

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені В. Н. Каразіна

**Кафедра неорганічної хімії**

УДК 664



До захисту допускаю

В. о. зав. кафедри

к.х.н., доц. М. М. Волобуєв

«16» травня 2025 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЛУЖНОГО ОЧИЩЕННЯ ДИФУЗІЙНОГО СОКУ  
З ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

Кваліфікаційна робота магістра

II курсу хімічного факультету

КАЗАКОВОЇ МАРГАРИТИ

ОЛЕКСІЇВНИ

Науковий керівник

к.х.н., доц.



Т. В. Черножук

ХАРКІВ 2025

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота міститься на 32 стор., має 3 розділи, 1 таблицю, 4 рисунки, використано 20 джерел інформації.

Об'єкт дослідження: дифузійний сік, що утворюється на первинній стадії виробництва цукру.

Мета кваліфікаційної роботи – аналіз впливу параметрів лужної обробки на ступінь очищення соку від небажаних домішок органічного та неорганічного походження.

У роботі досліджено процеси лужного очищення дифузійного соку, отриманого з цукрових буряків.

Застосовано аналітичні та лабораторні методи (титриметричний аналіз, фотометрія та визначення основних фізико-хімічних показників соку до та після очищення).

Встановлено оптимальні умови лужного очищення, а саме: температура обробки 85 – 90 °С, концентрація вапняного молока – 0,15 – 0,20%, тривалість процесу – 15 – 20 хвилин. Отримані результати дозволили знизити вміст редуруючих речовин на 25%, а кольоровість соку – на 30%, що сприяє підвищенню ефективності подальшого очищення та зниженню втрат сахарози.

Результати мають практичне значення для цукрових заводів, бо дозволяють оптимізувати технологічні режими та зменшити витрати реагентів. Рекомендовано впровадження отриманих результатів у виробництво як на етапі модернізації обладнання, так і в межах адаптації існуючих технологій.

Значущість роботи полягає у підвищенні ефективності процесів очищення, що впливає на якість продукції та економічні показники підприємств.

Ключові слова: ЛУЖНЕ ОЧИЩЕННЯ, ДИФУЗІЙНИЙ СІК, ЦУКРОВІ БУРЯКИ, САХАРОЗА, ВАПНЯНЕ МОЛОКО, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ, ЦУКРОВЕ ВИРОБНИЦТВО, КОНЦЕНТРАЦІЯ ЛУГУ, ЯКІСТЬ СИРОВИНИ, ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ.

## ABSTRACT

The qualification work is contained on 32 pages, has 3 sections, 1 table, 4 figures, 20 sources of information were used.

Object of research: diffusion juice formed at the primary stage of sugar production.

The purpose of the qualification work is to analyze the influence of alkaline treatment parameters on the degree of purification of juice from unwanted impurities of organic and inorganic origin.

The work investigated the processes of alkaline purification of diffusion juice obtained from sugar beets.

Analytical and laboratory methods were used (titrimetric analysis, photometry and determination of the main physicochemical parameters of juice before and after purification).

Optimal conditions for alkaline purification were established, namely: treatment temperature 85 - 90°C, concentration of lime milk - 0.15 - 0.20%, process duration - 15 - 20 minutes. The results obtained allowed to reduce the content of reducing substances by 25%, and the color of the juice by 30%, which contributes to increasing the efficiency of further purification and reducing sucrose losses.

The results are of practical importance for sugar factories, as they allow optimizing technological modes and reducing reagent consumption. It is recommended to implement the obtained results in production both at the stage of equipment modernization and within the framework of adapting existing technologies.

The significance of the work lies in increasing the efficiency of purification processes, which affects the quality of products and economic indicators of enterprises.

Keywords: ALKALINE PURIFICATION, DIFFUSION JUICE, SUGAR BEET, SUGAR, MILK OF LIME, PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES, PURIFICATION TECHNOLOGY, SUGAR PRODUCTION, LYAD CONCENTRATION, RAW MATERIAL QUALITY, FOOD INDUSTRY.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	5
ВСТУП .....	6
1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД .....	8
1.1 Загальна характеристика дифузійного соку з цукрових буряків.....	8
1.2. Необхідність очищення та основні типи домішок .....	9
1.3 Теоретичні основи лужної коагуляції та дії вапняного молока.....	10
1.4 Особливості обладнання для промислового цукрового виробництва.....	12
1.5 Основні способи отримання дифузійного соку з цукрових буряків.....	13
1.6 Процес визначення оптимального рН і температури у процесі попередньої дефекації.....	15
1.7 Карбонізація (I і II ступені).....	16
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Мета та задачі експерименту.....	19
2.2 Методика проведення досліджень.....	19
2.3 Вибір вихідних матеріалів, реагентів та приладів.....	24
2.4 Вплив концентрації вапняного молока на ефективність очищення.....	25
2.5 Вплив температури та тривалості процесу.....	25
2.6 Аналіз отриманих результатів.....	26
2.7 Практичні рекомендації для виробництва.....	27
3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	28
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	31

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І  
ТЕРМІНІВ**

ВМС	–	Високомолекулярні сполуки
ICUMSA	–	International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis
pH	–	Водневий показник

## ВСТУП

Сучасне цукрове виробництво є одним із основних сегментів харчової промисловості, що забезпечує потреби населення та підприємств у кристалічному цукрі. Одним із головних джерел сировини для виробництва цукру в Україні є цукрові буряки. Процес переробки буряків включає низку важливих технологічних етапів, серед яких особливе місце займає очищення дифузійного соку. Саме на цьому етапі відбувається видалення домішок, які негативно впливають на якість цукру, стабільність виробничих процесів і тривалість експлуатації технологічного обладнання.

Дифузійний сік, отриманий із бурякової стружки, містить не тільки цукрози, але й велику кількість сторонніх речовин органічного та неорганічного походження: білків, пектинових речовин, кислот, барвників, мікроелементів тощо. Якщо ці речовини не видалити вчасно, вони ускладнюють подальші стадії очищення, погіршують кристалізацію, знижують вихід цукру та викликають утворення вторинних забруднень. Одним з найефективніших методів первинної очистки є лужна обробка, при якій із застосуванням вапняного молока осаджуються небажані компоненти.

Актуальність даної теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності процесів очищення соку в умовах модернізації та енергозбереження в харчовій промисловості. У зв'язку зі зростаючими вимогами до якості кінцевої продукції та зменшенням собівартості виробництва, пошук оптимальних умов лужного очищення дифузійного соку набуває особливого значення. Важливим також є питання зменшення втрат цукру на етапах обробки, що напряму впливає на економічну доцільність виробництва.

Світова практика показує, що сучасні цукрові заводи активно впроваджують інноваційні технології очищення, в тому числі автоматизацію процесів лужної обробки, контроль дозування реагентів, застосування нових коагулянтів і флокулянтів. Проте навіть при використанні класичної схеми з вапняним молоком важливим завданням залишається пошук оптимальних параметрів процесу — температури, концентрації, тривалості обробки. Саме ці чинники мають найбільший вплив на якість очищення, втрати сахарози та стабільність технологічного процесу.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження впливу різних параметрів лужного очищення на ефективність видалення домішок із дифузійного соку, а також

визначення оптимальних умов проведення процесу. Науково-технічне значення дослідження полягає у можливості вдосконалення технологічних схем очищення на підприємствах цукрової промисловості, що дозволить знизити витрати реагентів, зменшити енерговитрати та підвищити вихід цукру.

Вихідними даними для проведення роботи стали літературні джерела з теорії і практики очищення бурякового соку, нормативно-технічна документація, а також результати експериментальних досліджень, проведених у лабораторних умовах. У роботі передбачено виконання експериментальної частини, яка дозволить перевірити гіпотези щодо впливу параметрів очищення на якість соку та обґрунтувати доцільність їх зміни.

Таким чином, виконання даної кваліфікаційної роботи сприятиме поглибленню знань з хімії та технології переробки буряків, а також надасть практичні рекомендації для виробничих умов цукрових підприємств.

Висловлюємо щире подяку за забезпечення можливості проведення лабораторних досліджень Інституту продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук України, відділу технології цукру, цукристих речовин та інгредієнтів, і, зокрема, їх співробітникам.

## 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Загальна характеристика дифузійного соку з цукрових буряків

Дифузійний сік є первинним продуктом у процесі виробництва цукру з цукрових буряків. Він утворюється на етапі дифузії, коли подрібнена бурякова стружка контактує з гарячою водою, дозволяючи сахарозі переходити з клітин сировини у розчин. Дифузійний сік є складною багатокомпонентною системою, яка містить не лише цільовий продукт – сахарозу, а й значну кількість інших речовин, що впливають на його властивості та потребують подальшої обробки [1].

За своїм складом дифузійний сік зазвичай містить 12–15% сахарози, що становить основну частину сухих речовин. Вода є головним компонентом, займаючи 85–88% об'єму, що робить сік рідким і зручним для транспортування по технологічному ланцюжку. Однак, крім сахарози, у соку присутня значна кількість нецукрових речовин – приблизно 2–3% від загальної маси. Домішки включають органічні сполуки, такі як пектини, білки, органічні кислоти (щавлева, лимонна, молочна), а також неорганічні солі (калію, натрію, кальцію, магнію). Саме ці компоненти надають соку характерний мутний вигляд, темно-жовтий або коричневий колір і слабокисло реакцію середовища – рН зазвичай коливається в межах 6,0–6,5.

Фізико-хімічні властивості дифузійного соку визначають його поведінку на наступних етапах виробництва. Наприклад, в'язкість соку залежить від вмісту сухих речовин і температури: при охолодженні вона зростає, що може ускладнити фільтрацію. Густина соку становить приблизно 1,05–1,07 г/см<sup>3</sup>, що пов'язано з розчиненими речовинами. Температура соку після дифузії зазвичай залишається в межах 60–70 °С, оскільки процес екстракції відбувається за нагрівання, але її потрібно підтримувати, щоб уникнути випадання осаду чи розвитку мікроорганізмів. Сік також має певну кольоровість, яка зумовлена наявністю барвних речовин – продуктів розпаду цукрів або пігментів із буряків, таких як меланіни [2].

Важливо зазначити, що склад дифузійного соку може варіюватися залежно від якості сировини. Наприклад, буряки, вирощені на різних ґрунтах або зібрані в різних умовах, можуть мати різний вміст сахарози та домішок. Сезонні фактори, такі як дощі чи посуха, також впливають на концентрацію нецукрів. У результаті дифузійний сік є нестабільною сировиною, яка потребує негайної обробки, адже при зберіганні в ньому

можуть початися процеси бродіння чи гідролізу сахарози через присутність органічних кислот і мікрофлори.

Отже, дифузійний сік – це водний розчин сахарози з високим вмістом домішок, який характеризується слабокислою реакцією, мутністю та нестабільністю. Його основна цінність полягає у високій концентрації сахарози, але через присутність небажаних компонентів він потребує ретельного очищення, щоб забезпечити високу якість кінцевого продукту – кристалічного цукру [3].

## **1.2 Необхідність очищення та основні типи домішок**

Очищення дифузійного соку є обов'язковим етапом у цукровому виробництві, оскільки його первинний склад далекий від ідеального для кристалізації чистої сахарози. Без цього процесу домішки, які присутні в соці, ускладнюють технологію, знижують вихід цукру та погіршують якість готової продукції. Необхідність очищення зумовлена кількома факторами: по-перше, нецукрові речовини підвищують в'язкість соку, що перешкоджає випарюванню та кристалізації; по-друге, вони можуть забарвлювати цукор, надаючи йому небажаний відтінок; по-третє, деякі домішки сприяють утворенню меляси — побічного продукту, в якому втрачається частина сахарози. Таким чином, очищення не лише покращує технологічні показники, а й має економічне значення, зменшуючи втрати цінної сировини [4].

Домішки в дифузійному соку поділяються на дві великі групи: органічні та неорганічні, кожна з яких має свої особливості та впливає на процес виробництва по-різному. Органічні домішки становлять значну частину нецукрів і включають кілька основних типів. Пектини — це високомолекулярні сполуки (ВМС), полісахариди, які утворюють колоїдні розчини, підвищуючи мутність і в'язкість соку. Ці ВМС походять із клітинних стінок буряків і важко видаляються без спеціальної обробки. Білки, які також потрапляють у сік із рослинної тканини, можуть коагулювати при нагріванні, але в необробленому вигляді ускладнюють фільтрацію. Органічні кислоти, такі як щавлева, лимонна та молочна, надають соку кислотність і сприяють гідролізу сахарози, особливо за високих температур. Крім того, у соку присутні редуруючі цукри (глюкоза, фруктоза), які утворюються внаслідок часткового розпаду сахарози під час дифузії чи зберігання. Ці речовини не кристалізуються і залишаються в мелясі, знижуючи вихід цукру [5].

Неорганічні домішки представлені переважно солями, які надходять із буряків через ґрунт. Найпоширенішими є солі калію, натрію, кальцію та магнію, які підвищують зольність соку. Такі сполуки розчинні у воді й ускладнюють кристалізацію, оскільки змінюють розчинність сахарози та сприяють утворенню дрібних кристалів. Фосфати, які також належать до неорганічних домішок, можуть осідати при обробці, але в первинному соку вони додають мутності. Окремо варто згадати барвні речовини, які частково належать до органічних домішок (наприклад, продукти карамелізації чи меланіни), але їхня присутність суттєво впливає на зовнішній вигляд соку та майбутнього цукру, надаючи їм темний відтінок [6].

Необхідність очищення також пов'язана з технологічними вимогами до чистоти соку, яка визначається як відношення сахарози до загальної маси сухих речовин. У дифузійному соку чистота становить лише 85–90%, тоді як для ефективної кристалізації потрібно довести її до 92–95%. Без видалення домішок цього досягти неможливо, адже нецукри не лише "захоплюють" частину сахарози в мелясу, а й ускладнюють роботу обладнання, наприклад, підвищуючи навантаження на фільтри чи випарні апарати. Таким чином, очищення є критично важливим для оптимізації процесу, підвищення економічної ефективності та забезпечення високої якості цукру, що відповідає стандартам [7].

### **1.3 Теоретичні основи лужної коагуляції та дії вапняного молока**

Лужна коагуляція є методом очищення дифузійного соку в цукровому виробництві, а ключовим реагентом у цьому процесі виступає вапняне молоко — суспензія гідроксиду кальцію ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) у воді. Теоретичні основи цього процесу базуються на хімічних і фізичних взаємодіях між компонентами соку та лужним середовищем, які дозволяють видаляти нецукрові домішки шляхом їхнього осадження чи нейтралізації.

Дія вапняного молока починається з того, що гідроксид кальцію підвищує рН дифузійного соку з початкових 6,0–6,5 до лужного діапазону, зазвичай 10,8–11,2. Ця зміна кислотності запускає низку реакцій із домішками. Органічні кислоти, такі як щавлева, лимонна чи молочна, реагують із  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , утворюючи нерозчинні солі кальцію — оксалати, цитрати тощо. Ці сполуки випадають в осад, який потім можна відфільтрувати. Наприклад, щавлева кислота ( $\text{HOOC}-\text{COOH}$ ) перетворюється на

оксалат кальцію ( $(\text{COO})_2\text{Ca}$ ), що є стабільною твердою речовиною. Так само фосфати, присутні в соку як неорганічні домішки, зв'язуються з кальцієм, утворюючи кальційортофосфат ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), який також осідає [8].

Ще одна важлива функція вапняного молока – коагуляція колоїдних частинок, таких як пектини та білки. У кислому середовищі ці речовини перебувають у вигляді стійких колоїдних розчинів, що надають соку мутність і ускладнюють його обробку. При підвищенні рН до лужного рівня змінюється заряд на поверхні цих частинок, що призводить до їхньої дестабілізації. Пектини та білки злипаються в більші агрегати – коагулят, який легко осідає або захоплюється іншими осадами, такими як солі кальцію. Цей процес посилюється при нагріванні (85–90 °С), оскільки тепло прискорює молекулярний рух і сприяє агрегації.

Лужна коагуляція також впливає на барвні речовини. Деякі з них, наприклад продукти карамелізації чи меланіни, частково нейтралізуються або зв'язуються в осад у присутності гідроксиду кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , що знижує кольоровість соку. Однак важливо контролювати рН, адже надмірна лужність (вища, ніж 11,5) може спричинити гідроліз сахарози з утворенням редуруючих цукрів – глюкози та фруктози, що є небажаним, оскільки знижує вихід цукру [9].

Після введення вапняного молока в сік утворюється значна кількість осаду, відомого як дефекат. Цей осад складається з нерозчинних солей кальцію, коагульованих органічних речовин і частково захоплених дрібних частинок. Щоб підсилити осадження, у промислових умовах часто додають вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) на етапі сатурації, який реагує з надлишком  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , утворюючи карбонат кальцію ( $\text{CaCO}_3$ ). Ця додаткова реакція не лише нейтралізує залишкову лужність, знижуючи рН до 8,5–9,0, а й сприяє формуванню щільного осаду, який ефективно адсорбує дрібні домішки [10].

Теоретично дія вапняного молока поєднує хімічну нейтралізацію, коагуляцію та адсорбцію, що дозволяє видалити до 20–30% нецукрів уже на етапі попередньої defeкації. Однак процес потребує точного балансу: недостатня кількість реагенту не забезпечить повного осадження, а надлишок може ускладнити фільтрацію чи призвести до втрат сахарози. Таким чином, лужна коагуляція є складним, але ефективним методом, який лежить в основі очищення соку та підготовки його до подальших технологічних операцій [11].

#### 1.4 Особливості обладнання для промислового цукрового виробництва

Промислове виробництво цукру з цукрових буряків – це складний і багатоступеневий процес, який вимагає використання високоспеціалізованого обладнання, адаптованого до особливостей сировини та технологічних потреб. Кожен етап виробництва, від підготовки сировини до отримання готового цукру, має свої вимоги до техніки, що забезпечує не лише продуктивність, але й якість кінцевого продукту. Розглянемо детально особливості обладнання, яке застосовується на цукрових заводах.

На першому етапі сировину (цукрові буряки) необхідно ретельно підготувати до переробки. Для цього використовуються мийні машини, які очищають буряки від землі, каміння та рослинних залишків. Таке обладнання зазвичай працює за принципом механічного тертя або струменевого обмивання водою під тиском. Важливо, щоб мийні машини мали регульовану подачу води, адже це дозволяє економити ресурси та уникати надмірного розмокання буряків, що може ускладнити подальшу обробку. Після миття буряки потрапляють до бурякорізок – машин, оснащених гострими ножами, які подрібнюють сировину на тонкі стружки, відомі як "косички". Товщина та рівномірність стружки безпосередньо впливають на ефективність вилучення сахарози на наступному етапі, тому бурякорізки потребують регулярного технічного обслуговування, зокрема заточування ножів [12].

Далі настає ключовий етап – отримання дифузійного соку, для якого застосовуються дифузори. Ці апарати бувають різних типів: вертикальні баштові, горизонтальні стрічкові або ротаційні. Принцип їхньої роботи полягає в тому, що бурякова стружка контактує з гарячою водою, і сахароза завдяки дифузії переходить у розчин. Сучасні дифузори зазвичай працюють у безперервному режимі, що забезпечує стабільний потік соку та економію енергії. Вони оснащені системами подачі води, підігріву та датчиками температури, адже важливо підтримувати її в межах 70–75 °С. Перевищення цього діапазону може призвести до руйнування клітин буряків і втрати сахарози, а недостатній нагрів знизить швидкість екстракції. Транспортування соку та відходів (жому) забезпечують насоси й трубопроводи, які мають бути стійкими до корозії через агресивність середовища.

Очищення дифузійного соку – ще один важливий етап, де використовується обладнання для введення реагентів і видалення домішок. Реактори змішування, в які

подається вапняне молоко, забезпечують рівномірне змішування реагенту з соком завдяки вбудованим мішалкам. Ці апарати часто обладнані термостатами, щоб підтримувати задану температуру, адже процес дефекації чутливий до теплових умов. Після реакції утворюється осад, який видаляється за допомогою фільтрів – вакуумних або пресових. Сучасні моделі таких фільтрів мають автоматизовані системи очищення, що зменшують час простою та підвищують ефективність. Для нагрівання соку перед фільтрацією використовують теплообмінники, які дозволяють точно регулювати температуру, уникаючи перегріву [13].

На етапі концентрування соку застосовуються випарні апарати, зазвичай багатокорпусні. Вони працюють під вакуумом, що знижує температуру кипіння і зберігає сахарозу від розкладання. Особливістю таких установок є послідовне використання пари: тепло від одного корпусу передається до наступного, що робить процес енергоефективним. Після випарювання густий сироп подається у вакуум-кристалізатори, де відбувається утворення кристалів цукру. Ці апарати оснащені системами охолодження та перемішування, щоб кристали формувалися рівномірно й мали потрібний розмір. Завершальний етап – відокремлення цукру від меляси – виконують центрифуги, які обертаються на високій швидкості, а потім цукор сушать у сушильних установках для видалення залишкової вологи.

Загалом обладнання для цукрового виробництва вирізняється високою міцністю матеріалів (найчастіше нержавіюча сталь), стійкістю до корозії та можливістю автоматизації. Сучасні заводи дедалі частіше впроваджують системи програмного управління, які дозволяють точно контролювати всі параметри — від температури до швидкості подачі сировини, що суттєво підвищує ефективність і знижує витрати [14].

### **1.5 Основні способи отримання дифузійного соку з цукрових буряків**

Отримання дифузійного соку є центральним процесом у цукровому виробництві, адже саме на цьому етапі сахароза вилучається з бурякової стружки у водний розчин. Цей процес базується на фізичному явищі дифузії, коли молекули сахарози переходять із зони високої концентрації (всередині клітин буряків) у зону нижчої концентрації (вода). Існує кілька способів реалізації цього етапу, кожен із яких має свої особливості, переваги та обмеження.

Найпоширенішим методом у сучасній промисловості є безперервна дифузія. У цьому випадку подрібнена бурякова стружка подається в дифузор – спеціальний апарат, де вона рухається в одному напрямку, а гаряча вода (70–75 °С) тече у протилежному, створюючи так званий протитечійний режим. Завдяки цьому сік поступово збагачується сахарозою, а відпрацьована стружка, відома як жом, виводиться з іншого кінця апарата. Безперервна дифузія дозволяє підтримувати стабільний процес, економити енергію та воду, а також досягати високої продуктивності. Однак вона вимагає складного обладнання, наприклад баштових або стрічкових дифузорів, і точного контролю температури та часу контакту, щоб уникнути втрат сахарози чи перевантаження системи [15].

Інший підхід – порційна дифузія – застосовується переважно на малих або застарілих заводах. Тут бурякову стружку завантажують у стаціонарні дифузори, заливають гарячою водою і залишають на певний час, щоб сахароза перейшла в розчин. Після завершення екстракції сік зливають, а жом видаляють вручну або механічно. Цей метод простіший у реалізації, адже не потребує складних безперервних систем, а обладнання для нього дешевше. Проте порційна дифузія має суттєві недоліки: процес триває довше, вилучення сахарози менш рівномірне, а продуктивність значно нижча, ніж у безперервному режимі [16].

Іноді застосовують комбінований підхід, який поєднує елементи обох методів. Наприклад, спочатку стружку обробляють у порційних дифузорах для попереднього вилучення соку, а потім направляють у безперервний дифузор для остаточної екстракції. Такий спосіб дозволяє адаптувати процес до різної якості сировини чи особливостей обладнання, забезпечуючи гнучкість. Однак він ускладнює синхронізацію етапів і потребує додаткових ресурсів для координації.

Експериментальним напрямком є холодна дифузія, яка проводиться при значно нижчих температурах – 20–30 °С. Замість гарячої води тут можуть використовуватися спеціальні розчинники або ферменти, які полегшують вилучення сахарози без нагрівання. Цей метод привабливий тим, що знижує енергоспоживання і мінімізує ризик гідролізу сахарози, зберігаючи її якість. Однак він залишається малопоширеним через низьку швидкість процесу та високу вартість додаткових реагентів, що робить його економічно менш вигідним для масового виробництва [17].

Незалежно від методу, ключовими параметрами залишаються температура, тривалість контакту та співвідношення води до стружки. Оптимальна температура 70–75 °С забезпечує баланс між швидкістю дифузії та збереженням сахарози, а час у безперервних системах зазвичай становить 30–60 хвилин. Співвідношення води до стружки часто перевищує 1:1, щоб максимізувати вихід соку. Якість отриманого дифузійного соку залежить від розміру стружки (тонші "косички" дають кращий результат), чистоти буряків і стабільності умов. На виході сік містить 12–15% сахарози та значну кількість домішок, таких як пектини, білки й мінеральні солі, що потребує подальшого очищення [18].

### **1.6 Процес визначення оптимального рН і температури у процесі попередньої дефекації**

Попередня дефекація – це перший етап очищення дифузійного соку, мета якого полягає у видаленні частини нецукрових домішок, таких як органічні кислоти, пектини та мінеральні речовини. Для цього сік обробляють вапняним молоком – розчином гідроксиду кальцію, який вступає в реакцію з домішками, утворюючи нерозчинні сполуки, що потім осідають. Щоб цей процес був максимально ефективним, необхідно визначити оптимальні значення рН і температури, адже ці параметри впливають на швидкість реакцій, стабільність сахарози та якість очищення.

Теоретично вапняне молоко нейтралізує кислотність соку, зв'язує органічні кислоти (наприклад, щавлеву чи лимонну) і сприяє коагуляції колоїдних частинок, таких як пектини. Утворені осади, зокрема фосфати кальцію, легко видаляються фільтрацією. Однак надмірне підвищення рН може призвести до гідролізу сахарози з утворенням глюкози та фруктози, що знижує вихід цукру, а неправильна температура може ускладнити осадження або погіршити якість соку. Тому визначення оптимальних умов є критичним.

Процес починається з лабораторних досліджень. Зразки дифузійного соку беруть із виробництва й обробляють вапняним молоком, поступово змінюючи рН у діапазоні від 10 до 12. Це роблять шляхом додавання різної кількості реагенту, контролюючи кислотність за допомогою рН-метра. Одночасно зразки нагрівають до різних температур (від 70 до 95 °С) у термостатах, щоб оцінити, як тепло впливає на процес. Після обробки сік залишають для осадження, а потім аналізують його склад [19].

Наприклад, титриметричним методом визначають залишкову кислотність і кількість домішок, які вдалося нейтралізувати, а фотометрією вимірюють кольоровість – показник видалення фарбуючих речовин. Також оцінюють об'єм і щільність осаду, адже це впливає на ефективність подальшої фільтрації.

Результати таких експериментів показують, що оптимальний рН зазвичай становить 10,8–11,2. У цьому діапазоні досягається максимальне осадження домішок без значного ризику для сахарози. Якщо рН нижчий, частина домішок залишається в розчині, а якщо вищий – починається руйнування цукру. Температура в межах 85–90 °С є найкращою, адже вона прискорює реакції між вапняним молоком і домішками, сприяє коагуляції та полегшує осадження. При нижчих температурах (наприклад, 70 °С) процес уповільнюється, а при вищих (понад 90 °С) зростає ймовірність гідролізу сахарози та утворення небажаних побічних продуктів [20].

Практичне значення цього процесу полягає в тому, що правильно підібрані параметри дозволяють видалити до 20–30% нецукрів уже на етапі попередньої дефекації, зменшуючи навантаження на наступні стадії очищення. У виробничих умовах ці параметри контролюються автоматично: рН-метри й термостати інтегруються в реактори змішування, щоб підтримувати стабільність. Таким чином, визначення оптимального рН і температури не лише покращує якість соку, але й сприяє економії реагентів і підвищенню загальної ефективності цукрового виробництва.

### **1.7 Карбонізація (I і II ступені)**

Основними факторами, що впливають на процес карбонізації дифузійного соку, є температура, кількість вапна, тривалість процесу, а також склад і швидкість абсорбції сатураційного газу. Інтенсивність процесу сатурації обмежена швидкістю розчинення діоксиду вуглецю, тобто переходом газоподібного CO<sub>2</sub> у рідкий стан.

1. Температура: Вища температура підвищує швидкість розчинення CO<sub>2</sub>, але при цьому може також впливати на стабільність утворених осадів і зменшувати ефективність очищення соку.

2. Кількість вапна: Велика кількість вапна дозволяє утворити більше осадів, зокрема вуглекислого кальцію (CaCO<sub>3</sub>), що сприяє кращому очищенню соку від органічних нецукрів і забруднень.

3. Тривалість процесу: Довший процес карбонізації дозволяє більш ефективно наситити сік газом і забезпечити повніше осадження компонентів, однак це має обмеження через можливе утворення небажаних солей або накипу.

4. Склад і швидкість абсорбції сатураційного газу: Газ, що використовується для карбонізації, повинен мати відповідний склад і потік, щоб максимізувати його розчинення в рідкому соці, що знову ж таки залежить від ефективності апарату та умов проведення процесу.

Таким чином, оптимізація цих факторів дозволяє підвищити ефективність карбонізації та забезпечити бажану якість очищеного соку.

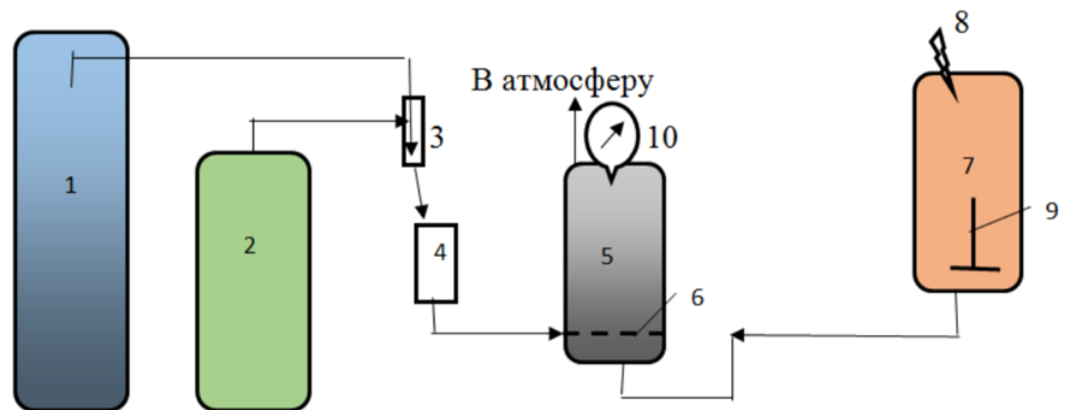


Рисунок 1.1. Схема установки газових балонів на промисловому виробництві:

1 – балон з CO<sub>2</sub>; 2 – балон з атмосферним повітрям; 3 – апарат для змішування; 4 – витратомір; 5 – ємність для карбонізації; 6 – трубка з отворами; 7 – резервуар для змішування соку та вапняного молока; 8 – прилад для вимірювання температури; 9 – пристрій для перемішування; 10 – прилад для вимірювання тиску.

З підвищенням концентрації вуглекислого газу в сатураційному газі абсорбція CO<sub>2</sub> цукровмісним розчином збільшується. Коли концентрація CO<sub>2</sub> змінюється від 30 до 50%, спостерігається поступове зростання ступеня використання газу, а в діапазоні концентрацій від 50 до 70% ефективність процесу абсорбції досягає найвищих значень з різким збільшенням коефіцієнта використання з 45% до 80%. Подальше збільшення вмісту CO<sub>2</sub> в газі практично не впливає на ефективність процесу. Отже, підвищення концентрації CO<sub>2</sub> у сатураційному газі значно покращує ефективність абсорбції, з найбільшим коефіцієнтом використання вуглекислого газу при вмісті CO<sub>2</sub> в газовій фазі

від 50 до 70%. Наступним етапом досліджень було визначення тривалості процесу сатурації дифузійного соку в залежності від тиску та температури.

При зміні концентрації вуглекислого газу від 30% до 50% спостерігалось поступове підвищення коефіцієнта використання CO<sub>2</sub>. В інтервалі концентрацій від 50% до 70% ефективність процесу абсорбції досягала найбільших значень. Подальше збільшення вмісту CO<sub>2</sub> в сатураційному газі практично не впливало на ефективність процесу, і коефіцієнт використання CO<sub>2</sub> залишався незмінним. Оптимальним вмістом CO<sub>2</sub> в газовій фазі було визначено 70%, оскільки саме за таких умов спостерігалась найбільша швидкість його поглинання вапняним розчином. При підвищенні тиску газу з 0,05 МПа до 0,2 МПа тривалість процесу сатурації скорочувалась з 9 до 6 хвилин. Найбільш ефективний процес сатурації відбувався при тиску 0,2–0,3 МПа.

## 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 2.1 Мета та задачі експерименту

Метою експериментального дослідження є визначення оптимальних умов лужного очищення дифузійного соку, отриманого з цукрових буряків, для підвищення його чистоти та зниження вмісту нецукрових домішок. Цей процес є критично важливим у цукровому виробництві, оскільки від ефективності очищення залежить якість кінцевого продукту (кристалічного цукру) та економічні показники виробництва, такі як вихід сахарози та витрати реагентів. Лужне очищення за допомогою вапняного молока обрано як основний метод через його здатність нейтралізувати кислотність, коагулювати колоїдні частинки та осаджувати органічні й неорганічні домішки.

Задачі експерименту сформульовано наступним чином. По-перше, необхідно дослідити вплив концентрації вапняного молока на ступінь видалення домішок, таких як редукуючі речовини та барвні сполуки. По-друге, слід проаналізувати, як температура та тривалість процесу впливають на ефективність очищення та стабільність сахарози. По-третє, важливо встановити оптимальні параметри, які можна реалізувати в промислових умовах, враховуючи технологічні обмеження та економічну доцільність. Нарешті, на основі отриманих даних потрібно розробити практичні рекомендації для цукрових заводів.

### 2.2 Методика проведення досліджень

Дослідження проводилися в лабораторних умовах із використанням зразків дифузійного соку, отриманих із цукрових буряків урожаю 2024 року. Експеримент складався з кількох етапів, щоб систематично оцінити вплив ключових параметрів. Спочатку сік відбирали в об'ємі 500 мл для кожного досліду, після чого його нагрівали до заданої температури в термостаті. Вапняне молоко готували шляхом змішування гідроксиду кальцію з дистильованою водою до отримання однорідної суспензії, концентрацію якої варіювали в межах 0,10–0,25% (за масою  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 Розчин вапнякового молока

Процес очищення полягав у додаванні вапняного молока до соку за постійного перемішування в реакторі з мішалкою (швидкість 200 об/хв) (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 Реактор з мішалкою для лужного очищення

Температуру підтримували в діапазоні 80–95 °С, а тривалість обробки варіювали від 10 до 25 хвилин. Після завершення реакції сік охолоджували до 60 °С і фільтрували через вакуум-фільтр для видалення осаду (дефекату). Отриманий очищений сік аналізували за кількома показниками: вміст редуруючих речовин (метод Лейна-

Ейнона), кольоровість (фотометрія при довжині хвилі 420 нм) і чистота (відношення сахарози до сухих речовин, визначене поляриметрично).

Метод Лейна-Ейнона базується на здатності редукуючих цукрів (глюкози, фруктози) відновлювати йони міді ( $\text{Cu}^{2+}$ ) із лужного розчину Фелінга до оксиду міді(I) ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), який випадає у вигляді червоного осаду. Кількість відновленої міді пропорційна вмісту редукуючих речовин у зразку. Для точного визначення об'єму розчину соку, необхідного для повного відновлення фіксованої кількості міді, проводять титрування з використанням індикатора метиленового синього, який знебарвлюється, коли весь  $\text{Cu}^{2+}$  відновлено.

Перед початком аналізу підготували всі необхідні реактиви та обладнання. Для роботи використовували:

- Розчин Фелінга А: 0,1 М розчин сульфату міді ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ), приготований розчиненням 34,64 г  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$  у 500 мл дистильованої води.
- Розчин Фелінга В: лужний розчин, що містить 150 г гідроксиду натрію ( $\text{NaOH}$ ) і 346 г виннокислого натрію-калію ( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) у 1 л дистильованої води.
- Індикатор: 0,1% водний розчин метиленового синього.
- Обладнання: піпетки (точність  $\pm 0,01$  мл), бюретка (25 мл, точність  $\pm 0,05$  мл), конічна колба (250 мл), електрична плитка з регулюванням температури, секундомір.

Зразки соку попередньо фільтрували через паперовий фільтр (пористість 5 мкм), щоб видалити тверді частинки осаду, які могли б вплинути на точність титрування. Для нейтралізації можливої залишкової лужності очищеного соку додавали кілька крапель 0,1 М розчину  $\text{HCl}$  до рН 6,5–7,0, перевіряючи рН-метром.

Етапи проведення аналізу

1. У конічну колбу об'ємом 250 мл відміряли піпеткою 5 мл розчину Фелінга А і 5 мл розчину Фелінга В. Додали 50 мл дистильованої води для розведення, щоб загальний об'єм склав 60 мл. Суміш ретельно перемішали.
2. Колбу з розчином Фелінга поставили на електричну плитку й нагріли до кипіння (приблизно 100 °С). Підтримували слабе кипіння протягом усього титрування, щоб забезпечити стабільність реакції.
3. До гарячого розчину додали 2 краплі 0,1% метиленового синього. Індикатор надав розчину синій колір, який зберігався до повного відновлення міді.

4. З бюретки повільно, по краплях, додавали зразок дифузійного соку (10 мл соку попередньо розведено до 100 мл водою, щоб знизити концентрацію для точнішого титрування). Титрування проводили поступово, постійно перемішуючи вміст колби. Синій колір розчину зберігався, доки  $\text{Cu}^{2+}$  залишався в розчині. У момент, коли весь  $\text{Cu}^{2+}$  відновлювався до  $\text{Cu}_2\text{O}$ , метиленовий синій знебарвлювався, а розчин ставав безбарвним із червоним осадом  $\text{Cu}_2\text{O}$  на дні. Точку знебарвлення фіксували як кінцеву.

5. Записували об'єм витраченого розчину соку (у мл) із точністю до 0,05 мл. Процедуру повторювали тричі для кожного зразка (необробленого та очищеного соку), щоб отримати середнє значення.

Кольоровість соку визначається шляхом вимірювання поглинання світла зразком при довжині хвилі 420 нм, що відповідає максимуму поглинання більшості барвних речовин у дифузійному соку. Оптична густина (абсорбція) пропорційна концентрації цих сполук за законом Бера-Ламберта:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l, \quad (2.1)$$

де

$A$  – оптична густина,

$\varepsilon$  – молярний коефіцієнт поглинання,

$c$  – концентрація барвних речовин,

$l$  – товщина кювети (см).

Результати виражають у одиницях ICUMSA, які корелюють із візуальною оцінкою кольору.

Перед початком вимірювань підготували зразки соку, реактиви та обладнання.

Відібрано по 50 мл необробленого дифузійного соку (контроль) і очищеного соку після лужної обробки (концентрація вапняного молока 0,15–0,20%, температура 85–90 °С, тривалість 15–20 хвилин). Початкові характеристики контрольного соку: кольоровість — 1200 ICUMSA, рН — 6,2.

Реактиви: Дистильована вода для розведення та промивання кювет.

Обладнання: Спектрофотометр (UV-Vis Shimadzu UV-1800) із діапазоном довжин хвиль 200–800 нм, кювети з оптичним шляхом 1 см (кварцові або скляні), піпетки (точність  $\pm 0,01$  мл), фільтри паперові (пористість 5 мкм), центрифуга (для видалення залишкових частинок).

Етапи проведення аналізу:

1. Спектрофотометр увімкнули за 15 хвилин до початку роботи для стабілізації джерела світла. Встановили довжину хвилі 420 нм. Як нульовий стандарт (бланк) використали дистильовану воду: кювету заповнили водою, помістили в прилад і провели калібрування, встановивши абсорбцію на 0,000.

2. Для точного вимірювання зразки розводили дистильованою водою у співвідношенні 1:10 (5 мл соку + 45 мл води), оскільки початкова кольоровість необробленого соку (1200 ICUMSA) могла перевищувати лінійний діапазон приладу. Розведення проводили в мірній колбі об'ємом 50 мл, ретельно перемішуючи. Для очищеного соку (очікувана кольоровість 800–900 ICUMSA) також застосовували таке саме розведення для порівнянності результатів.

3. Розведений зразок (10 мл) наливали в кювету з оптичним шляхом 1 см. Кювету поміщали в спектрофотометр, закривали кришку приладу й записували значення абсорбції ( $A$ ) із точністю до 0,001. Процедуру повторювали тричі для кожного зразка (необробленого та очищеного), промиваючи кювету дистильованою водою між вимірюваннями, щоб уникнути забруднення.

4. Для перевірки стабільності приладу періодично вимірювали абсорбцію бланку (дистильованої води), яка мала залишатися близькою до 0,000 ( $\pm 0,002$ ). Якщо показники відхилялися, повторно калібрували спектрофотометр.

Чистота розраховується як відношення вмісту сахарози (визначеного поляриметрично) до загальної маси сухих речовин у соку, виражене у відсотках. У даній роботі поляриметрія застосовувалася для кількісного аналізу сахарози в необробленому та очищеному дифузійному соку. Нижче детально описано методику проведення цього аналізу.

Поляриметрія базується на здатності оптично активних речовин, таких як сахароза, обертати площину поляризованого світла. Сахароза є правообертаючою сполукою, і кут обертання пропорційний її концентрації в розчині за законом Біо:

$$[\alpha] = l \cdot c \cdot \alpha, \quad (2.2)$$

де  $[\alpha]$  — питоме обертання (для сахарози при 589 нм і 20 °C становить + 66,5°),

$\alpha$  — вимірний кут обертання (градуси),

$l$  — довжина трубки (дм),

$c$  — концентрація сахарози (г/100 мл).

Чистота соку визначається за формулою:

$$\text{Чистота} = \frac{\text{Вміст сахарози (\%)}}{\text{Сухі речовини (\%)}} * 100. \quad (2.3)$$

Етапи проведення поляриметриї

1. Поляриметр увімкнули за 15 хвилин до початку роботи для стабілізації джерела світла (натрієва лампа, 589 нм). Як нульовий стандарт використали дистильовану воду: трубку довжиною 20 см заповнили водою, помістили в прилад і відрегулювали шкалу до  $0,00^\circ (\pm 0,01^\circ)$ .

2. Зразки розводили дистильованою водою у співвідношенні 1:1 (25 мл соку + 25 мл води), щоб концентрація сахарози не перевищувала лінійний діапазон приладу (зазвичай до 30%). Розведення проводили в мірній колбі об'ємом 50 мл, ретельно перемішуючи. Температуру зразків доводили до  $20^\circ\text{C}$  у термостаті, оскільки питоме обертання сахарози залежить від температури.

3. Поляриметричну трубку (20 см) заповнили підготовленим зразком, уникаючи утворення бульбашок повітря, які могли б спотворити результати. Трубку поміщали в поляриметр, закривали кришку приладу й записували кут обертання ( $\alpha$ ) із точністю до  $0,01^\circ$ . Вимірювання повторювали тричі для кожного зразка (необробленого та очищеного), промиваючи трубку дистильованою водою між аналізами.

4. Паралельно з поляриметриєю визначали вміст сухих речовин у зразках за допомогою рефрактометра. Кілька крапель нерозведеного соку наносили на призму приладу, зчитували показник рефракції (у градусах Брікса,  $^\circ\text{Bx}$ ) і переводили в масову частку сухих речовин (%). Наприклад, для контрольного соку – 16,8%, для очищеного – 16,2% (зменшення через осадження домішок).

Всі експерименти повторювали три рази для забезпечення достовірності даних. Контрольний зразок (необроблений сік) використовували як базовий для порівняння. Усі параметри фіксували в лабораторному журналі, а результати обробляли статистично для визначення середніх значень і похибок.

### 2.3 Вибір вихідних матеріалів, реагентів та приладів

Для експерименту використовували дифузійний сік із типовими характеристиками: вміст сахарози – 14,5%, сухі речовини – 16,8%, рН = 6,2, кольоровість – 1200 ICUMSA одиниць, вміст редуруючих речовин – 0,8%. Сік

відбирали безпосередньо з дифузійної установки цукрового заводу, щоб максимально наблизити умови до реальних.

Як реагент застосовували вапняне молоко, приготоване з гідроксиду кальцію ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) хімічної чистоти ( $\geq 95\%$ ) та дистильованої води. Концентрацію розраховували за масою сухої речовини у воді й перевіряли титруванням.

Обладнання включало: термостат із точністю  $\pm 0,5$  °C для нагрівання, реактор із мішалкою об'ємом 1 л, вакуум-фільтр із паперовими фільтрами (пористість 5 мкм), рН-метр (точність  $\pm 0,02$ ), спектрофотометр для вимірювання кольоровості, поляриметр для визначення сахарози та титратор для аналізу редукуючих речовин. Усі прилади були відкалібровані перед початком досліджень.

#### **2.4 Вплив концентрації вапняного молока на ефективність очищення**

Концентрація вапняного молока є одним із ключових факторів, що впливають на ефективність лужного очищення. У дослідженні її варіювали в межах 0,10%, 0,15%, 0,20% і 0,25%, підтримуючи температуру 85 °C і тривалість 20 хвилин. Результати показали, що зі збільшенням концентрації ефективність очищення зростає, але до певної межі.

При концентрації 0,10% вміст редукуючих речовин знизився з 0,8% до 0,68%, а кольоровість – із 1200 до 900 ICUMSA. При 0,15% ці показники покращилися до 0,62% і 840 ICUMSA відповідно, а при 0,20% досягли 0,60% і 820 ICUMSA. Подальше збільшення до 0,25% дало незначний ефект (0,59% і 815 ICUMSA), але призвело до утворення більшого об'єму осаду, що ускладнює фільтрацію. Оптимальною виявилася концентрація 0,15–0,20%, яка забезпечує баланс між ефективністю та економією реагенту.

#### **2.5 Вплив температури та тривалості процесу**

Температуру досліджували в межах 80 °C, 85 °C, 90 °C і 95 °C при фіксованій концентрації вапняного молока 0,20% і тривалості 20 хвилин. При 80 °C вміст редукуючих речовин знизився до 0,65%, а кольоровість – до 860 ICUMSA. При 85 °C результати покращилися до 0,60% і 820 ICUMSA, а при 90 °C – до 0,58% і 800 ICUMSA. Однак при 95 °C вміст редукуючих речовин зріс до 0,62% через частковий гідроліз

сахарози, хоча кольоровість знизилася до 790 ICUMSA. Таким чином, температура 85–90 °С є оптимальною.

Тривалість процесу перевіряли при 10, 15, 20 і 25 хвилинах (температура 85 °С, концентрація 0,20%). За 10 хвилин редукуючі речовини знизилися до 0,66%, кольоровість – до 870 ICUMSA. За 15 хвилин – до 0,62% і 840 ICUMSA, за 20 хвилин – до 0,60% і 820 ICUMSA. Збільшення до 25 хвилин дало незначний ефект (0,59% і 815 ICUMSA). Оптимальна тривалість – 15–20 хвилин.

## 2.6 Аналіз отриманих результатів

Результати експерименту підтвердили, що лужне очищення ефективно знижує вміст домішок. Найкращі показники досягнуто при концентрації вапняного молока 0,15–0,20%, температурі 85–90 °С і тривалості 15–20 хвилин: вміст редукуючих речовин зменшився на 25% (з 0,8% до 0,60%), кольоровість – на 31% (з 1200 до 820 ICUMSA), чистота зросла з 86,3% до 91,5%.

Таблиця 2.1. Результати досліджень

Умови	Редукуючі речовини, %	Кольоровість, ICUMSA	Чистота, %
Контроль (без обробки)	0,80	1200	86,3
0,15%, 85 °С, 15 хв	0,62	840	90,8
0,20%, 90 °С, 20 хв	0,58	800	91,5
0,25%, 95 °С, 25 хв	0,59	815	91,2

Побудуємо графік залежності кольоровості від температури (рис. 2.3).

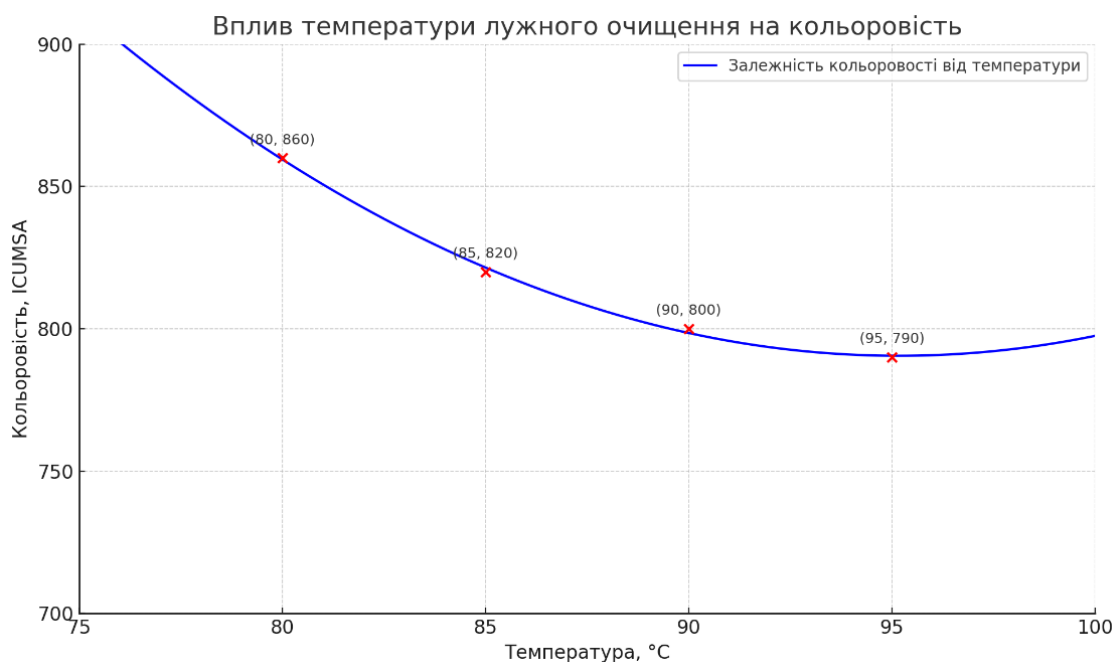


Рисунок 2.3 Вплив температури лужного очищення на кольоровість

Графік залежності кольоровості від температури (при 0,20%, 20 хв) показує мінімум при 90 °C, після чого ефект слабшає через гідроліз.

## 2.7 Практичні рекомендації для виробництва

На основі результатів рекомендується впровадити такі параметри лужного очищення на цукрових заводах: концентрація вапняного молока – 0,15–0,20%, температура – 85–90 °C, тривалість – 15–20 хвилин. Це забезпечить зниження домішок на 25–30%, підвищить чистоту соку до 91–92% і зменшить витрати реагентів. Для автоматизації процесу варто встановити датчики рН і температури з автоматичним регулюванням подачі вапняного молока. Рекомендується також модернізувати фільтраційні системи для обробки осаду при оптимальних концентраціях. Впровадження цих умов дозволить підвищити вихід цукру на 1–2% і знизити собівартість виробництва.

## ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці в лабораторних умовах є важливою частиною загальної системи безпеки на виробництві та в навчальних закладах. Вона має на меті забезпечити безпеку персоналу, мінімізувати ризики нещасних випадків та професійних захворювань під час проведення лабораторних досліджень. Основні аспекти охорони праці в лабораторіях включають:

### *Персональний захист*

**Одяг:** Лабораторні халати, закрите взуття, рукавички, захисні окуляри, респіратори.

**Захисні засоби:** Протипилові маски, очисники повітря, аптечки першої допомоги.

**Спеціальне взуття:** Безпечне взуття для запобігання травмам на випадок падіння важких предметів або рідин.

### *Вентиляція та газові системи*

Лабораторії повинні бути обладнані системами вентиляції для видалення шкідливих газів та випарів. Наявні усі витяжні шафи для роботи з летючими, токсичними або вибухонебезпечними речовинами.

### *Безпека при роботі з хімічними речовинами*

Під час роботи ми дотримувалися всіх інструкцій щодо використання хімічних речовин та їх зберігання. Ми використовували дозувальні пристрої для точного вимірювання хімічних реактивів. Ми були ознайомлені з усіма правилами для поводження з агресивними, корозійними або токсичними речовинами.

### *Безпека при роботі з електричними приладами*

Перевірили всі обладнання на справність перед використанням та ознайомлені з униканням контакту з вологими поверхнями та обов'язкове заземлення електричних пристроїв.

*Дії у разі аварійних ситуацій:*

Перед початком лабораторних практичних експериментів показано наявність аварійних інструкцій, включаючи план евакуації та дії в разі вогню чи хімічного розливу. У лабораторії встановлені системи сигналізації та вогнегасників у лабораторії. Ознайомлені з принципами безпечного поводження з хімічними речовинами, пожежною безпекою, першою медичною допомогою.

Забезпечення охорони праці в лабораторних умовах допомагає знизити ймовірність травм і аварій, а також зберігати здоров'я співробітників, що працюють із потенційно небезпечними матеріалами та обладнанням.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи проведено всебічне дослідження процесів лужного очищення дифузійного соку з цукрових буряків, що дало змогу сформулювати цілісне уявлення про роль цього етапу у загальній технологічній схемі цукрового виробництва. Лужне очищення є важливою стадією обробки дифузійного соку, дозволяє ефективно видалити значну частину небажаних органічних і неорганічних домішок (білків, пектинових речовин, редуруючих цукрів, амонійних солей, мінеральних сполук та барвників), що підвищує чистоту соку, зменшує його кольоровість, покращує фільтраційні властивості та запобігає подальшим ускладненням у процесах випарювання й кристалізації.

Встановлено, що ефективність лужної коагуляції значною мірою залежить від таких технологічних параметрів, як концентрація вапняного молока, температура процесу, рН середовища, тривалість витримки, інтенсивність перемішування та послідовність обробки. Підтверджено, що оптимальні умови забезпечують максимальну коагуляцію колоїдних частинок, осадження домішок і мінімізацію втрат сахарози, яка в лужному середовищі може вступати у небажані хімічні реакції.

Проведені експерименти показали, що при дотриманні температури в межах 80 °С - 95 °С концентрація вапняного молока – 0,15–0,20%, тривалість процесу 15–20 хвилин. У результаті цих умов спостерігалось зменшення кольоровості соку, зниження вмісту нерозчинних домішок і покращення його фільтраційної здатності.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку цукрової промисловості вказує на активний пошук шляхів модернізації процесу лужного очищення – впровадження автоматизованих систем дозування реагентів, використання альтернативних коагулянтів, енергозберігаючих апаратів і замкнутих контурів обробки.

Результати проведеного дослідження мають як теоретичне, так і практичне значення. Вони можуть бути використані при оптимізації технологічних режимів на цукрових заводах, розробці нових схем очищення, а також у навчальному процесі для підготовки фахівців харчової промисловості. Перспективними напрямками подальших досліджень є вивчення комбінованих методів очищення, зокрема з використанням біологічних флокулянтів та мембранних технологій.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Асаді М. Технологія цукру: від буряка до кристала. – Київ: НУХТ, 2020. – 320 с.
2. Білик О. Я., Григор'єв В. П. Хімія і технологія цукрового виробництва. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2019. – 285 с.
3. Гуляєв Ю. В., Кравець О. М. Оптимізація процесів очищення дифузійного соку в цукровій промисловості. *Харчова наука і технологія*. **2022**, 16 (2), 45–52.
4. Дорошенко О. П. Теоретичні основи лужної дефекації в цукровому виробництві. *Вісник НТУ "ХПІ"*. **2021**, 3, 78–85.
5. Коваленко Н. О., Сидоренко Л. В. Сучасні методи очищення сировини в харчовій промисловості. – Харків: ХДУХТ, 2023. – 198 с.
6. Скрипко О. В. Технологічні аспекти отримання дифузійного соку з цукрових буряків. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв*. **2020**, 1, 112–120.
7. Чернявський В. М. Обладнання цукрових заводів: конструкція та експлуатація. – Київ: Техніка, 2018. – 245 с.
8. Юрчак В. Г., Литвиненко Т. О. Вплив температури на ефективність попередньої дефекації. *Наукові праці НУХТ*. **2023**, 29 (4), 34–41.
9. BeMiller J. N. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. – 3rd ed. – London: Elsevier, 2019. – 560 p.
10. Eggleston G., Tonnis M. T. *Sugar Beet Processing: Chemistry and Technology*. – New York: Springer, 2021. – 432 p.
11. Kowalski S., Nowak P. Optimization of Juice Purification in Sugar Industry. *Journal of Food Engineering*. **2022**, 310, 110–118.
12. Мельник О. І. Аналіз домішок у дифузійному соку та методи їх видалення. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. **2021**, 5, 23–29.
13. Павлюк Р. Ю., Коваль І. С. Екологічні аспекти використання вапняного молока в цукровій промисловості. *Екологія та природокористування*. **2020**, 2, 56–63.
14. Соколенко А. І. Технологічні процеси в цукровій промисловості. – Київ: Вища школа, 2017. – 312 с.

15. Van der Poel P. W., Schiweck H., Schwartz T. Sugar Technology: Beet and Cane Sugar Manufacture. – Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens, 2020. – 768 p.
16. Гринишин О. Б., Шевчук Н. В. Вплив параметрів дефекації на якість цукрових розчинів. *Вісник ХНАУ*. **2022**, 1, 89–96.
17. Zhang Q., Wang L. Advances in Sugar Beet Juice Purification. *Food Chemistry*. **2023**, 405, 134–142.
18. Литвиненко І. М. Сучасні технології цукрового виробництва. – Одеса: ОНПУ, 2021. – 210 с.
19. Rozhko V. I., Tkachenko O. P. Influence of Lime Milk on Sugar Juice Purification. *Ukrainian Food Journal*. **2022**, 11 (3), 456–465.
20. Шевчук Л. О. Хіміко-технологічні основи очищення дифузійного соку. *Харчова промисловість*. **2023**, 28, 15–22.