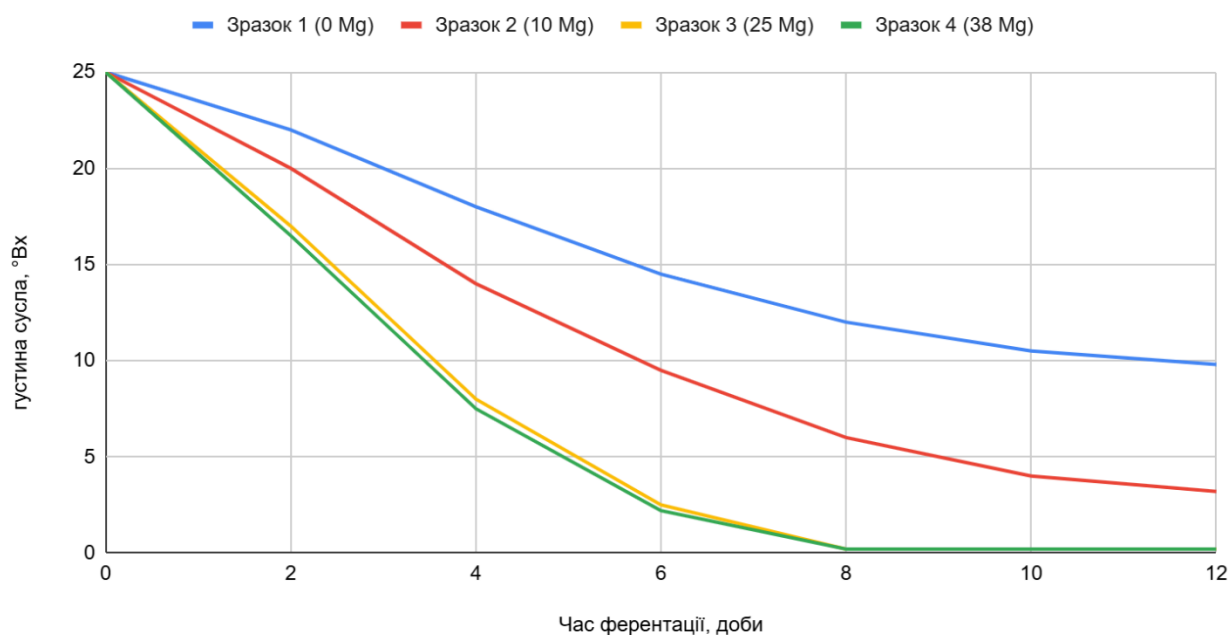


Рисунок 3.3 – Кінетика зброджування медового сусла при різних концентрації Mg^{2+}

Зразок 1 (0 мг/дм³ Mg^{2+}), незважаючи на ідеально стабілізований рН (завдяки буферу 100 мг/дм³), продемонстрував дуже мляву ферментацію. Процес різко уповільнився після 6-ї доби і практично зупинився на 12-ту добу при високій залишковій густині 7.5 °Вх. Це є прямим доказом того, що магній є лімітуючим фактором – без цього кофактора дріжджові клітини не можуть ефективно метаболізувати цукри, навіть перебуваючи у комфортному діапазоні рН [23].

Зразок 2 (10 мг/дм³ Mg^{2+}) показав значно кращий, але все ще не оптимальний результат. Швидкість бродіння була суттєво вищою, ніж у контролі, але ферментація протікала повільно і на 12-ту добу ще не досягла повного виброджування (залишкова густина 1.5 °Вх). Це свідчить, що концентрації 10 мг/дм³ недостатньо для повноцінної роботи дріжджів у високоцукровому середовищі.

Натомість Зразки 3 та 4 (25 та 38 мг/дм³ Mg^{2+}) продемонстрували найкращу кінетику. Дріжджі, отримавши достатню кількість цього кофактора, активно працювали протягом усього циклу. Зразок 4 (38 мг/дм³) показав найвищу швидкість на початковому етапі (на 4-ту добу густина склала всього 6.0 °Вх). Обидва зразки досягли повної сухості (0.1–0.2 °Вх) вже на 7-8 добу, що свідчить про повне та ефективне зброджування.

Експериментально доведено, що іони магнію є критичним нутрієнтом для ферментації медового сусла, і вода є їхнім головним джерелом. Відсутність

магнію у воді призводить до неповної ферментації та зупинки бродіння, навіть за ідеальних умов рН.

Оптимальною концентрацією Mg^{2+} , що забезпечує швидке та повне зброджування цукрів (до 0.1-0.2 °Вх), визначено діапазон 25–38 мг/дм³. Оскільки зразок 25 мг/дм³ показав повне зброджування і високу швидкість, цей рівень приймається як технологічно необхідний та достатній для подальших експериментів.

Дослідження впливу іонів кальцію (Ca^{2+}) на освітлення та стабільність напою:

На відміну від магнію, який виступає метаболічним активатором, іони кальцію (Ca^{2+}) виконують переважно структурну та фізико-хімічну роль. Як було встановлено в огляді літератури, кальцій є важливим для підтримки цілісності клітинних стінок дріжджів та, що найважливіше, виступає ключовим фактором флокуляції [7, 12]. Іони Ca^{2+} діють як електростатичні "містки", нейтралізуючи негативний заряд дріжджових клітин, що змушує їх агрегувати (злипатися) та швидше осідати після завершення ферментації.

Метою даного експерименту було візуально та інструментально оцінити вплив різних концентрацій кальцію у воді на здатність медового напою до природного освітлення (автофлокуляції).

Методика: було підготовлено чотири серії експериментальних зразків суслу. У якості основи використовували "оптимізовану" РО-воду з попередніх дослідів, яка містила: Лужність 100 мг/дм³ (за $CaCO_3$) та Магній 25 мг/дм³. Змінним фактором (ХЗ) була концентрація іонів Ca^{2+} , яку формували внесенням розрахованої кількості $CaCl_2$. Досліджували наступні зразки:

- Зразок 1 (Контроль): 0 мг/дм³ Ca^{2+} ;
- Зразок 2: 25 мг/дм³ Ca^{2+} ;
- Зразок 3: 100 мг/дм³ Ca^{2+} ;
- Зразок 4: 130 мг/дм³ Ca^{2+} .

Після завершення ферментації (12-14 діб), усі зразки були поміщені в однакові умови на холодне дозрівання при 4°C на 5 діб для сприяння осадженню. Після цього проводили візуальну та оціночну інструментальну оцінку прозорості.

Результати оцінки прозорості готових напоїв представлено на Рис. 3.4.

Вплив початкової концентрації Ca^{2+} у воді на прозорість ферментованого напою

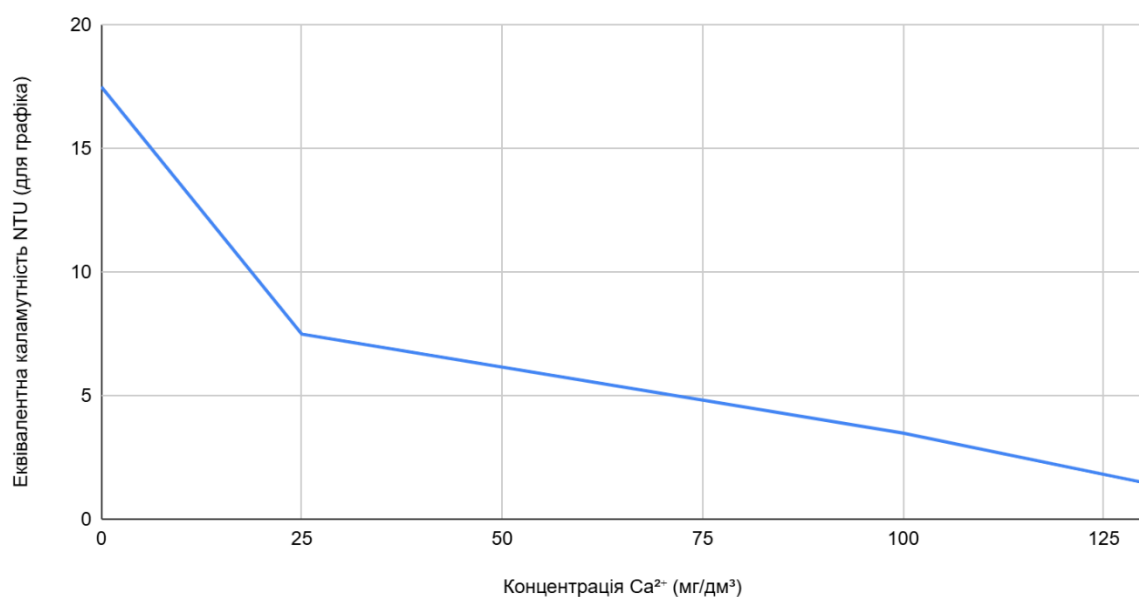


Рисунок 3.4 - Вплив початкової концентрації Ca^{2+} у воді на прозорість ферментованого напою (після 5 діб холодного відстоювання)



Рисунок 3.5 - Зразок 1

Зразок 1 ($0 \text{ мг/дм}^3 \text{ Ca}^{2+}$), в якому дріжджові клітини не мали достатньо іонів-місточків для агрегації, не зміг сформувати щільний осад. Дріжджі залишились у зваженому стані, утворюючи стійку каламутність (до 20 NTU). Такий напій є технологічним браком і вимагатиме обов'язкових додаткових операцій, таких як примусове освітлення (напр., бентонітом) або жорстка фільтрація, що ускладнює та робить процес більш дорогим.



Рисунок 3.6. - Зразок 2

Зразок 2 ($25 \text{ мг/дм}^3 \text{ Ca}^{2+}$) показав незначне покращення, але все ще залишався каламутним (до 10 NTU). Ця концентрація є недостатньою для ефективної автофлокуляції.



Рисунок 3.7. - Зразок 3



Рисунок 3.8. - Зразок 4

Кардинальне покращення спостерігалось у Зразках 3 та 4 (100 та 130 мг/дм³). Напій, виготовлений на воді з високим вмістом кальцію, продемонстрував відмінне природне освітлення, досягнувши високого ступеня прозорості з характерним блиском (1-5 NTU)

Візуально відмічалось, що у цих зразках сформувався щільний, збитий дріжджовий осад, який легко відділявся від напою при декантації (знятті з осаду).

Експериментально доведено, що іони кальцію є важливим технологічним фактором для досягнення високої прозорості та колоїдної стабільності медових напоїв. Встановлено, що відсутність Ca²⁺ у воді призводить до формування стійкої каламутності. Оптимальною концентрацією Ca²⁺, що забезпечує ефективну флокуляцію дріжджів та швидке природне освітлення напою, визначено діапазон 100–130 мг/дм³.

Комплексний органолептичний аналіз та визначення оптимального профілю:

Фінальною оцінкою будь-якої харчової технології є якість кінцевого продукту, що сприймається споживачем. Результати проведених інструментальних досліджень переконливо довели, що хімічний склад води кардинально впливає на повноту ферментації (завдяки дії лужності та Mg²⁺) та прозорість напою (за рахунок Ca²⁺). Метою даного етапу було проведення комплексного сенсорного аналізу для підтвердження гіпотези, що ці фізико-хімічні відмінності безпосередньо трансформуються у відчутні органолептичні переваги або дефекти у готовому напої.

Методика.

Для порівняльного аналізу було обрано три ключові зразки, що відображають кардинально різні підходи до водопідготовки:

1. "Контроль (Водопровідна)": Напій, виготовлений на вихідній водопровідній воді (характеристики у табл. 3.1), що має середню жорсткість (3.5 ммоль/дм³) та високий рН (7.85).
2. "Контроль (RO-0)": Напій, виготовлений на чистій RO-воді без ремінералізації (0 мг/дм³ лужності, 0 мг/дм³ Mg²⁺, 0 мг/дм³ Ca²⁺). Цей зразок відповідає умовам зупинки ферментації (табл. 3.4, 3.5) та низької прозорості (табл. 3.3).
3. "Зразок з коригованим мінеральним складом": Напій, виготовлений на RO-воді, ремінералізований до цільових показників, визначених у ході експериментів: Лужність 100 мг/дм³, Mg²⁺ 25 мг/дм³ та Ca²⁺ 100 мг/дм³. Зразки були освітлені (5 діб при 4°C)

Таблиця 3.3.

Порівняльна органолептична оцінка готових напоїв

Показник	"Контроль (Водопровідна)"	"Контроль (RO-0)"	"Зразок з коригованим мінеральним складом"
Прозорість	3 (Задовільно)	2 (Мутна)	4 (Прозора)
Аромат	2 (Важкий, "варені фрукти", фенольний)	3 (Різкий, дріжджовий, квітковий)	4 (Чистий, свіжий, медовий)
Смак	2 (Плаский, "восковий", сивушний)	3 (Надмірно кислотний, "пустий", мінеральний)	4 (Округлий, повний, збалансований)
Баланс	2 (Незбалансований, важкий)	3 (Різкий, домінує кислота)	4 (Гармонійний)
Дефекти (1-5)	3 (Відчутні фенольні тони)	2 (Легкі сторонні тони)	1 (Чистий профіль)

Аналіз даних (табл. 3.3) повністю корелює з отриманими раніше фізико-хімічними результатами та підтверджує всі висунуті гіпотези:

1. "Контроль (Водопровідна)": Отримав найнижчі оцінки. Незбалансований мінеральний склад води (високий рН, середня жорсткість) вочевидь спричинив сильний стрес у дріжджів. Це проявилось у низькій оцінці аромату та смаку, з наявністю виражених фенольних ("аптечних") та сивушних ("воскових") тонів. Це класичні маркери стресової ферментації [7, 10].
2. "Контроль (RO-0)": Цей зразок підтвердив критичність мінерального складу. Низька оцінка за прозорість (2 бали) прямо відповідає даним з табл. 3.7 (відсутність Ca^{2+}). Характеристика смаку як "надмірно кислотний" та "різкий" є прямим наслідком зупинки ферментації (табл. 3.5, 3.6), де високий залишковий цукор (6.5-7.5 °Вх) не зміг збалансувати кислотність напою, яка виникла внаслідок рН-шоку.
3. "Зразок з коригованим мінеральним складом": Цей зразок очікувано отримав найвищі бали за всіма показниками. Висока прозорість забезпечена наявністю 100 мг/дм³ Ca^{2+} . Чистий аромат та збалансований, округлий смак є прямим наслідком здорової, повної та безстресової ферментації. Це стало можливим завдяки: 1) наявності буфера (HCO_3^-), що запобіг рН-шоку, та 2) наявності Mg^{2+} як ключового нутрієнта.

Висновки за підрозділом.

Органолептичний аналіз підтвердив, що цілеспрямоване формування водного профілю є ключовим фактором у досягненні високої якості крафтового медового напою. Встановлено, що ані вихідна водопровідна вода (через незбалансованість), ані чиста RO-вода (через дефіцит нутрієнтів та буферності) не здатні забезпечити отримання якісного напою.

На основі комплексного аналізу даних 3.1.2–3.1.5, оптимальним водним профілем для виробництва крафтового медового напою (для умов даного експерименту) зразок з коригованим мінеральним складом, отриманий шляхом ремінералізації RO-води до наступних цільових концентрацій:

- Загальна лужність: 100 мг/дм³ (за CaCO₃)
- Іони Магнію (Mg²⁺): 25 мг/дм³
- Іони Кальцію (Ca²⁺): 100 мг/дм³

Цей ремінералізований зразок забезпечує стабільну ферментацію, повне зброджування цукрів, ефективне природне освітлення та чистий, збалансований органолептичний профіль готового напою.

3.2. Оптимізація мінерального профілю води для медоваріння

Невід’ємною складовою наукового дослідження є математичне оброблення експериментальних даних, яке дозволяє перейти від емпіричних спостережень до встановлення чітких математичних закономірностей. Метою цього етапу роботи було визначення оптимальних значень технологічних параметрів водопідготовки, що забезпечують мінімізацію каламутності готового напою при раціональному використанні сировини та часових ресурсів.

Постановка задачі та побудова математичної моделі:

В якості об’єкта оптимізації розглядався процес природного освітлення (флокуляції) ферментованого медового напою. На основі попередніх досліджень було виділено два ключові керуючі фактори, що визначають ефективність цього процесу. Першим фактором (X_1) обрано концентрацію йонів кальцію (Ca²⁺), яка варіювалася в діапазоні від 25 до 135 мг/дм³. Другим фактором (X_2) стала тривалість освітлення (t), досліджуваний інтервал якої становив від 4 до 12 діб. Параметром відгуку (Y) слугував показник каламутності напою (G), виражений у одиницях NTU.

Для опису залежності каламутності від обраних факторів було застосовано повну квадратичну модель, яка враховує як лінійний вплив змінних, так і ефекти їхньої взаємодії та квадратичні складові. Обробка експериментальних даних методом найменших квадратів у середовищі Mathcad дозволила отримати відповідні коефіцієнти регресії та сформулювати наступне математичне рівняння:

					ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$G = 26.80 - 0.041 \cdot C - 3.48 \cdot t + 0.004 \cdot C \cdot t - 0.00007 \cdot C^2 + 0.136 \cdot t^2$$

Аналіз отриманого рівняння демонструє складний характер впливу факторів на вихідний параметр. Від'ємні знаки при лінійних коефіцієнтах вказують на те, що зі збільшенням концентрації кальцію та часу витримки каламутність напою закономірно зменшується. Водночас наявність квадратичних членів свідчить про нелінійність процесу та існування зони насичення, після досягнення якої подальше нарощування факторів стає малоефективним. Перевірка адекватності моделі підтвердила її високу прогностичну здатність, оскільки розраховане середньоквадратичне відхилення склало 0.846, що є прийнятним показником для технологічних експериментів такого типу.

Визначення оптимальних параметрів:

Пошук оптимального технологічного режиму здійснювався методом узагальненої функції бажаності Харрінгтона. Цей підхід дозволив знайти компромісне рішення, яке задовольняє вимогу отримання максимально прозорого продукту (бажаний діапазон каламутності 5.0–13.5 NTU) при мінімально необхідних витратах реагентів та часу. В ході оптимізації кожному параметру було присвоєно вагові коефіцієнти значущості, де пріоритет надавався показникам якості та концентрації реагенту.

В результаті розрахунку максимізації функції бажаності було визначено координати точки оптимуму. Розрахункова оптимальна концентрація йонів кальцію становить 74.5 мг/дм³, а рекомендована тривалість процесу освітлення — 7.6 діб.

Аналіз отриманих результатів виявив важливу технологічну закономірність. Хоча в лабораторних умовах максимальна прозорість досягалася при витримці 10–12 діб, математична модель вказала на точку економічної ефективності саме на рівні 7.6 діб. Це пояснюється кінетикою осадження: на сьому-восьму добу основна маса зважених часток вже флокулює та випадає в осад, і процес виходить на «плато». Подальше утримування продукту в ємності протягом додаткових 2.5 діб призводить лише до незначного покращення прозорості, яке є некритичним для товарного вигляду, проте суттєво знижує коефіцієнт обігу бродильного обладнання. Таким чином, дотримання розрахованого режиму дозволяє отримати продукт високої якості, скоротивши виробничий цикл майже на чверть, що є економічно обґрунтованим рішенням для промислового впровадження.

$$N := 19$$

$$i := 0..N$$

$$C := (25 \ 65 \ 105 \ 135 \ 25 \ 65 \ 105 \ 135 \ 25 \ 65 \ 105 \ 135 \ 25 \ 65 \ 105 \ 135 \ 25 \ 65 \ 105 \ 135)^T$$

$$\tau := (4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 6 \ 6 \ 6 \ 6 \ 8 \ 8 \ 8 \ 8 \ 10 \ 10 \ 10 \ 10 \ 12 \ 12 \ 12 \ 12)^T$$

$$G := (13.5 \ 13.2 \ 11.4 \ 10.5 \ 12.8 \ 10.1 \ 9.5 \ 8.2 \ 5.5 \ 7.0 \ 5.4 \ 5.3 \ 5.4 \ 5.3 \ 5.2 \ 5.1 \ 5.3 \ 5.2 \ 5.1 \ 5)^T$$

$$A := \begin{bmatrix} N+1 & \sum C & \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum C^2 & \sum \tau^2 \\ \sum C & \sum C^2 & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum C^3 & \sum [C_i (\tau_i)^2] \\ \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum \tau^2 & \sum [C_i (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum \tau^3 \\ \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [C_i (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum [C_i (\tau_i)^3] \\ \sum C^2 & \sum C^3 & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum C^4 & \sum [(C_i)^2 (\tau_i)^2] \\ \sum \tau^2 & \sum [C_i (\tau_i)^2] & \sum \tau^3 & \sum [C_i (\tau_i)^3] & \sum [(C_i)^2 (\tau_i)^2] & \sum \tau^4 \end{bmatrix}$$

$$CI := \begin{bmatrix} \sum G \\ \sum (G_i \cdot C_i) \\ \sum (G_i \cdot \tau_i) \\ \sum (G_i \cdot C_i \cdot \tau_i) \\ \sum [G_i (C_i)^2] \\ \sum [G_i (\tau_i)^2] \end{bmatrix}$$

$$a := A^{-1} \cdot CI$$

$$F1(x1, x2) := a_0 + a_1 \cdot x1 + a_2 \cdot x2 + a_3 \cdot x1 \cdot x2 + a_4 \cdot x1^2 + a_5 \cdot x2^2$$

$$SKP1 := \sqrt{\sum_{i=0}^N \frac{(G_i - F1(C_i, \tau_i))^2}{N}}$$

SKP1 = 0.846

f02(x) := F1(25, x)

f04(x) := F1(65, x)

f06(x) := F1(105, x)

f08(x) := F1(135, x)

j := 0..4

$\tau_{1j} := \tau_{0+4j}$

$g_{02j} := G_{0+4j}$

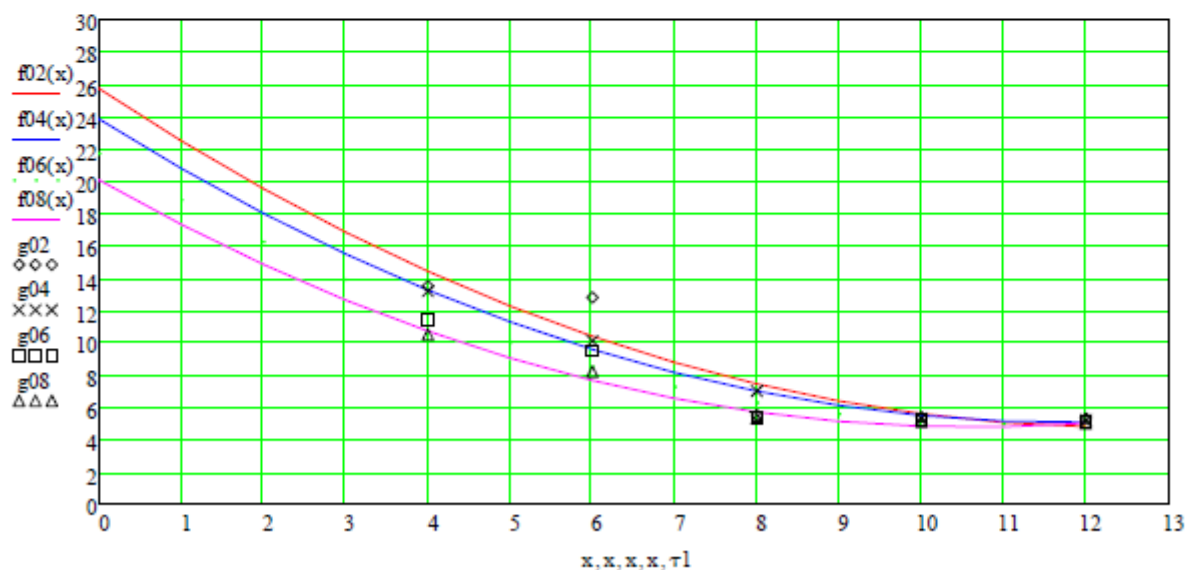
$g_{04j} := G_{1+4j}$

$g_{06j} := G_{2+4j}$

$g_{08j} := G_{3+4j}$

a = $\begin{pmatrix} 26.79596 \\ -0.04083 \\ -3.48363 \\ 0.00445 \\ -0.00007 \\ 0.13571 \end{pmatrix}$

x := 0..12



$$\text{IBG} := (13.5 \ 11.8 \ 10.1 \ 8.4 \ 6.7 \ 5)^T$$

$$\text{IB}\tau := (12 \ 10.4 \ 8.8 \ 7.2 \ 5.6 \ 4)^T$$

$$\text{IBC} := (25 \ 47 \ 69 \ 91 \ 113 \ 135)^T$$

$$\text{D} := (0.01 \ 0.2 \ 0.37 \ 0.63 \ 0.8 \ 0.99)^T$$

$$a1 := 25 \quad b1 := 135 \quad a2 := 4 \quad b2 := 12 \quad mn := 40 \quad i1 := 0..mn \quad j1 := 0..mn$$

$$h1 := \frac{b1 - a1}{mn}$$

$$h2 := \frac{b2 - a2}{mn}$$

$$p1_{i1} := a1 + h1 \cdot i1$$

$$p2_{j1} := a2 + h2 \cdot j1$$

$$Y1_{i1,j1} := F1(p1_{i1}, p2_{j1})$$

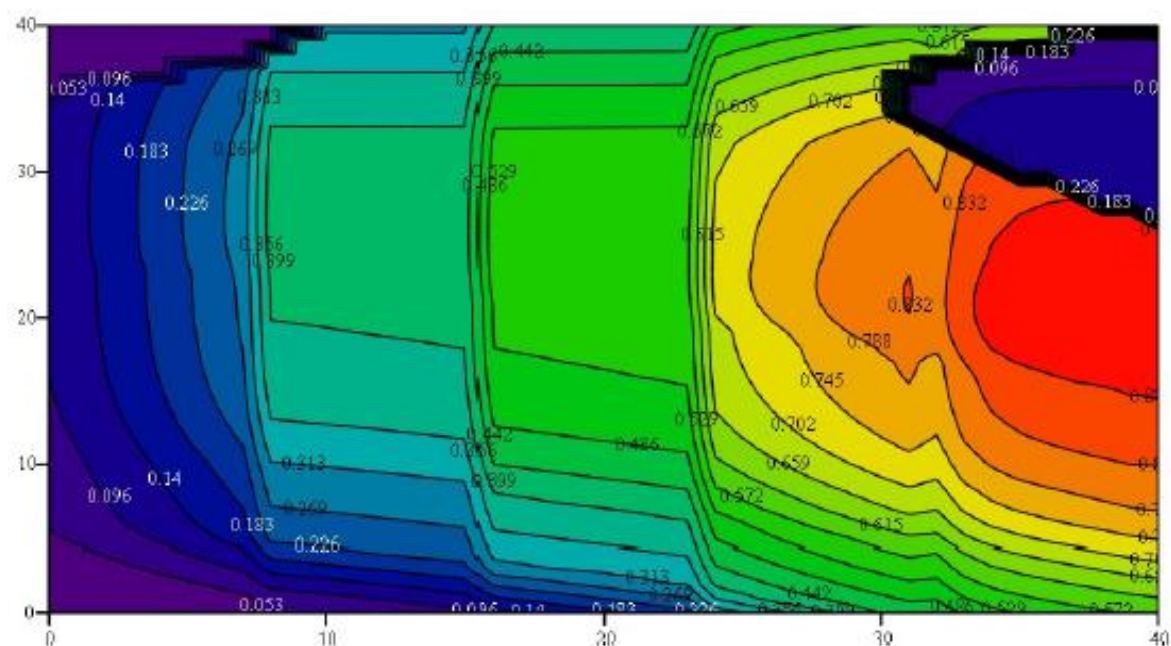
```

HAR(FN,D,fn,z) := FP ← -ln(-ln(D))
if z = 1
  if fn < FN0
    fb ← D0
    break
  if fn > FN5
    fb ← D5
    break
  for i ∈ 0,1..5
    if fn = FNi
      fb ← Di
      break
    if fn < FNi+1
      fp ← FPi +  $\frac{(fn - FN_i) \cdot (FP_{i+1} - FP_i)}{FN_{i+1} - FN_i}$ 
      fb ← e-e-fp
      break
  otherwise
    if fn > FN0
      fb ← D0
      break
    if fn < FN5
      fb ← Di
      break
    for i ∈ 0,1..5
      if fn = FNi
        fb ← Di
        break
      if fn > FNi+1
        fp ← FPi +  $\frac{(fn - FN_i) \cdot (FP_{i+1} - FP_i)}{FN_{i+1} - FN_i}$ 
        fb ← e-e-fp
        break
  fb

```

$$ff1_{il,jl} := \text{HAR}(\text{IBG}, D, Y1_{il,jl}, 0) \quad ff2_{il,jl} := \text{HAR}(\text{IBC}, D, p1_{il}, 1)$$

$$ff3_{il,jl} := \text{HAR}(\text{IB}\tau, D, p2_{jl}, 0) \quad Ff_{il,jl} := (ff1_{il,jl})^{0.45} \cdot (ff2_{il,jl})^{0.45} \cdot (ff3_{il,jl})^{0.1}$$



3.3. Розроблення удосконаленої технологічної схеми та режиму водопідготовки

На основі експериментально отриманих даних (підрозділ 3.1), які довели критичний вплив мінерального складу води на ферментацію медового сусла, було розроблено удосконалену технологічну схему водопідготовки. Ця схема вирішує дві ключові проблеми, ідентифіковані в Розділі 1:

1. Усунення ризиків: Повне видалення інгібіторів (хлор, хлораміни) та небажаних компонентів (залізо, надлишкові солі жорсткості, сульфати) з вихідної водопровідної води.
2. Формування профілю: Створення "з нуля" оптимального мінерального складу води шляхом контрольованої ремінералізації для забезпечення потреб дріжджів та стабільності рН.

Опис технологічного процесу виробництва ферментованого медового напою:

Даний технологічний процес описує виробництво базового (традиційного) ферментованого медового напою з використанням стандартизованої сировини та оптимально підготовленої води. Процес складається з кількох ключових стадій: підготовка сусла, ферментація, освітлення та дозрівання.

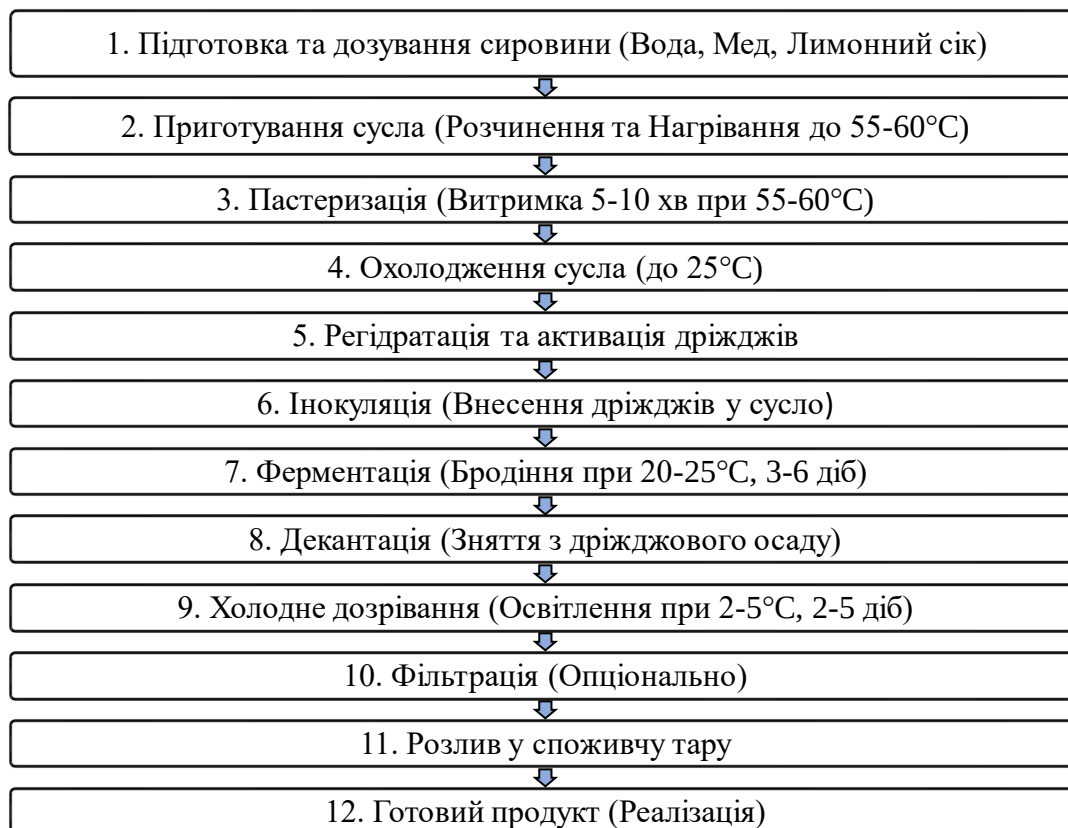


Рисунок 3.9 - Принципова технологічна схема виробництва ферментованого медового напою

Приготування та пастеризація сусла Призначення даної операції – повне розчинення меду у воді, гомогенізація сусла, внесення компонентів для корекції рН та інактивація сторонньої мікрофлори (диких дріжджів, бактерій), що природно присутня у меді.

Технологічний процес починається з дозування оптимально підготовленої води (згідно з профілем, визначеним у 3.1.) у ємність. Вода нагрівається до температури 55-60°C. Цей температурний режим обґрунтований тим, що він є достатнім для ефективного розчинення меду та проведення щадної пастеризації, але водночас не призводить до інтенсивної деградації ароматичних сполук та утворення гідроксиметилфурфуролу (HMF), що неминуче відбувається при кип'ятінні. У підігріту воду вноситься розрахована кількість меду (наприклад, 180-190 г/л) та лимонного соку (для початкової корекції рН). Сусло ретельно перемішується до повної гомогенізації та витримується при заданій температурі 5-10 хвилин.

Охолодження сусла та внесення дріжджів Призначення операції – швидке зниження температури сусла до оптимальних значень для інокуляції (внесення) дріжджової культури.

Після пастеризації сусло негайно подається на охолодження (наприклад, через пластинчастий теплообмінник або за допомогою охолоджувальної сорочки) до температури 25°C. Цей параметр є критичним, оскільки вищі температури (>30-35°C) можуть спричинити термічний шок та часткову загибель внесеної культури дріжджів, що призведе до слабкого старту ферментації. Паралельно проводиться регідратація сухої активної культури дріжджів (наприклад, 2-3 г/л) у невеликій кількості теплої води (30-35°C). Охолоджене до 25°C сусло перекачується у ферментаційний танк (бродильну ємність), після чого в нього вноситься активована дріжджова суспензія.

Ферментація (бродіння) Призначення операції – біохімічне перетворення цукрів (глюкози та фруктози) меду на етиловий спирт та діоксид вуглецю (CO₂) під дією ферментативних систем дріжджів.

Процес ферментації проводиться у герметичних ємностях з нержавіючої сталі, обладнаних гідрозатвором для відведення CO₂. Ключовим технологічним параметром є температура бродіння, яку підтримують на рівні 20-25°C за допомогою системи контролю температури. Тривалість активної фази бродіння, згідно з експериментальними даними (розділ 3.1), становить від 3 до 5-6 днів для досягнення сухого напою (густина < 1.0 °Вх) при використанні оптимальної води та нутрієнтів. Контроль процесу здійснюється щоденним вимірюванням густини (°Вх) та рН сусла.

Освітлення, дозрівання та розлив Призначення операцій – відділення напою від дріжджового осаду, стабілізація, формування кінцевого смакового профілю та підготовка до споживання.

Після завершення активної ферментації (припинення газовиділення) проводиться декантація (зняття з осаду). Напій акуратно зливають з дріжджового осаду в тару для дозрівання. Для прискорення освітлення та стабілізації застосовується метод холодного дозрівання (cold crash): напій витримується у прохолодному місці (наприклад, у холодильній камері при 2-5°C) протягом 2-5 днів. Це сприяє осадженню залишків дріжджів, особливо при наявності Ca^{2+} та інших зважених частинок.

Після освітлення напій фільтрується (якщо це передбачено технологією) та подається на розлив у чисту споживчу тару. Готовий напій готовий до реалізації.

3.3.1. Опис удосконаленої апаратурно-технологічної схеми:

Запропонована апаратурно-технологічна схема водопідготовки (Рисунок 3.4) базується на двостадійній концепції "Зворотний осмос + Ремінералізація" (RO+Remin), що забезпечує максимальний контроль та відтворюваність процесу, незалежно від сезонних коливань якості вхідної води [32, 34, 35].

Концептуальна блок-схема: (1) Вхідна вода → (2) Механічний фільтр → (3) Вугільний фільтр → (4) Установка RO → (5) Бак-накопичувач RO-води → (6) Вузол ремінералізації → (7) Бак підготовленої води → (8) Подача на виробництво.

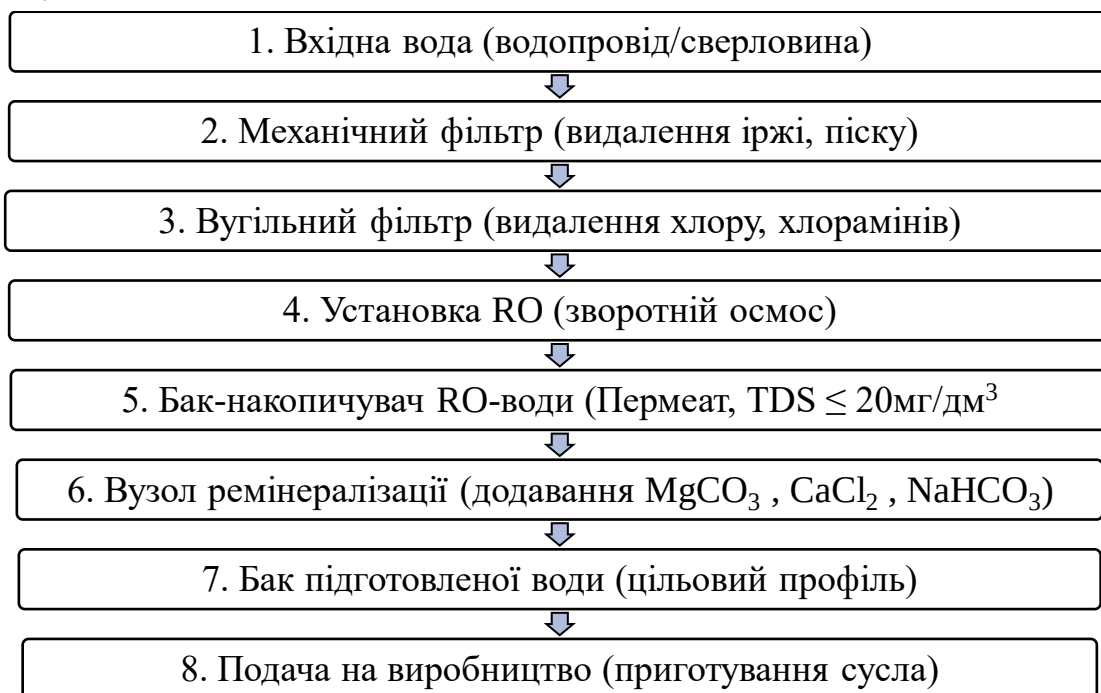


Рисунок 3.10. - Принципова технологічна схема водопідготовки методом RO+Remin

Схема складається з кількох ключових вузлів, що виконують послідовні технологічні операції.

Першим є вузол попередньої фільтрації (Поз. 2, 3), призначений для захисту чутливої мембрани зворотного осмосу. Він включає механічний фільтр (Поз. 2, картридж 5-10 μm) для видалення зважених часток (іржі, піску, мулу) та вугільний (сорбційний) фільтр (Поз. 3). Останній виконує найважливішу функцію видалення хлору та хлорамінів, що повністю усуває ризик потрапляння інгібіторів у сусло та запобігає хімічній деградації RO-мембрани.

Наступним іде вузол демінералізації (Поз. 4, 5) – "серце" системи. Установка зворотного осмосу (Поз. 4) працює під тиском, пропускаючи воду через напівпроникну мембрану, яка затримує 95-99% всіх розчинених солей (іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+), важких металів (Fe, Mn) та мікробіологічних забруднень. Очищена вода (пермеат), що відповідає характеристикам Таблиці 3.2 ($\text{TDS} \leq 20 \text{ мг/дм}^3$), накопичується у баці-накопичувачі RO-води (Поз. 5). Ця вода є "чистим аркушем", позбавленим як шкідливих, так і корисних компонентів.

Вузол ремінералізації (Поз. 6) є ключовим технологічним етапом, де "порожня" RO-вода перетворюється на оптимальну воду для медоваріння. Для малих (ручних) виробництв це реалізується внесенням розрахованих наважок солей безпосередньо у бак підготовленої води. Для автоматизованих виробництв вузол (Поз. 6) складається з насосів-дозаторів, які в потоці впорскують концентровані розчини солей (MgSO_4 , CaCl_2 , NaHCO_3) у пермеат.

Завершує схему вузол готової води (Поз. 7, 8). Бак підготовленої води (Поз. 7) слугує для накопичення води з уже збалансованим та стандартизованим профілем. Перед подачею на виробництво (Поз. 8, на змішування з медом) у цьому баці обов'язково проводиться вихідний контроль (TDS, pH) для підтвердження відповідності профілю.

Дана схема є гнучкою, масштабованою та вирішує всі проблеми, виявлені в Розділі 1 та 3.1: вона гарантує відсутність інгібіторів та дозволяє точно створити оптимальний мінеральний склад.

3.3.2. Розроблення удосконаленого технологічного режиму та розрахунки:

Технологічний режим описує послідовність операцій та практичних розрахунків, необхідних для отримання води з цільовими показниками:

- Загальна лужність (за HCO_3^-): 100 мг/дм^3 (в перерахунку на CaCO_3)
- Іони Магнію (Mg^{2+}): 25 мг/дм^3
- Іони Кальцію (Ca^{2+}): 100 мг/дм^3

Розроблений технологічний режим (технологічна карта) водопідготовки складається з наступних послідовних операцій.

По-перше, проводиться отримання води-основи: установка зворотного осмосу (Поз. 4) активується до накопичення необхідного об'єму пермеату у баці (Поз. 5). Після цього проводиться контроль основи: експрес-контроль RO-води за допомогою TDS-метра. Показник не повинен перевищувати 20 мг/дм³, що свідчить про коректну роботу мембрани.

Наступним кроком є приготування розчинів солей та розрахунок наважок. Для прикладу, розрахунок на 100 л готової води виглядає наступним чином:

1. Розрахунок потреби у NaHCO₃ (для лужності 100 мг/дм³): Лужність 100 мг/дм³ (як CaCO₃) еквівалентна 122 мг/дм³ HCO₃⁻. Молярна маса NaHCO₃ = 84.01 г/моль; Молярна маса HCO₃⁻ = 61.02 г/моль. Наважка NaHCO₃ = $(122 \text{ мг/л HCO}_3^-) \times (84.01 / 61.02) \times 100 \text{ л} = 16.8 \text{ г}$.
2. Розрахунок потреби у MgSO₄ · 7H₂O (для Mg²⁺ 25 мг/дм³): Молярна маса MgSO₄ · 7H₂O = 246.47 г/моль; Атомна маса Mg = 24.31 г/моль. Наважка MgSO₄ · 7H₂O = $(25 \text{ мг/л Mg}^{2+}) \times (246.47 / 24.31) \times 100 \text{ л} = 25.3 \text{ г}$.
3. Розрахунок потреби у CaCl₂ · 2H₂O (для Ca²⁺ 100 мг/дм³): Молярна маса CaCl₂ · 2H₂O = 147.01 г/моль; Атомна маса Ca = 40.08 г/моль. Наважка CaCl₂ · 2H₂O = $(100 \text{ мг/л Ca}^{2+}) \times (147.01 / 40.08) \times 100 \text{ л} = 36.7 \text{ г}$.

Після розрахунку проводиться ремінералізація: розраховані наважки солей (16.8 г NaHCO₃, 25.3 г MgSO₄ · 7H₂O та 36.7 г CaCl₂ · 2H₂O) вносяться у 100 л RO-води у бак підготовленої води (Поз. 7) та ретельно перемішуються до повного розчинення.

Завершальним етапом є вихідний контроль. Проводиться контрольний замір pH та TDS готової води. Очікуваний розрахунковий TDS складе суму внесених іонів: $\approx 122 (\text{HCO}_3^-) + 25 (\text{Mg}^{2+}) + 100 (\text{Ca}^{2+}) + 99 (\text{SO}_4^{2-}, \text{ з MgSO}_4) + 178 (\text{Cl}^-, \text{ з CaCl}_2) = \sim 524 \text{ мг/дм}^3$. Цей показник TDS є швидким та надійним маркером правильності дозування. Після успішного контролю готова вода подається на виробництво (Поз. 8) для приготування медового сусла.

Висновки за підрозділом. Запропонована удосконалена технологічна схема (Рисунок 3.10) та розроблений технологічний режим (включаючи розрахунки наважок солей) дозволяють вирішити ключові проблеми водопідготовки у крафтовому медоварінні. Цей підхід забезпечує стабільність (незалежність від вхідної води) та гнучкість (можливість створювати різні профілі води під різні стилі напоїв), гарантуючи усунення інгібіторів та створення ідеального середовища для ферментації.

Висновки за розділом

У даному розділі було представлено результати комплексних експериментальних досліджень, спрямованих на визначення оптимального хімічного складу води для технології виробництва крафтових медових напоїв. Отримані дані експериментально підтвердили робочу гіпотезу про те, що вода у медоварінні виступає активним технологічним фактором, параметри якого критично впливають на кінетику бродіння та якість готового продукту. Зокрема, порівняльний аналіз ферментації на різних типах води довів, що використання непідготовленої водопровідної води або чистого пермеату зворотного осмосу без корекції призводить до технологічних дефектів - від появи сторонніх присмаків до повної зупинки бродіння.

Ключовим результатом етапу дослідження впливу окремих іонів стало встановлення чітких технологічних нормативів для мінерального профілю води. Експериментально доведено, що критичним фактором для стабільності процесу є забезпечення буферної ємності середовища на рівні 100-150 мг/дм³ загальної лужності, що дозволяє утримувати рН у фізіологічно комфортному для дріжджів діапазоні та запобігає кислотному шоку. Також визначено, що концентрація іонів магнію на рівні 25-38 мг/дм³ є необхідною умовою для повноцінного метаболізму дріжджів та глибокого зброджування суслу до залишкової густини 0.1-0.2 °Вх. Дослідження процесу освітлення показало, що наявність іонів кальцію у концентрації 100-130 мг/дм³ є визначальним фактором для ефективної флокуляції біомаси та досягнення високої прозорості напою без використання допоміжних оклеювальних засобів.

Застосування методів математичного моделювання дозволило оптимізувати технологічні параметри процесу дозрівання. Розраховано, що економічно та технологічно обґрунтованим оптимумом є концентрація кальцію 74.5 мг/дм³ при тривалості холодного відстоювання 7.6 діб, що дозволяє суттєво скоротити виробничий цикл при збереженні високих якісних показників.

На основі отриманих закономірностей було розроблено та обґрунтовано удосконалену апаратурно-технологічну схему водопідготовки, яка базується на принципі глибокого знесолення води методом зворотного осмосу з подальшою контрольованою ремінералізацією. Запропонований технологічний режим, що включає точне дозування солей магнію, кальцію та гідрокарбонату натрію, дозволяє нівелювати вплив сезонних коливань складу вихідної води та гарантувати стабільну якість крафтового напою незалежно від джерела водопостачання. Органолептична оцінка підтвердила, що напої, виготовлені на воді з оптимізованим профілем, мають чистий аромат, гармонійний смак та позбавлені типових дефектів, характерних для спонтанної водопідготовки.

РОЗДІЛ 4. МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ВОДИ У ВИРОБНИЦТВІ ФЕРМЕНТОВАНИХ НАПОЇВ

Впровадження розробленої технологічної схеми водопідготовки є необхідною, але недостатньою умовою для стабільного випуску якісної та безпечної продукції. Сучасні стандарти харчової промисловості вимагають інтеграції будь-яких технологічних інновацій у загальну систему менеджменту безпечності підприємства. Оскільки вода є критично важливою сировиною, що становить до 80% об'єму готового напою, управління ризиками, пов'язаними з її якістю, має здійснюватися системно, базуючись на превентивних підходах міжнародних стандартів.

4.1. Загальні підходи до системи управління безпечністю харчової продукції на основі принципів НАССР

Сучасне харчове виробництво функціонує в умовах жорстких вимог до якості та, перш за все, безпечності готової продукції. Глобальні підходи до цього питання регламентуються міжнародними стандартами, ключовим з яких є Codex Alimentarius (Кодекс Аліментаріус). Саме цей збір стандартів, розроблений спільно ФАО та ВООЗ, вперше сформулював та закріпив науково-обґрунтовану, превентивну систему контролю, відому як НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points – Аналіз небезпечних факторів та критичні контрольні точки).

В Україні впровадження принципів НАССР є не просто рекомендацією, а прямою юридичною вимогою для всіх операторів ринку харчових продуктів. Фундаментальним документом у цій сфері є Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» (№ 771/97-ВР). Цей закон зобов'язує виробників розробляти, впроваджувати та підтримувати "постійно діючі процедури, засновані на принципах системи НАССР". Таким чином, відбувся законодавчий перехід від застарілої, реактивної моделі контролю (коли аналізується лише кінцевий продукт) до сучасної, проактивної (превентивної) моделі, де контролюється сам процес виробництва.

Філософія НАССР полягає не в тому, щоб виявляти небезпечний продукт, а в тому, щоб створити науково обґрунтовані умови, за яких випуск небезпечного продукту є практично неможливим. Часто ця система не існує ізольовано, а інтегрується у загальну систему управління якістю підприємства, наприклад, таку, що відповідає стандартам серії ISO 9001, або у спеціалізований міжнародний стандарт ISO 22000 "Системи управління безпечністю харчових продуктів".

Побудова ефективної системи НАССР базується на послідовному виконанні семи фундаментальних принципів. Першим і найважливішим етапом

					МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

є проведення аналізу небезпечних факторів, де технологічна команда ідентифікує всі потенційні ризики – біологічні, хімічні та фізичні – на кожному етапі технологічного ланцюга. Наступним кроком є визначення Критичних Контрольних Точок (ККТ), тобто тих етапів або процедур, де втрата контролю може призвести до неприйнятної ризику для здоров'я споживача, і де цю небезпеку можна попередити, усунути або знизити до прийнятної рівня.

Після ідентифікації ККТ (якою, безумовно, є процес водопідготовки), система вимагає встановлення критичних меж для кожної точки – чітких, вимірюваних параметрів (наприклад, $T < 5^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} < 4.6$, концентрація хлору = 0 мг/дм^3). Для забезпечення дотримання цих меж розробляється система моніторингу. На випадок, якщо моніторинг фіксує відхилення від критичних меж, наперед розробляються коригувальні дії (наприклад, "зупинити лінію", "ізолювати партію", "повторно профільтрувати"). Завершується цикл встановленням процедур верифікації (внутрішні аудити, лабораторні аналізи), які підтверджують, що вся система НАССР працює ефективно, та процедур документування, що забезпечують повну простежуваність усіх дій.

У контексті теми даної магістерської роботи, вода є класичною вхідною сировиною і, водночас, одним із найскладніших об'єктів для контролю в системі НАССР. Вона є потенційним носієм усіх трьох типів небезпек: біологічних (патогенні бактерії *E.coli*, колиформи, а також технологічні ризики – дикі дріжджі та пліснява, що спричиняють псування напою), хімічних (залишковий хлор, важкі метали, нітрати, а також технологічні ризики – надмірна жорсткість, залізо) та фізичних (іржа, пісок, зважені частки).

Тому, згідно з принципами НАССР, точка надходження води на підприємство та сам процес водопідготовки (зокрема, фільтрація, знезараження, зворотний осмос) є однозначними Критичними Контрольними Точками (ККТ). Загальний підхід до управління безпечністю вимагає від виробника розробити та валідувати власну систему водопідготовки, яка гарантовано усуває або знижує виявлені небезпечні фактори до прийнятної рівня. Таким чином, розробка адекватної технологічної схеми (як у Розділі 3.3) є не просто питанням покращення якості, а обов'язковою вимогою для побудови дієвої та юридично відповідної системи НАССР на крафтовому виробництві.

4.2. Аналіз небезпечних факторів та визначення Критичних Контрольних Точок (ККТ) у процесі водопідготовки

Відповідно до загальних підходів, описаних у 4.1, першим кроком у побудові дієвої системи НАССР є проведення ґрунтовного аналізу небезпечних факторів. Цей процес передбачає ідентифікацію всіх потенційних біологічних, хімічних та фізичних ризиків, пов'язаних із кожним етапом технологічного процесу – від вхідної сировини до готового продукту.

У контексті роботи, вода є вхідною сировиною, яка несе специфічні ризики, що детально розглядалися у Розділі 1.

Біологічні небезпечні фактори включають не лише патогенні мікроорганізми (такі як *E.coli* або *Enterococcus*), що становлять пряму загрозу здоров'ю споживача, але й технологічні небезпеки. Для медоваріння особливу небезпеку становлять дикі штами дріжджів (напр., *Brettanomyces*), плісняві гриби та оцтовокислі бактерії (*Acetobacter*), які можуть потрапити з непідготовленою водою. Вони конкурують з культурною расою дріжджів, викликають неконтрольоване бродіння та призводять до псування продукту – появи сторонніх ароматів, оцтової кислоти або помутніння. Джерелом можуть бути як вихідна вода, так і біоплівки у накопичувальних резервуарах.

Хімічні небезпечні фактори є найбільш комплексною групою у водопідготовці. Вони поділяються на:

1. *Санітарно-токсикологічні*: Важкі метали (свинець, кадмій, ртуть), нітрати, пестициди, що можуть бути присутні у джерелі води.
2. *Технологічні інгібітори*: Залишковий вільний хлор (Cl_2) та хлораміни (NH_2Cl) з муніципальних водогонів. Вони є біоцидами, що пригнічують ферментативну активність дріжджів (як доведено у Розділі 1), а також реагують з фенолами меду, утворюючи хлорфеноли – сполуки з різким "аптечним" дефектом смаку.
3. *Технологічні дефектори*: Іони заліза (Fe) та марганцю (Mn), що потрапляють зі старих труб або свердловин. Вони надають металевого присмаку та, як каталізатори, прискорюють окислення напою при зберіганні, знижуючи його якість.
4. *Фактори дисбалансу*: Надмірна жорсткість (Ca^{2+} , Mg^{2+}) або висока лужність (HCO_3^-), що надають напою різкого, "мінерального" присмаку⁹.

Фізичні небезпечні фактори включають зважені частки: іржу зі старих трубопроводів, пісок або мул з артезіанських свердловин¹⁰. Вони не лише погіршують прозорість, але й можуть пошкодити високоточне обладнання, таке як насоси та мембрани зворотного осмосу.

На основі цього аналізу було складено карту аналізу ризиків для ключових етапів водопідготовки, запропонованої у Розділі 3.3.2 (Таблиця 4.1).

Таблиця 4.1.

Карта аналізу небезпечних факторів для процесу водопідготовки

Етап процесу (Поз. рис 3.5)	Потенційна небезпека (Б, Х, Ф)	Джерело/Фактор ризиків	Оцінка ризиків (Й/Н)	Запобіжний захід (ППД або ККТ)
1. Приймання вхідної води	(Б) E.coli, коліформи, дикі дріжджі	Водогін, свердловина	Сер/Вис	ККТ-1 (Б): УФ- стерилізація АБО Пастеризація сусли
	(Х) Хлор, хлораміни	Муніципальний водогін	Вис/Сер	ККТ-2 (Х): Вугільна фільтрація
	(Х) Залізо, марганець, висока жорсткість	Джерело води, труби	Вис/Сер	ККТ-3 (Х): Зворотний осмос (RO)
	(Ф) Пісок, іржа, мул	Джерело води, труби	Вис/Низ	ППД: Механічна фільтрація (Поз. 2)
2. Вугільний фільтр	(Х) "Пробій" хлорамінів	Вичерпання ресурсу вугілля	Вис/Сер	ККТ-2 (Х) (Див. Таблицю 4.2)
3. Установка RO	(Х) Пробій мембрани (по солях)	Пошкодження, знос мембрани	Сер/Сер	ККТ-3 (Х) (Див. Таблицю 4.2)
4. Вузол ремінералізації	(Х) Неправильне дозування солей (Mg^{2+} , HCO_3^-)	Людська помилка, збій дозатора	Вис/Вис	ККТ-4 (Х) (Див. Таблицю 4.2)

5. Бак підготовленої води	(Б) Вторинне зараження	Негерметичність баку, погана санітарія	Сер/Вис	ППД: Регулярна санітарна мийка, герметизація
---------------------------	------------------------	--	---------	--

(ППД – Програма-передумова (загальносанітарний захід); ККТ – Критична Контрольна Точка)

Визначення Критичних Контрольних Точок (ККТ)

Аналіз небезпечних факторів (Таблиця 4.1) показує, що прості санітарні заходи (Програми-передумови, ППД), такі як механічна фільтрація чи мийка ємностей, є важливими, але недостатніми для гарантування безпечності та якості. Вони не усувають ключові хімічні та біологічні ризики. На основі цього, згідно з логікою "дерева рішень" НАССР, було визначено чотири ККТ у процесі водопідготовки та ферментації (Таблиця 4.2), адаптовані з напрацювань курсової роботи.

Таблиця 4.2.

План НАССР (виробнича програма) для Критичних Контрольних Точок

ККТ (Етап)	Небезпечний фактор	Критичні межі	Процедура моніторингу	Коригувальні дії
ККТ-1 (Б) (Пастеризація сусла)	(Б) Мікрофлора (дикі дріжджі, бактерії)	T = 55-60°C, Час = 10 хв	Постійний контроль температури (термометр) та часу (таймер) оператором	Якщо T < 55°C або час < 10 хв: продовжити нагрівання до досягнення режиму.
ККТ-2 (Х) (Вугільний фільтр, Поз. 3)	(Х) Хлор, хлораміни	Залишковий хлор: 0.0 мг/дм³	Експрес-тест (DPD-тест) на хлор на виході з фільтра (1 раз на зміну)	Зупинити забір води. Замінити картридж вугільного фільтра. Ізолювати воду, що пройшла.

ККТ-3 (X) (Установка RO, Поз. 4)	(X) Надлишок солей (жорсткість, сульфати, Fe)	Загальний солевміст (TDS): < 20 мг/дм ³	Постійний моніторинг вбудованим TDS-метром на лінії пермеату	Зупинити установку. Провести сервісну промивку мембран. Якщо не допомагає – замінити мембрану.
ККТ-4 (X) (Вузол ремінералізації, Поз. 6-7)	(X) Неправильний мінеральний профіль (дефіцит Mg ²⁺ , HCO ₃ ⁻)	TDS готової води: 524 ± 25 мг/дм ³ (згідно з розрахунком 3.3.3)	Вимірювання TDS та pH у баці (Поз. 7) для кожної партії підготовленої води	Провести коригуюче внесення солей згідно з повторним розрахунком. Провести повторний аналіз.

Цей план НАССР (Таблиця 4.2) є логічним завершенням експериментальних досліджень Розділу 3. Він перетворює наукові висновки (про необхідність лужності, магнію та відсутність хлору) у чіткі, вимірювані контрольні процедури, що забезпечують стабільну якість та безпечність готового продукту.

4.3. Процедури верифікації (перевірки) плану НАССР

Процедури верифікації (перевірки) є невід'ємною частиною системи НАССР, оскільки вони підтверджують ефективність розробленого плану. Моніторинг (що ми робимо щодня) відповідає на питання "Чи дотримуємось ми меж?", тоді як верифікація відповідає на питання "Чи є наші межі та методи контролю правильними?".

Для розробленого плану (Таблиця 4.2) процедури верифікації мають включати:

1. Калібрування обладнання: Регулярна (напр., щомісячна) перевірка та калібрування засобів вимірювальної техніки, задіяних у моніторингу ККТ. Це стосується, в першу чергу, лабораторного рН-метра та TDS-метра (Поз. ККТ-4), а також термометра для контролю пастеризації (Поз. ККТ-1).

2. Валідація критичних меж: Періодичне (напр., раз на рік або при зміні сировини) проведення повного лабораторного аналізу води на виході з вугільного фільтра (ККТ-2) та установки RO (ККТ-3) у сторонній акредитованій лабораторії. Це необхідно, щоб підтвердити, що наші експрес-методи (DPD-тест, TDS-метр) є надійними.
3. Аналіз готової продукції: Проведення періодичного мікробіологічного аналізу готового напою на відсутність коліформ чи диких дріжджів. Це є кінцевою верифікацією того, що ККТ-1 (Пастеризація) та заходи контролю вторинного забруднення працюють ефективно.
4. Внутрішній аудит: Плановий (раз на квартал) перегляд оператором або керівником виробництва всіх журналів моніторингу ККТ та записів про коригувальні дії. Це дозволяє виявити системні відхилення та вчасно скоригувати сам план НАССР.

4.4. Документування та ведення записів

Сьомий принцип НАССР вимагає, щоб усі процедури, моніторинг та дії були задокументовані. Для крафтового виробництва це не повинно бути надмірною бюрократією, але має забезпечувати повну простежуваність кожної партії. Для розробленого плану водопідготовки ключовими документами є:

- Журнал моніторингу ККТ-2/ККТ-3 (Водопідготовка): Журнал, куди оператор щозміни (або щопартії) вносить показники DPD-тесту (залишковий хлор) та TDS-метра (якість RO-води).
- Журнал моніторингу ККТ-1 (Пастеризація): Запис температури та часу витримки суслу для кожної партії.
- Журнал моніторингу ККТ-4 (Ремінералізація): Запис розрахункових наважок солей та контрольні виміри pH і TDS готової підготовленої води для кожної партії.
- Протоколи коригувальних дій: Окремі акти, що заповнюються *лише* у випадку виходу ККТ за межі (напр., "TDS води > 20 мг/дм³", "Дія: зупинено установку, проведено промивку мембран").

Впровадження цих процедур (верифікації та документування) перетворює наш план з теоретичного аналізу на повноцінну, дієву та юридично відповідну систему менеджменту безпечності.

Таким чином, розроблений план НАССР, що охоплює чотири ідентифіковані Критичні Контрольні Точки, є ключовим інструментом управління для крафтового виробника. Він не лише формалізує вимоги законодавства щодо безпечності, але й слугує практичною інструкцією для операторів. Найголовніше, цей план безпосередньо інтегрує експериментальні

					МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

результати, отримані у Розділі 3, у реальний виробничий контроль. Зокрема, ККТ-4 (Ремінералізація) перетворює наукові висновки про необхідність буферизації (HCO_3^-) та мінерального живлення (Mg^{2+}) у чіткий, вимірюваний параметр контролю (TDS). Впровадження цього плану дозволяє виробництву перейти від інтуїтивного, ризикованого підходу до науково обґрунтованого управління процесом водопідготовки, що є запорукою стабільної якості та безпечності кожної партії напою.

Висновки за розділом

У даному розділі було обґрунтовано та розроблено систему управління безпечністю та якістю води для виробництва крафтових медових напоїв, яка базується на превентивних принципах HACCP та вимогах стандарту ISO 22000. Встановлено, що для крафтового медоваріння вода виступає класичною вхідною сировиною, яка потребує жорсткого контролю, оскільки вона є потенційним носієм біологічних, хімічних та фізичних небезпечних факторів.

На основі проведеного аналізу ризиків було ідентифіковано специфічні загрози, які є критичними саме для технології ферментації меду, зокрема наявність залишкового хлору та хлорамінів, які діють як інгібітори дріжджів, а також присутність дикої мікрофлори та надлишкового заліза, що призводять до псування продукту та органолептичних дефектів. Для нейтралізації цих ризиків було визначено чотири Критичні Контрольні Точки (ККТ) процесу водопідготовки: пастеризація суслу для усунення біологічних загроз, вугільна фільтрація для видалення хлору, робота установки зворотного осмосу для контролю загальної мінералізації та вузол ремінералізації для формування цільового профілю води.

Важливим результатом роботи стала трансформація отриманих у ході експериментальних досліджень наукових даних щодо оптимальних концентрацій мінералів у чіткі виробничі процедури моніторингу. Зокрема, науково обґрунтована необхідність буферизації та мінерального живлення була формалізована у вигляді контрольованих параметрів TDS та pH на етапі ремінералізації, що дозволяє перевести процес з площини інтуїтивного виробництва у керовану технологічну систему. Розроблений план HACCP, разом із процедурами верифікації та документування, забезпечує повну простежуваність партій продукції та гарантує стабільно високу якість і безпечність готового напою незалежно від сезонних коливань складу вхідної води.

РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ В КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Впровадження будь-якої інновації у виробничий процес має бути обґрунтованим не лише з технологічної точки зору, а й з позицій економічної доцільності та екологічної безпеки. Розроблена технологія водопідготовки, що базується на глибокому знесоленні та контрольованій ремінералізації, потребує комплексної оцінки її впливу на собівартість продукції, споживання ресурсів та навколишнє середовище. У даному розділі проведено аналіз ефективності запропонованих рішень у контексті забезпечення сталого розвитку крафтового виробництва.

5.1. Техніко-економічне обґрунтування та розрахунок основного обладнання

Оцінка економічної ефективності розробки базується на попередньому виборі та розрахунку технологічного обладнання, необхідного для реалізації запропонованої схеми водопідготовки (RO+Remin). Розрахунки виконано для забезпечення виробничої потужності крафтового цеху з обсягом однієї партії готового напою 100 л.

Розрахунок матеріального балансу установки зворотного осмосу:

Основним вузлом схеми є мембранна установка. Розрахунок матеріального балансу проводився з метою визначення необхідних обсягів вхідної води та кількості утворених стічних вод (концентрату), що є вихідними даними для екологічної та економічної оцінки.

Вихідні дані для розрахунку: Необхідний об'єм очищеної води (пермеату) на одну партію (L_k) становить 0.1 м³ (100 л). Для забезпечення технічних потреб (промивання обладнання) закладається додатковий об'єм 20%, отже розрахункова потреба складає 120 л/цикл. Солевміст вхідної води (x_0) прийнято на рівні 265 мг/дм³ (згідно з даними експериментальної частини), а цільовий солевміст пермеату (x_k) — не більше 20 мг/дм³. Коефіцієнт виходу пермеату (α) для установок малої продуктивності прийнято на рівні 50% (0.5).

Рівняння матеріального балансу по потоку рідини описується формулою:

$$L_0 = L_k + W$$

де:

- L_0 — витрата вхідної води;
- L_k — витрата пермеату;
- W — витрата концентрату.

Виходячи з коефіцієнта виходу ($\alpha = 0.5$), необхідний об'єм вхідної води визначається як відношення потреби в пермеаті до коефіцієнта виходу:

$$L_0 = 120 / 0.5 = 240 \text{ л}$$

Відповідно, об'єм концентрату, що відводиться у дренаж або на рециклінг, становитиме різницю між вхідним потоком та продуктом, тобто 120 л.

Баланс по сухих речовинах (солевмісту) розраховується за рівнянням:

$$L_0 \cdot x_0 = L_k \cdot x_k + W \cdot x_w$$

Шляхом підстановки відомих значень визначено прогнозований солевміст концентрату (x_w), який складе 510 мг/дм³. Це значення є важливим для оцінки можливості повторного використання концентрату для технічних потреб (миття підлоги), оскільки така мінералізація не є критичною для санітарних цілей.

Розрахунок та вибір мембранної установки:

Метою розрахунку є визначення необхідної площі мембран для забезпечення заданої продуктивності. Враховуючи періодичний характер виробництва, обрано режим роботи установки, що дозволяє наповнити накопичувальну ємність за 1 годину. Таким чином, розрахункова продуктивність по пермеату (W_p) становить 0.12 м³/год.

Необхідна робоча площа мембран (F_p) визначається за формулою:

$$F_p = W_p / G$$

де G — питома продуктивність мембрани, яка для низьконапірних елементів складає близько 0.04–0.06 м³/(м²·год).

$$F_p = 0.12 / 0.05 = 2.4 \text{ м}^2$$

Для забезпечення такої площі фільтрації доцільно використати один стандартний мембранний елемент типорозміру 4040 (наприклад, Dow Filmtac LC LE-4040 або аналог), який має активну площу близько 7-8 м². Вибір цього типорозміру забезпечує значний запас продуктивності (до 250 л/год), що дозволяє компенсувати зниження потоку взимку (через падіння температури води) та збільшити ресурс роботи мембрани. На основі розрахунку обрано комерційну систему зворотного осмосу типу Ecosoft MO-6500 (або аналог на рамі з насосом високого тиску).

Розрахунок баку для накопичення води:

У відділенні водопідготовки необхідна буферна ємність для накопичення очищеної води перед її подачею на виробництво суслу. Розрахунок геометричного об'єму ємності проводиться з урахуванням об'єму однієї партії напою, води на промивку та необхідного запасу вільного простору.

Робочий об'єм (V_p) визначається сумарною потребою води на технологічний цикл (120 л). Геометричний об'єм ємності (V_{geom}) повинен перевищувати робочий на 15–20% для запобігання переливу:

$$V_{geom} = 120 + (120 \cdot 0.2) = 144 \text{ л}$$

Виходячи з доступних на ринку стандартних типорозмірів харчових ємностей, обрано вертикальний циліндричний бак з харчового поліетилену об'ємом 200 л. Це забезпечує необхідний запас для можливого масштабування виробництва до 150 л/партію без заміни обладнання.

Гідравлічний розрахунок та вибір насосу:

Для подачі підготовленої води з накопичувального баку в варильний котел (реактор-змішувач) необхідно підібрати насос. Розрахунок напору насосу (Н) проводиться за рівнянням Бернуллі з урахуванням геометричної висоти підйому та гідравлічних втрат:

$$H = (p_2 - p_1) / (\rho \cdot g) + H_g + h_{втр}$$

де:

- $p_2 - p_1$ — надлишковий тиск на виході (приймаємо 0, вільний вилив);
- H_g — геометрична висота підйому (різниця рівнів між дном баку та верхом реактора, приймаємо 2.5 м);
- $h_{втр}$ — сумарні втрати напору в трубопроводі.

Приймаючи довжину трубопроводу 10 м, діаметр труби 20 мм та наявність місцевих опорів (відводи, крани), розрахункові втрати напору складають близько 2-3 м вод. ст.

Отже, необхідний напір насосу:

$$H = 0 + 2.5 + 3.0 = 5.5 \text{ м}$$

Необхідна подача (Q) визначається бажаним часом перекачування об'єму 100 л. Для оптимізації процесу цей час не повинен перевищувати 10 хвилин (0.16 год).

$$Q = 0.1 / 0.16 = 0.625 \text{ м}^3/\text{год}$$

За розрахованими параметрами ($Q \approx 0.6 \text{ м}^3/\text{год}$, $H \approx 6 \text{ м}$) обрано відцентровий насос з нержавіючої сталі санітарного виконання (наприклад, серії Novax 20 В), який забезпечує подачу до $1.5 \text{ м}^3/\text{год}$, що перекриває розрахункові потреби.

Розрахунок фільтру механічного очищення:

Для захисту мембрани зворотного осмосу від зважених часток передбачено встановлення механічного фільтру. Розрахунок необхідної площі фільтрації проводиться виходячи з допустимої швидкості фільтрування (v) та продуктивності установки ($Q_{го} \approx 0.25 \text{ м}^3/\text{год}$).

Для картриджних фільтрів спіненого поліпропілену рекомендована швидкість фільтрування не повинна перевищувати 20-40 м/год. Враховуючи малу продуктивність, доцільно використовувати стандартні корпуси типу Big Blue 10" або 20". Площа фільтрації стандартного картриджа Big Blue 10" складає близько 0.5–0.8 м², що при заданому потоці забезпечує мізерно малу швидкість фільтрації (менше 1 м/год), гарантуючи високу ефективність очищення та

низький гідравлічний опір. Тому обрано магістральний фільтр типорозміру Big Blue 10" з рейтингом фільтрації 5 мкм.

Розрахунок витрат сировини та матеріалів:

База розрахунку: 1 партія готового продукту = 100 л.

1. Основна сировина (Мед та Дріжджі)

Мед:

Згідно зі стандартизованою методикою (п. 2.2) та технологічною інструкцією (п. 3.3.1), витрата меду становить 185 г на 1 л сусла.

На партію 100 л:

$$185 \text{ г/л} \times 100 \text{ л} = 18\,500 \text{ г} = 18.5 \text{ кг}$$

Примітка: Враховуючи неминучі втрати при переливах (1-2%), закладаємо 19.0 кг.

Дріжджі (*Saccharomyces cerevisiae*, штам M05):

Рекомендоване дозування для крафтового виробництва (п. 3.3.1): 2.5 г/л (або 250 г/л).

На партію 100 л:

$$2.5 \text{ г/л} \times 100 \text{ л} = 250 \text{ г}$$

Допоміжні (Лимонна кислота/Сік):

Для корекції pH сусла перед бродінням (якщо не використовується кислий мед): орієнтовно 50-100 г на партію.

2. Вода (Вхідна сировина)

Вода для продукту (Пермеат):

Для отримання 100 л готового напою (з урахуванням об'єму, який займає мед ~13 л) потрібно близько 87 л води.

Але ми готуємо 100 л води для зручності та технічних потреб (промивка). Приймаємо потребу в пермеаті $L_k = 100$ л.

Вхідна вода (Водопровідна):

Згідно з розрахунком матеріального балансу (п. 5.1.1), при виході пермеату 50% ($\alpha=0.5$):

$$L_o = 100 \text{ л} / 0.5 = 200 \text{ л}$$

Вода на мийку (Технічна):

Згідно з нормативами (п. 5.2.2): 3 л на 1 л продукту = 300 л.

Економія MLD: 100 л з них ми беремо з концентрату RO.

Тому свіжої води на мийку треба: $300 - 100 = 200$ л.

Разом свіжої води на партію:

$$200 \text{ (RO)} + 200 \text{ (мийка)} = 400 \text{ л}$$

3. Хімічні реагенти для водопідготовки (Ремінералізація)

Розрахунок наважок на 100 л пермеату для створення цільового профілю (Ca 100, Mg 25, Лужність 100), згідно з п. 3.3.3:

					ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Сода харчова (NaHCO_3):

Ціль: Лужність 100 мг/дм^3 .

Розрахунок: 16.8 г

Сульфат магнію ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$):

Ціль: Mg^{2+} 25 мг/дм^3 .

Розрахунок: 25.3 г

Хлорид кальцію ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$):

Ціль: Ca^{2+} 100 мг/дм^3 .

Розрахунок: 36.7 г

4. Електроенергія

Насос RO:

Потужність 0.55 кВт . Час роботи для 100 л пермеату (при 250 л/год) = 0.4 год.

Витрата: $0.55 \times 0.4 = 0.22 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Нагрів води (Пастеризація):

Нагрів 100 л від 15°C до 60°C ($\Delta T = 45^\circ\text{C}$).

Енергія:

$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4187 \cdot 100 \cdot 45 = 18\,841\,500 \text{ Дж} \approx 5.2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Загалом на партію: $\approx 5.5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Таблиця 5.1.

Потреби на 1 партію (100 л) та на Місяць (1000 л)

Найменування ресурсу	Од. виміру	Витрата на 1 партію (100 л)	Витрата на місяць (1000 л)	Примітка
Сировина				
Мед натуральний	кг	19.0	190.0	Основний компонент собівартості
Дріжджі (M05)	г	250	2500	
Лимонна кислота	г	50	500	
Водопостачання				
Вода вхідна (загальна)	м^3	0.4	4.0	Вкл. мийку та RO
Реагенти (Солі)				
Натрій двовуглекислий (NaHCO_3)	г	16.8	168	

Магній сульфат ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	г	25.3	253	
Кальцій хлорид ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	г	36.7	367	
Енергоносії				
Електроенергія	кВт·год	5.5	55.0	RO + Нагрів сусла
Витратні матеріали				
Картриджі фільтрів (PP 5 мкм)	шт	0.1	1	Заміна раз на місяць/10 партій
Вугілля активоване	кг	0.2	2.0	Ресурс засипки

Соціальне значення результатів дослідження:

Окрім прямих економічних показників, впровадження розробленої технології має глибоке соціальне значення, яке проявляється у трьох ключових аспектах .

По-перше, це підвищення рівня безпечності харчової продукції та захист здоров'я споживачів. Використання води з муніципальних джерел або свердловин без глибокої доочистки несе приховані хімічні ризики, навіть якщо вода формально відповідає санітарним нормам. Впровадження стадії зворотного осмосу в поєднанні з системою НАССР (ККТ-3) гарантує видалення потенційно небезпечних сполук, які не завжди контролюються стандартним моніторингом, таких як залишки пестицидів, нітрати та важкі метали. Це забезпечує споживача продуктом гарантованої чистоти, що відповідає сучасним вимогам до здорового харчування.

По-друге, розробка робить вагомий внесок у розвиток локальної економіки та галузі бджільництва. Україна є одним зі світових лідерів з експорту меду, проте переважно як сировини з низькою доданою вартістю. Розвиток крафтового медоваріння дозволяє переробляти цю сировину всередині країни, створюючи кінцевий продукт з високою маржинальністю. Запропонована технологія водопідготовки надає малим фермерським господарствам та пасікам доступний інструмент для виробництва стабільного, якісного напою, що сприяє створенню нових робочих місць у регіонах та підвищенню рентабельності бджільництва.

По-третє, проєкт сприяє відродженню культурних традицій медоваріння на науковій основі. Історично сформований стереотип про медовуху як про нестабільний продукт часто стримує розвиток галузі. Застосування наукового підходу до водопідготовки дозволяє отримати напій преміальної якості — з чистим ароматом та збалансованим смаком. Це змінює сприйняття традиційного

українського продукту, виводячи його на рівень сучасних світових стандартів крафтового виробництва.

5.2. Екологічні проблеми у виробництві та шляхи їх вирішення

Екологізація сучасного виробництва передбачає не лише дотримання нормативів викидів, а й перехід до раціонального використання природних ресурсів. У контексті водопідготовки ключовим завданням є мінімізація водного сліду продукції, що стає особливо актуальним при впровадженні мембранних технологій.

Аналіз впливу на водоспоживання і проблема утилізації концентрату RO:

Впровадження установки зворотного осмосу, необхідне для гарантування безпечності та якості напою, неминуче призводить до зміни водного балансу підприємства. Специфіка мембранного розділення полягає у тому, що вхідний потік води розділяється на два: очищений пермеат та концентрат, в якому акумулюються всі видалені солі. Згідно з розрахованим матеріальним балансом, на кожні 100л. продуктивної води генерується аналогічний об'єм концентрату. У традиційних схемах водопідготовки цей потік направляється безпосередньо у каналізаційну мережу, що фактично подвоює обсяги забору свіжої води з джерела та збільшує гідравлічне навантаження на очисні споруди. Такий підхід є екстенсивним і суперечить принципам сталого розвитку, створюючи екологічну проблему нераціонального використання водних ресурсів.

Шляхи вирішення:

Для вирішення ідентифікованої проблеми та нівелювання негативного впливу на довкілля у роботі обґрунтовано доцільність впровадження стратегії мінімального скиду рідини (MLD). Аналіз хімічного складу концентрату показує, що він не містить токсичних забруднювачів, а лише характеризується підвищеною концентрацією природних солей жорсткості. Це дозволяє класифікувати його як цінний вторинний ресурс, придатний для технічного використання. Запропонована технологічна схема передбачає збір концентрату в окремий накопичувальний резервуар та його подальше використання для первинної мийки тари, прибирання виробничих приміщень та санітарних потреб, що дозволяє замінити використання свіжої водопровідної води для цих цілей.

Ефективність запропонованого рішення підтверджено розрахунком питомого водоспоживання. У базовому сценарії роботи без водопідготовки, через високий рівень технологічного браку (15%) та втрати води на мийку некондиційної продукції, питома витрата становить 4.72 л. на 1 дм³ готового напою. Просте впровадження осмосу без рециклінгу збільшило б цей показник до 5.00 л./дм³. Однак інтеграція системи повторного використання концентрату

					ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			68

дозволяє знизити питоме водоспоживання до 4.00л. на 1 дм³ продукту. Таким чином, завдяки комплексному підходу — ліквідації виробничого браку та рециклінгу технічної води — досягається реальна економія водних ресурсів на рівні 15.2%. Додатковим заходом раціонального природокористування є організація роздільного збору та передачі на переробку твердих відходів (відпрацьованих полімерних картриджів та мембран), що мінімізує вплив виробництва на екосистему.

Висновки за розділом

Проведене у даному розділі комплексне техніко-економічне та екологічне дослідження переконливо свідчить про доцільність імплементації розробленої технології водопідготовки у виробничий процес крафтових медових напоїв. Розрахунок показників ефективності продемонстрував, що інвестиції в модернізацію обладнання є економічно виправданими, оскільки термін окупності проєкту становить 10.7 місяців, що є високим показником ліквідності для виробничих потужностей. Досягнення такого фінансового результату забезпечується переважно завдяки мінімізації виробничих ризиків та усуненню втрат дороговартісної сировини, ймовірність яких у базовому сценарії без належної водопідготовки оцінюється на рівні 15%.

Важливим аспектом впровадження є соціальна значущість розробки, яка полягає у підвищенні гарантій безпечності харчових продуктів через видалення токсичних домішок, а також у підтримці розвитку малого підприємництва, надаючи локальним виробникам інструменти для випуску конкурентоспроможної продукції стабільно високої якості. З позицій екологічної відповідальності запропоноване інженерне рішення повністю відповідає принципам сталого розвитку. Реалізація стратегії мінімального скиду рідини (MLD) шляхом повторного використання концентрату зворотного осмосу для технічних потреб дозволила знизити розрахункове питоме водоспоживання на 15.2%, перетворюючи потенційний недолік мембранної технології на фактор ресурсозбереження. Крім того, відмова від традиційних реагентних методів пом'якшення води суттєво зменшила загальне хімічне навантаження виробництва на довкілля.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У кваліфікаційній магістерській роботі вирішено важливе науково-прикладне завдання підвищення якості та стабільності виробництва крафтових ферментованих напоїв на основі меду. Шляхом теоретичного узагальнення та експериментальних досліджень розроблено та науково обґрунтовану технологію водопідготовки, яка забезпечує прогнозованість біотехнологічних процесів та високі органолептичні показники готового продукту.

На основі аналізу біохімічних особливостей медового суслу науково обґрунтовано невідповідність стандартних санітарних вимог до питної води специфічним технологічним потребам медоваріння. Доведено, що низька буферна ємність та дефіцит поживних речовин у медовому розчині роблять процес ферментації критично залежним від іонного складу води, тоді як використання води, що лише формально відповідає ДСанПіН 2.2.4-171-10, несе ризики потрапляння інгібіторів та виникнення технологічних дефектів. Для розв'язання цієї проблеми запропоновано та адаптовано стратегію двостадійної водопідготовки, що передбачає глибоке знесолення методом зворотного осмосу з подальшою контрольованою ремінералізацією.

У ході експериментальних досліджень встановлено кількісний вплив іонного складу води на кінетику ферментації. Визначено, що критичним фактором стабілізації метаболізму дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* є забезпечення загальної лужності на рівні 100 мг/дм³ (у перерахунку на CaCO₃), що ефективно буферизує середовище, утримуючи рН у фізіологічному оптимумі (3.7–3.8) та запобігаючи «кислотному шоку». Також встановлено, що концентрація іонів магнію 25 мг/дм³ є необхідним мінімумом для активації ферментів гліколізу, що дозволяє досягти повного зброджування цукрів (залишкова густина < 1.0 °Вх) та уникнути передчасної зупинки бродіння.

Окрему увагу приділено механізму природного освітлення напою. Дослідження впливу іонів кальцію на флокуляцію дріжджової біомаси показало, що підвищення вмісту Ca²⁺ до рівня 100–130 мг/дм³ ініціює формування щільного осаду та забезпечує високу прозорість надосадової рідини (залишкова каламутність 1–5 NTU) без використання допоміжних оклеювальних матеріалів. За допомогою математичного моделювання та методу узагальненої функції бажаності Харрінгтона проведено оптимізацію технологічних параметрів, в результаті якої визначено точку технологічного оптимуму: концентрація кальцію 74.5 мг/дм³ та тривалість витримки 7.6 діб. Доведено, що скорочення циклу з традиційних 12 до розрахункових 7.6 діб є економічно доцільним, оскільки дозволяє інтенсифікувати обіг бродильного обладнання на 36% без суттєвої втрати якості.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Практична цінність роботи полягає у розробці удосконаленої апаратурно-технологічної схеми на базі установки зворотного осмосу та вузла дозування солей, яка інтегрована з планом НАССР для гарантування безпечності продукції. Розрахунок економічної ефективності підтвердив, що термін окупності капітальних інвестицій становить 10.7 місяців, а основний ефект досягається завдяки ліквідації виробничого браку (ризик якого у базовому варіанті становить 15%) та втрат дороговартісної сировини. Впровадження запропонованої стратегії MLD (Minimal Liquid Discharge) шляхом повторного використання концентрату для технічних потреб дозволяє скоротити питоме водоспоживання з 4.72 до 4.00 л/дм³ готового продукту, забезпечуючи економію водних ресурсів на рівні 15.2%.

Для впровадження результатів дослідження у промислове та крафтове виробництво рекомендується застосовувати стадію водопідготовки методом зворотного осмосу як обов'язкову для нівелювання сезонних коливань складу води. Технологічний процес приготування суслу доцільно проводити на воді з профільованим мінеральним складом (лужність 90-100 мг/дм³, Mg²⁺ 25-30 мг/дм³, Ca²⁺ 75–100 мг/дм³), що гарантує стабільність бродіння. З метою підвищення рентабельності виробництва пропонується оптимізувати графік використання обладнання, скоротивши тривалість етапу холодного освітлення до 8 діб, а також впровадити систему рециклінгу концентрату для зменшення екологічного навантаження.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ринок крафтових алкогольних напоїв в Україні: стан, тенденції та перспективи розвитку / О. В. Осіпова, А. О. Болгова // Товари і ринки. 2024. № 1. С. 41–51. URL: <http://journals.knute.edu.ua/commodities-and-markets/article/view/2344> (дата звернення: 13.11.2025).
2. Верхівкер Я.Г., Бессараб О.С., Нікітчина Т.І. Технологічний інжиніринг підприємств харчової галузі : навч. посіб. /; за ред. Я. Г. Верхівкера ; Одес. нац. акад. харч. технол., Нац. ун-т харч. технол.— Одеса: Освіта України, 2017.— 144с.
3. Орлов В. О., Литвиненко Л. Л., Орлова А. М. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. Київ : Знання, 2014. 278 с. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. [Чинний 2015-02-01]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 25 с.
4. Kueck, A. Influence of Water Chemistry on the Fermentation and Flavor Profiles of Traditional Mead. *American Homebrewers Association*. 2015. URL: <https://www.homebrewersassociation.org/wp-content/uploads/2015/04/Influence-of-Water-Chemistry-on-Mead-AHA-Research-Education-Fund.pdf> (дата звернення: 13.11.2025).
5. Guild, J. Water Profile for Mead Making? *GotMead Forum*. 2007. URL: <https://gotmead.com/community/threads/water-profile-for-mead-making.14545/> (дата звернення: 13.11.2025).
6. The Science Behind Mead Fermentation. *Lyme Bay Winery Blog*. 2024. URL: <https://lymebaywinery.co.uk/blog/the-science-behind-mead-fermentation/> (дата звернення: 13.11.2025).
7. The Science Behind Making Mead. *Hanna Instruments Blog*. 2021. URL: <https://blog.hannainst.com/honey-wine> (дата звернення: 13.11.2025).
8. Вимоги щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР): Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 01.10.2012 № 590. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1704-12#Text> (дата звернення: 13.11.2025).
9. Palmer, J. *Water: A Comprehensive Guide for Brewers*. Boulder, CO: Brewers Publications, 2013. 288 p.
10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10): наказ МОЗ України від 12.05.2010 № 400. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 01.07.2010 за № 452/17747.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

- 11.Пінчук І. М., Косінова С. А. Управління безпечністю води на харчових підприємствах за системою НАССР // Продовольча індустрія АПК. 2018. № 2. С. 25–31.
- 12.Водопідготовка у харчовій промисловості: технологічні аспекти / за ред. В. А. Смирнова. Київ: НУХТ, 2019. 320 с.
- 13.Вода для приготування пива, пивоварні. *FilterPoint*. URL: <https://filterpoint.com.ua/voda-dlja-prigotuvannja-piva-pivovarni-ua> (дата звернення: 13.11.2025).
- 14.Чому фільтрація води важлива для пивоварів. *Akvo*. URL: <https://akvo.com.ua/ua/articles/1608-pochemu-filtratsiya-vodyi-vajna-dlya-pivovarov> (дата звернення: 13.11.2025).
- 15.Вода для броварні. *Блог Ecosoft*. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/voda-dlya-pivovareniya/> (дата звернення: 13.11.2025).
- 16.Магній в оптимізації живлення рослин. *Plant Nutrient Institute*. URL: <https://pni.com.ua/optimizatsiya-zhivlennya/%D0%BC%i%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B5-%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%i%D1%96%D0%B9/> (дата звернення: 13.11.2025).
- 17.Raise pH in mead. *Reddit r/mead*. 2023. URL: https://www.reddit.com/r/mead/comments/13rfs9w/raise_ph_in_mead/?tl=ru (дата звернення: 13.11.2025).
- 18.Якість питної води. *Інфоксводоканал*. (Одеса). URL: <https://infoxvod.com.ua/uk/iakist-pitnoyi-vodi/> (дата звернення: 13.11.2025).
- 19.Нормативи на питну воду. Яка повинна бути вода? *УкрХімАналіз*. 2017. URL: <https://himanaliz.ua/uk/normativi-na-pitnu-vodu-yaka-povinna-bu/> (дата звернення: 13.11.2025).
- 20.Показники якості питної води. *КП "Вінницяоблводоканал"*. URL: <https://vinvk.com.ua/2015-07-21-08-02-13/pokazniki-yakosti-pitnoji-vodi?start=87> (дата звернення: 13.11.2025).
- 21.Understanding Alkalinity. *Water Science School, USGS*. URL: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/alkalinity-and-water> (дата звернення: 13.11.2025).
- 22.Stewart, G. G. The role of magnesium in yeast fermentation. *BrewingScience*. 2017. URL: <https://www.brewingscience.com/the-role-of-magnesium-in-yeast-fermentation/> (дата звернення: 13.11.2025).

23. Removing Chlorine and Chloramine from Brewing Water. *BYO (Brew Your Own) Magazine*. URL: <https://byo.com/article/removing-chlorine-and-chloramine-from-brewing-water/> (дата звернення: 13.11.2025).
24. Water Treatment for Brewing. *John Palmer's How to Brew*. URL: <http://www.howtobrew.com/book/section-3/understanding-the-mash-ph/water-treatment> (дата звернення: 13.11.2025).
25. Chlorophenols. K. L. W. Brew. Wiki. URL: <https://klwbrew.wiki/index.php/Chlorophenols> (дата звернення: 13.11.2025).
26. Вугільні фільтри для води. Блог *Ecosoft*. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/ugolnyye-filtry-dlya-vody-vse-cho-vy-khoteli-znat/> (дата звернення: 13.11.2025).
27. Залізо та марганець у воді. Блог *Ecosoft*. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/zhelezo-i-marganets-v-vode-pochemu-poyavlyayutsya-i-kak-ubrat/> (дата звернення: 13.11.2025).
28. Що таке пом'якшення води? *WaterSmart*. URL: <https://watersmart.ua/ua/stati/cho-takoe-umyagchenie-vody/> (дата звернення: 13.11.2025).
29. How Sodium and Water Softeners Affect Your Brew. *American Homebrewers Association*. URL: <https://www.homebrewersassociation.org/zymurgy-article/how-sodium-and-water-softeners-affect-your-brew/> (дата звернення: 13.11.2025).
30. Водопідготовка для пивоваріння. *Aqua Technology*. URL: <https://aquatechnology.com.ua/ua/article/vodopodgotovka-dlya-pivovareniya> (дата звернення: 13.11.2025).
31. Що таке зворотний осмос? *Filter.ua*. URL: <https://filter.ua/ua/stati/cho-takoe-obratnyy-osmos-i-kak-on-rabotaet/> (дата звернення: 13.11.2025).
32. Комерційний зворотний осмос. Блог *Ecosoft*. URL: <https://ecosoft.ua/ua/blog/kommercheskiy-obratnyy-osmos-vse-cho-nuzhno-znat/> (дата звернення: 13.11.2025).
33. Водопідготовка для пивоваріння та виробництва крафтових напоїв. *Ahavk*. URL: <https://ahavk.com.ua/ua/vodopodgotovka-dlya-pivovareniya-i-proizvodstva-kraftovyh-napitkov> (дата звернення: 13.11.2025).
34. Boulton, R. B., Singleton, V. L., Bisson, L. F., & Kunkee, R. E. *Principles and Practices of Winemaking*. New York: Springer, 1999. pp. 154-160.
35. Catalytic Carbon vs. Standard Carbon: What's the Difference? *FreshWater Systems*. URL: <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/catalytic-carbon-vs-standard-carbon-whats-the-difference> (дата звернення: 13.11.2025).
36. Danilewicz, J. C. Review of the mechanisms of metal-catalyzed oxidation of wine. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2016. Vol. 67. pp. 233-242.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

- 37.ДСТУ ISO 10523:2014. Якість води. Визначення рН (ISO 10523:2008, IDT).
- 38.ДСТУ ISO 9963-1:2001. Якість води. Визначення лужності. Частина 1. Визначення загальної та карбонатної лужності (ISO 9963-1:1994, IDT).
- 39.ДСТУ ISO 6059:2003. Якість води. Визначення сумарного вмісту кальцію та магнію. Титриметричний метод з використанням етилендіамінтетраоцтової кислоти (ISO 6059:1984, IDT).
- 40.ДСТУ ISO 9297:2007. Якість води. Визначення хлоридів. Титриметричний метод з використанням нітрату срібла та хроматним індикатором (метод Мора) (ISO 9297:1989, IDT).
- 41.Оптимізація та статистичні методи аналізу в харчових технологіях: навч. посіб. / О. А. Єщенко, А. І. Українець. Київ: НУХТ, 2018. 244 с.
- 42.Орлов В. О., Литвиненко Л. Л., Орлова А. М. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. Київ : Знання, 2014. 278 с.ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. [Чинний 2015-02-01]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 25 с.
- 43.ДСТУ 4497:2005. Мед натуральний. Технічні умови.
- 44.Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів: Закон України від 23.12.1997 № 771/97-ВР. Дата оновлення: 20.12.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-вр%23Text#Text> (дата звернення: 14.11.2025).
- 45.ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT). [Чинний від 2016-01-07]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 45 с.
- 46.Впровадження системи НАССР для операторів ринку харчових продуктів: практ. посіб. / А. С. Ткаченко, Ю. О. Басова, О. О. Горячова та ін.; за ред. А. С. Ткаченко. Полтава: ПУЕТ, 2020. 137 с.
- 47.Чорна Т.М., Гусятинська Н.А.Екологічні та економічні аспекти питного водопостачання в Україні. ЕТЕВК-2019 міжнародний конгрес та технічна виставка : зб. допов., 10-14 червня 2019 р., м. Чорноморськ Україна. – Чорноморськ, 2019. – С. 78–90.
- 48.Чорна Т.М., Гусятинська Н.А. Удосконалення технологій водопідготовки як один із шляхів досягнення цілей сталого розвитку. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Європейські Виміри Сталого Розвитку», 26 червня 2020. – К.: НУХТ, 2020 .- С. 52.
- 49.Стрижак Д.В., Гусятинська Н.А. Розроблення модульної установки для очищення підземних вод з високою мінералізацією. Харчова промисловість. 2024. 36. С. 92-102. DOI: <https://nuft.edu.ua/doi/doc/fi/2024/36/11.pdf>

					СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			75

50. Чорна Т., Гусятинська Н., Dziubińska A. Питне водопостачання в Україні: сучасні виклики на шляху досягнення цілей сталого розвитку. Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 14 – 15 листопада 2024 р. — К.: НУХТ, 2024: С. С. 156-158.
51. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів: Закон України: від 22.07.2014 р. № 1602-VII] Відомості Верховної Ради України. 2014. № 41-42. С. 2024.
52. ДБН А.2.2-3-2014. Державні будівельні норми України Склад та зміст проектної документації на будівництво. [Чинний від 2014-10-01]. Київ: Мінрегіон України, 2014. 34 с.
53. Козлов А. В. Сучасні методи підготовки води для виробництва пива / А. В. Козлов, І. В. Карпович // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : матеріали 91-ї Міжнар. наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 7–11 квіт. 2025 р. — К. : НУХТ, 2025. — Ч. 1. — С. 148.

					СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

ДОДАТКИ

Ministry of Education and Science of Ukraine

National University of Food Technologies

**91th
International scientific conference
of young scientist and students**

**"Youth scientific achievements
to the 21st century nutrition
problem solution"**

April, 7–11 2025

Part 1

Kyiv, NUFT, 2025

					Додатки	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

91-а
Міжнародна наукова
конференція молодих учених,
аспірантів і студентів

**"Наукові здобутки молоді –
вирішенню проблем
харчування людства у ХХІ
столітті"**

7–11 квітня 2025 р.

Частина 1

Київ НУХТ 2025

91st International scientific conference of young scientist and students "Youth scientific achievement to the 21st century nutrition problem solution", April, 7–11, 2025. Book of abstract. Part 1. NUFT, Kyiv.

The publication contains materials of 91th International scientific conference of young scientists and students "Youth scientific achievements to the 21st century Nutrition problem solution".

It was considered the problems of improving existing and creating new energy and resource saving technologies for food production based on modern physical and chemical methods, the use of unconventional raw materials, modern technological and energy saving equipment, improve of efficiency of the enterprises, and also the students research work results for improve quality training of future professionals of the food industry.

The publication is intended for young scientists and researchers who are engaged in definite problems in the food science and industry.

ISBN 978-966-612-358-2

© NUFT, 2025

Матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 7–11 квітня 2025 р. – Київ: НУХТ, 2025. – Ч.1. – 347 с.

Видання містить матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті".

Розглянуто проблеми удосконалення існуючих та створення нових енерго- та ресурсощадних технологій для виробництва харчових продуктів на основі сучасних фізико-хімічних методів, використання нетрадиційної сировини, новітнього технологічного та енергозберігаючого обладнання, підвищення ефективності діяльності підприємств, а також результати науково-дослідних робіт студентів з метою підвищення якості підготовки майбутніх фахівців харчової промисловості.

Розраховано на молодих науковців і дослідників, які займаються означеними проблемами у харчовій науці та промисловості.

ISBN 978-966-612-358-2

© НУХТ, 2025

					Додатки	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

1. Сучасні методи підготовки води для виробництва пива

Анатолій Козлов, Інна Карпович

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Підготовка води є ключовим етапом у виробництві пива, вона повинна відповідати жорстким технологічним вимогам та санітарним нормам. Контроль якості води дозволяє забезпечити стабільність смаку, аромату та кольору пива.

Матеріали та методи. Матеріалом дослідження є вода з різних природних джерел (артезіанської та річкової) та водопровідна вода. У дослідженні використано методи аналізу хімічного складу води, її фізико-хімічних та мікробіологічних показників. Основні методи очищення включають механічну фільтрацію, зворотний осмос, іонообмінну обробку.

Результати та обговорення. Пиво – це слабоалкогольний напій, який одержують спиртовим бродінням солодового сусла (найчастіше, на основі ячменю) за допомогою дріжджів та з додаванням хмелю. Вода, яка використовується на пивоварних заводах, зокрема для приготування пивного сусла, може надходити з водопровідної мережі або з артезіанських свердловин. Незалежно від джерела водозабору, вода повинна відповідати вимогам ДСанПіН, які визначають допустимі значення показників та додатковими вимогами до води для пивоваріння. У процесі пивоваріння вода повинна мати строго контрольовані характеристики, оскільки навіть незначні відхилення від норми можуть суттєво вплинути на кінцевий смак напою. Процес очищення води з джерела залежить від її якості і складається з багатьох етапів, які застосовують із різною послідовністю: відстоювання та коагуляція; пом'якшення; знезалізнення; знезараження; фільтрування.

Одним із найефективніших методів підготовки води є зворотний осмос, який дозволяє видаляти до 99% розчинених солей, металів і мікроорганізмів. Цей метод забезпечує можливість отримання води з контрольованою мінералізацією, що дозволяє виробникам пива налаштовувати її склад відповідно до специфіки кожного сорту.

Окрім цього, важливу роль відіграє іонообмінний процес, який використовується для регулювання вмісту кальцію, магнію та інших іонів. Іонообмінні смоли дозволяють заміщувати небажані іони на інші, що сприяє оптимізації хімічного складу води. Окрім мінерального складу, значну увагу приділяють рівню кислотності води (рН), який має бути в межах 5,0-7,0. Від цього параметра залежить здатність ферментів розщеплювати крохмаль у солоді та утворювати необхідні цукри для бродіння. Надлишок заліза у воді є небажаним, оскільки навіть незначна його кількість може спричинити

окислення та зіпсувати смак пива. Впливу забруднень органічного та мікробіологічного походження запобігають методи озонування та ультрафіолетового знезараження.

Сучасні технології підготовки води дозволяють створювати воду необхідної якості, який найкраще відповідає певному виду пива, забезпечуючи його стабільну якість та смакові характеристики.

Висновок. Контроль складу води є критичним фактором у забезпеченні стабільності процесу пивоваріння та характеристик кінцевого продукту. Подальші дослідження спрямовані на розробку адаптивних методів водопідготовки для різних сортів пива.

					Додатки	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81