

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

**Інститут(факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій**  
**Кафедра технології цукру і підготовки води**

**«До захисту в ЕК»**  
Директор інституту(декан факультету)  
Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО  
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**«До захисту допущено»**  
В.о. завідувача кафедри  
Інна КАРПОВИЧ  
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**  
зі спеціальності 181 «Харчові технології»  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки  
води у промислових та крафтових виробництвах»  
на тему: Удосконалення технології підготовки води для виробництва  
відновлених соків на ТОВ «Манзана фуд»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЦВ-2-11М  
Брагін Олександр Едуардович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Омельчук Євген Олександрович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
Олена КУШНІР  
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2025 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології цукру і підготовки води

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»

(код і назва)

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

(назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри ТЦ і ПВ

Інна КАРПОВИЧ

“ 10 ” жовтня 2025 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Брагіна Олександра Едуардовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технології підготовки води для виробництва відновлених соків на ТОВ «Манзана фуд»

керівник роботи Омельчук Євген Олександрович, доцент, кандидат технічних наук

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

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

2. Строк подання здобувачем роботи 5 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Продуктивність лінії виробництва відновленого яблучного соку - 5000 л/зміну. Джерело водопостачання - артезіанська свердловина (с. Бородянка, Київська обл.) з підвищеним вмістом заліза (2 мг/дм<sup>3</sup>). Вимоги до води: Fe ≤ 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, жорсткість ≤ 1,5 ммоль/дм<sup>3</sup>. Метод очищення - каталітичне знезалізнення на завантаженні BIRM.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Розділ 1. Науково-експериментальне обґрунтування технології водопідготовки. 1.1. Літературний огляд. Аналіз сучасних способів проведення технологічних процесів водопідготовки та їх апаратного оформлення. 1.2. Експериментальні дослідження. Розділ 2. Проектно-технічне обґрунтування та розрахунки. 2.1. Загальна характеристика проєктованого виробництва та опис удосконаленої технологічної схеми водопідготовки. 2.2. Продуктивний розрахунок виробництва. 2.3. Технологічні розрахунки та підбір основного обладнання. Розділ 3. Менеджмент якості та безпечності харчової продукції за системою НАССР. Розділ 4. Екологічні, економічні та соціальні аспекти. Загальні висновки та рекомендації. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу апаратурно-технологічна схема відділення, план першого поверху, план другого поверху поперечний і повздовжній розрізи

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
| 1      |   |                |                  |
| 2      |   |                |                  |
| 3      |   |                |                  |

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           |                               |          |
| 2 | Опрацювання літературних джерел та нормативної бази                       | 01.11.25                      |          |
| 3 | Обґрунтування методики досліджень, підготовка реактивів та обладнання     | 15.11.25                      |          |
| 4 | Проведення експериментальних досліджень впливу складу води на ферментацію | 20.11.25                      |          |
| 5 | Математичне оброблення даних, оптимізація та розробка технологічної схеми | 25.11.25                      |          |
| 6 | Розробка системи менеджменту якості та безпечності води                   | 04.12.25                      |          |
| 7 | Перевірка на плагіат, нормоконтроль та попередній захист на кафедрі       |                               |          |
| 8 | Підготовка презентаційних матеріалів та захист роботи в ЕК                | 05.12.25                      |          |

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олександр БРАГІН  
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Євген ОМЕЛЬЧУК  
(ім'я та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена науковому обґрунтуванню та розробці удосконаленої технології водопідготовки для виробництва відновлених соків.

Проведено комплексний моніторинг гідрохімічних показників артезіанського джерела водопостачання, за результатами якого ідентифіковано лімітуючий фактор - підвищений вміст заліза (2 мг/дм<sup>3</sup>).

Експериментально досліджено кінетику гетерогенного каталізу на алюмосилікатному завантаженні BIRM. Методом математичного моделювання отримано рівняння регресії, що описують залежність ефективності знезалізнення від гідравлічного навантаження, та визначено точку оптимуму, яка забезпечує залишкову концентрацію заліза 0,06 мг/дм<sup>3</sup>.

Розроблено апаратурно-технологічну схему дільниці водопідготовки продуктивністю 5000 л/добу, що реалізує стадії напірної аерації, каталітичного окиснення, сорбції, Na-катіонування та УФ-дезінфекції.

Розроблено систему менеджменту безпеки згідно з ISO 22000: ідентифіковано специфічні ризики та встановлено критичні межі для трьох ККТ. Техніко-економічне обґрунтування підтвердило рентабельність проекту (термін окупності 1,5 року) та екологічну безпечність запропонованих рішень.

**Ключові слова:** водопідготовка, відновлені соки, гетерогенний каталіз, BIRM, математичне моделювання, НАССР, економічна ефективність.

## ABSTRACT

The master's thesis is devoted to the scientific substantiation and development of improved water treatment technology for reconstituted juice production.

Comprehensive monitoring of the artesian source's hydrochemical indicators was conducted, identifying the limiting factor - elevated iron content (2 mg/dm).

The kinetics of heterogeneous catalysis on BIRM aluminosilicate media were experimentally investigated. Using mathematical modeling, regression equations describing the dependence of iron removal efficiency on hydraulic load were obtained, and the optimum point ensuring residual iron concentration 0.06 mg/dm<sup>3</sup> was determined.

An equipment-technological scheme for a water treatment section with a capacity of 5000 L/day was developed, implementing stages of pressure aeration, catalytic oxidation, sorption, Na-cationization, and UV disinfection.

A safety management system according to ISO 22000 was developed: specific risks were identified, and critical limits for three CCPs were established. The techno-economic feasibility study confirmed the profitability of the project (payback period of 1.5 years) and the environmental safety of the proposed solutions.

**Keywords:** water treatment, reconstituted juices, heterogeneous catalysis, BIRM, mathematical modeling, HACCP, economic efficiency.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

**HACCP** - Hazard Analysis and Critical Control Points (Аналіз ризиків та критичні контрольні точки)

**ККТ** - Критична контрольна точка

**ОПП** - Операційна програма-передумова (частина системи HACCP)

**CAPEX** - Capital Expenditure (Капітальні витрати)

**OPEX** - Operational Expenditure (Операційні витрати)

**BIRM** - Безреагентний каталітичний фільтруючий матеріал

**ммоль/дм<sup>3</sup>** - Мілімоль на дециметр кубічний (одиниця вимірювання жорсткості) **мДж/см<sup>2</sup>** Міліджоуль на сантиметр квадратний (одиниця дози УФ-опромінення)

## ЗМІСТ

### ВСТУП

ВСТУП.....7

### РОЗДІЛ 1. НАУКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ.....12

1.1. Літературний огляд. Аналіз сучасних способів проведення технологічних процесів водопідготовки та їх апаратурного оформлення.....12

1.1.1. Технологічні особливості виробництва відновлених соків та критична роль водної складової..... 12

1.1.2. Нормативні вимоги та специфічні критерії якості води для сокового виробництва..... 15

1.1.3. Характеристика домішок артезіанських вод України та механізм їхнього впливу на якість соків..... 18

1.1.4. Аналіз сучасних методів знезалізнення та кондиціювання води: переваги та недоліки..... 21

1.1.5. Каталітичні фільтруючі матеріали: принцип дії та перспективи використання..... 25

1.2. Експериментальні дослідження..... 27

1.2.1. Об'єкти, матеріали та методи проведення досліджень..... 27

1.2.2. Дослідження фізико-хімічних показників вихідної води джерела водопостачання..... 31

1.2.3. Дослідження кінетики та ефективності очищення води від заліза на завантаженні ВІРМ..... 34

1.2.4. Математичне моделювання та оптимізація процесу знезалізнення.....37

### РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКИ.....39

2.1. Загальна характеристика проєктованого виробництва та опис удосконаленої технологічної схеми водопідготовки.....39

2.1.1. Характеристика проєктованого виробництва відновлених соків .....39

2.1.2. Обґрунтування та опис удосконаленої апаратурно-технологічної схеми водопідготовки.....40

|                  |             |                      |               |            |                              |  |  |                 |             |                |
|------------------|-------------|----------------------|---------------|------------|------------------------------|--|--|-----------------|-------------|----------------|
|                  |             |                      |               |            | <b>КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА</b> |  |  |                 |             |                |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>      | <i>Підпис</i> | <i>Дат</i> | <b>ЗМІСТ</b>                 |  |  | <i>Літ.</i>     | <i>Арк.</i> | <i>Акрушіє</i> |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Брагін О.Е.</i>   |               |            |                              |  |  | 5               | 72          |                |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Омельчук Є.О.</i> |               |            |                              |  |  | <b>ЦВ2-ІІ-М</b> |             |                |
| <i>Реценз.</i>   |             |                      |               |            |                              |  |  |                 |             |                |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                      |               |            |                              |  |  |                 |             |                |
| <i>Затверд.</i>  |             |                      |               |            |                              |  |  |                 |             |                |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2. Продуктовий розрахунок виробництва.....   | 42        |
| 2.3. Технологічні розрахунки та підбір основного обладнання.....   | 45        |
| 2.3.1. Розрахунок і підбір фільтрів знезалізнення (Вузол ВІРМ).....  | 45        |
| 2.3.2. Розрахунок і підбір сорбційного фільтра.....  | 47        |
| 2.3.3. Розрахунок установки пом'якшення води.....  | 47        |
| 2.3.4. Підбір допоміжного обладнання.....  | 48        |
| 2.3.5. Зведена специфікація основного обладнання.....  | 49        |
| <b>РОЗДІЛ 3. МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВОЇ</b><br><b>ПРОДУКЦІЇ ЗА СИСТЕМОЮ НАССР.....</b>                | <b>51</b> |
| 3.1. Загальні підходи до системи управління безпечністю та аналіз небезпечних факторів у системі водопостачання..... | 51        |
| 3.2. Визначення критичних контрольних точок (ККТ), встановлення критичних меж та розробка плану НАССР.....           | 55        |
| <b>РОЗДІЛ 4 ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ.....</b>   | <b>60</b> |
| 4.1. Розрахунок економічної ефективності впровадження удосконаленої технології.....                                  | 60        |
| 4.1.1. Розрахунок капітальних витрат (CAPEX).....  | 60        |
| 4.1.2. Розрахунок операційних витрат (ОРЕХ).....   | 62        |
| 4.1.3. Розрахунок собівартості води та терміну окупності.....  | 63        |
| 4.2. Екологічні проблеми водопідготовки та шляхи їх вирішення (утилізація промивних вод).....                        | 64        |
| <b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....</b>  | <b>67</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>   | <b>69</b> |
| <b>ДОДАТКИ.....</b>  | <b>73</b> |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Харчова промисловість України на сучасному етапі розвитку є однією з ключових бюджетоутворюючих галузей економіки, яка не лише забезпечує продовольчу безпеку держави, а й формує значний експортний потенціал. В умовах глобалізації ринків та підвищення вимог споживачів до якості та безпечності продуктів харчування, особливої ваги набуває сегмент виробництва безалкогольних напоїв, зокрема натуральних фруктових та овочевих соків. Тенденції здорового способу життя, які домінують у суспільстві останніми роками, стимулюють попит на відновлені соки, що поєднують у собі природну користь, високі органолептичні властивості та зручність споживання.

Технологія виробництва відновлених соків базується на використанні двох основних компонентів: концентрованого соку (фруктового пюре) та підготовленої питної води. Специфіка даного виробництва полягає у тому, що вода є не допоміжним матеріалом (як, наприклад, у хлібопекарській чи кондитерській галузях), а основною сировиною, масова частка якої у готовому продукті досягає 85-90 %. Саме тому фізико-хімічні, органолептичні та мікробіологічні показники води відіграють вирішальну роль у формуванні якості готового напою. Вода виступає дисперсійним середовищем, яке визначає стабільність колоїдних систем соку, активність ферментативних процесів, стійкість вітамінного комплексу та, що найважливіше, смакові й візуальні характеристики продукту [1].

Однією з головних проблем водопостачання підприємств харчової промисловості в Україні є якість води з підземних джерел. Більшість заводів, особливо розташованих у сільській місцевості або невеликих містах, використовують для технологічних потреб воду з артезіанських свердловин. Геологічні особливості українського кристалічного щита та осадових порід зумовлюють специфічний хімічний склад цих вод. Попри високу захищеність від антропогенного та бактеріологічного забруднення, артезіанські води часто характеризуються підвищеним вмістом заліза (у концентраціях від 0,3 до 5,0 мг/дм<sup>3</sup> і вище), марганцю, сірководню, а також підвищеною жорсткістю [2].

Наявність навіть незначних концентрацій заліза (понад 0,1 мг/дм<sup>3</sup>) у технологічній воді є критичним фактором ризику для виробництва соків, особливо світлих видів, таких як яблучний або виноградний. Іони заліза є активними каталізаторами окислювальних процесів. Вступаючи в реакцію з фенольними сполуками (танінами, катехінами), якими багата фруктова

|      |      |          |        |      |       |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|-------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |       |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |       |  |  |  | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ВСТУП |  |  |  |      |









## РОЗДІЛ 1. НАУКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 1.1. Літературний огляд. Аналіз сучасних способів проведення технологічних процесів водопідготовки та їх апаратного оформлення

#### 1.1.1. Технологічні особливості виробництва відновлених соків та критична роль водної складової

Сучасна стратегія розвитку харчової промисловості України базується на принципах забезпечення населення високоякісними, біологічно повноцінними та безпечними продуктами харчування. У сегменті безалкогольних напоїв домінуючу позицію займають соки та соковмісні напої, які є важливим джерелом вітамінів, макро- та мікроелементів, органічних кислот та інших біологічно активних речовин. Аналіз ринку свідчить, що понад 85% сокової продукції, яка реалізується в Україні, належить до категорії відновлених соків. Це зумовлено об'єктивними економічними та логістичними факторами: транспортування та зберігання концентрованого соку (пюре) є значно рентабельнішим, ніж перевезення свіжих плодів або соків прямого віджиму, а також дозволяє нівелювати фактор сезонності, забезпечуючи ритмічну роботу підприємств протягом усього року.

З технологічної точки зору, **відновлений сік** - це продукт, отриманий шляхом додавання до концентрованого соку або пюре підготовленої питної води з одночасним відновленням аромату шляхом введення натуральних ароматичних речовин, отриманих під час концентрування. Ключовою вимогою технології є забезпечення ідентичності фізико-хімічних та органолептичних показників відновленого продукту показникам свіжовіджатого соку з того ж виду фруктів. Згідно з вимогами ДСТУ 4283:2004 «Соки фруктові та овочеві», масова частка розчинних сухих речовин у відновленому соку повинна відповідати мінімальним значенням Brix, встановленим для відповідного виду фруктів (наприклад, для яблучного соку - не менше 11,2 °Brix, для апельсинового - 11,2 °Brix, для виноградного - 16,0 °Brix).

У процесі відновлення (регідратації) вода відіграє фундаментальну роль, яка виходить далеко за межі функції простого розчинника. Вода становить від 80% до 90% маси готового продукту, тому її якісні характеристики безпосередньо визначають термодинамічну стабільність системи, кінетику біохімічних реакцій та сенсорний профіль напою. Розглянемо детально вплив водної складової на формування якості соків у розрізі основних аспектів.

Фізико-хімічний аспект та колоїдна стабільність

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |







Порівняльний аналіз вимог до питної води (ДСанПіН) та рекомендованих вимог для сокового виробництва наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика нормативних вимог до якості води

| Показник               | Одиниці виміру        | Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10 | Рекомендовані вимоги для соків | Обґрунтування посилення вимог                 |
|------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|---|
| 1                      | 2                     | 3                             | 4                              | 5   |
| Запах (20°C / 60°C)    | бали                  | $\leq 2$                      | 0                              | Запобігання стороннім ароматам у продукті     |
| Присмак                | бали                  | $\leq 2$                      | 0                              | Збереження натурального смаку фруктів         |
| Кольоровість           | град                  | $\leq 20$                     | $\leq 5$                       | Забезпечення ідеальної прозорості             |
| Каламутність           | НОК                   | $\leq 1,0$                    | $\leq 0,5$                     | Відсутність механічних включень               |
| Водневий показник (рН) | Од. рН                | 6,5 – 8,5                     | 6,5 – 7,5                      | Стабільність кислотності соку                 |
| Залізо загальне        | мг/дм <sup>3</sup>    | $\leq 0,2$                    | $\leq 0,1$ (опт. <0,05)        | Запобігання потемнінню та металевому присмаку |
| Марганець              | мг/дм <sup>3</sup>    | $\leq 0,05$                   | $\leq 0,05$                    | Запобігання зміні кольору (сірий відтінок)    |
| Загальна жорсткість    | ммоль/дм <sup>3</sup> | $\leq 7,0$                    | 0,5 – 1,5                      | Запобігання випадінню осаду та накипу         |
| Хлориди                | мг/дм <sup>3</sup>    | $\leq 250$                    | $\leq 200$                     | Вплив на смак (солоний присмак)               |

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



### 1.1.3. Характеристика домішок артезіанських вод України та механізм їхнього впливу на якість соків

Вибір технології водопідготовки для конкретного харчового підприємства неможливий без глибокого розуміння гідрохімічних особливостей регіону розташування водозабору. Україна характеризується складною гідрогеологічною структурою, що зумовлює значну варіабельність хімічного складу підземних вод. Згідно з даними Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, значна частина артезіанських свердловин, що експлуатуються харчовими підприємствами, подає воду, яка за окремими показниками не відповідає не лише технологічним вимогам виробництва соків, а й базовим санітарним нормам [13].

Основними проблемними компонентами (домішками-забруднювачами) для артезіанських вод України є сполуки заліза, марганцю, солі жорсткості, сполуки азоту (нітрати, амоній) та природні органічні речовини. Розглянемо детально механізм їхнього фізико-хімічного впливу на якість відновлених соків.

**1. Сполуки заліза: «Залізна» проблема Полісся та Лісостепу**  
Підвищений вміст заліза є найбільш поширеною проблемою підземних вод України, особливо у північних та центральних регіонах (зона Українського кристалічного щита та Дніпровсько-Донецької западини). Концентрація заліза у свердловинах Київської, Чернігівської, Житомирської та Рівненської областей часто сягає 1,0-5,0 мг/дм<sup>3</sup>, а в окремих випадках - до 10-15 мг/дм<sup>3</sup>, що у десятки разів перевищує технологічний норматив для сокового виробництва (0,1 мг/дм<sup>3</sup>) [14].

**Хімічна природа:** У глибоких артезіанських горизонтах, де відсутній розчинений кисень (анаеробні умови) і присутній вільний діоксид вуглецю, залізо знаходиться у добре розчинній двовалентній формі у вигляді гідрокарбонату заліза  $Fe(HCO_3)_2$ . Така вода на виході зі свердловини виглядає абсолютно прозорою. Однак при ко нтакті з повітрям або окисниками відбувається гідроліз і окиснення з утворенням нерозчинного колоїдного гідроксиду заліза  $Fe(OH)_3$ , що випадає у вигляді бурого осаду.

#### **Механізм впливу на якість соків:**

**Утворення комплексів (потемніння):** Це найбільш критичний дефект. Фруктові соки, особливо яблучний, виноградний, гранатовий, містять значну кількість поліфенольних сполук (танінів, катехінів, антоціанів, флавонолів). Іони заліза ( $Fe^{2+}$  та  $Fe^{3+}$ ) мають високу спорідненість до фенольних гідроксильних груп. Вступаючи в реакцію, вони утворюють стійкі хелатні комплекси - феро-танати. Ці сполуки мають інтенсивне забарвлення







**Перманганат калію:** Високоєфективний для видалення марганцю. Проте реагент є прекурсором (обіг обмежений законодавством), дорогим, а продукти реакції (діоксид марганцю) створюють значний осад.

**Каталітичне окиснення (фільтрування через модифіковані завантаження).** Це найбільш прогресивний метод для малих та середніх підприємств. Використовуються фільтруючі матеріали (BIRM, Greensand Plus, Pyrolox, МЖФ), гранули яких покриті плівкою діоксиду марганцю ( $MnO_2$ ). Ця плівка діє як каталізатор, прискорюючи реакцію окиснення заліза розчиненим у воді киснем у сотні разів. Реакція відбувається безпосередньо на поверхні зерен фільтру, і продукти окиснення затримуються у товщі завантаження.

**Переваги:** Висока швидкість фільтрації (10–12 м/год), компактність обладнання (одна колона замінює систему аерації), відсутність необхідності у дозуванні реагентів (для матеріалів типу BIRM), простота автоматизації [20].

**Недоліки:** Чутливість до наявності сірководню та нафтопродуктів (отруєння каталізатора), обмеження за рівнем рН (ефективні при рН 6,8–9,0), необхідність інтенсивної промивки.

## **2. Методи кондиціонування сольового складу (пом'якшення та демінералізація)**

Для виробництва соків необхідно не просто видалити шкідливі домішки, а скоригувати мінеральний склад (знизити жорсткість, лужність, вміст хлоридів).

**Іонообмін (Na-катіонування).** Класичний метод пом'якшення. Вода проходить через шар катіоніту (синтетичної смоли), де іони кальцію та магнію обмінюються на іони натрію.

**Переваги:** Глибоке пом'якшення (до 0,05–0,1 ммоль/дм<sup>3</sup>), висока надійність, простота експлуатації.

**Недоліки:** Не змінює загальний солевміст (TDS) і аніонний склад води (не видаляє нітрати, хлориди, сульфати). Підвищує вміст натрію у воді, що може надати соку солонуватого присмаку. Екологічна проблема утилізації висококонцентрованих сольових стоків після регенерації смоли (на 1 м<sup>3</sup> очищеної води утворюється 0,1–0,2 м<sup>3</sup> стоків з високим вмістом хлоридів). [21]

**Баромембранні методи (Зворотний осмос та Нанофільтрація).** Це технології молекулярного розділення розчинів під тиском.

**Зворотний осмос (Reverse Osmosis - RO):** Напівпроникна мембрана пропускає молекули води, затримуючи 98–99,8% всіх домішок (іонів, органіки, бактерій, вірусів). Дозволяє отримати воду, близьку до дистильованої (пермеат).

**Переваги:** Універсальність (видаляє все: жорсткість, нітрати, важкі метали, пестициди), стабільна якість пермеату, мікробіологічна стерильність.



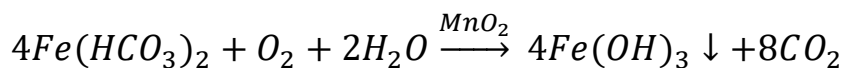
Таблиця 1.2 – Порівняльний аналіз методів знезалізнення води для малих та середніх харчових підприємств

| Критерій порівняння        | Спрощена аерація                               | Реагентне окиснення (NaClO)         | Каталітичне фільтрування (BIRM)      | Зворотний осмос                           |
|----------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Ефективність видалення Fe  | Середня (до 0,3 мг/дм <sup>3</sup> )           | Висока (до 0,1 мг/дм <sup>3</sup> ) | Висока (до 0,05 мг/дм <sup>3</sup> ) | Дуже висока (до 0,01 мг/дм <sup>3</sup> ) |
| Видалення супутніх домішок | Тільки гази CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S | Бактерії, органіка                  | Марганець (частково)                 | Всі солі, бактерії, віруси                |
| Капітальні витрати         | Високі (великі резервуари)                     | Середні (станція дозування)         | Низькі / Середні                     | Дуже високі                               |
| Експлуатаційні витрати     | Низькі   | Середні (реагенти)                  | Низькі (тільки вода на промивку)     | Високі (ел. енергія, заміна мембран)      |
| Компактність               | Низька   | Середня                             | Висока                               | Висока                                    |
| Ризики для якості соку     | Нестабільність результату                      | Утворення побічних продуктів (ТГМ)  | Мінімальні                           | Ризик мінерального дисбалансу             |
| Вимоги до скидів           | Немає  | Токсичні залишки хлору              | Безпечні промивні води               | Концентрат (розсол)                       |

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що для удосконалення технології підготовки води на підприємстві з виробництва відновлених соків продуктивністю 5000 л/добу найбільш доцільним є впровадження технології **каталітичного знезалізнення** (як найбільш економічного та безпечного методу видалення заліза) у поєднанні з **іонообмінним пом'якшенням** або **частковим зворотним осмосом** для корекції мінерального складу. Такий підхід дозволить отримати воду, що відповідає найжорсткішим технологічним вимогам, при мінімальних витратах на виробництво.

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





Утворений гідроксид заліза  $Fe(OH)_3$  є нерозчинною сполукою, яка кристалізується безпосередньо на поверхні гранул.

4. **Регенерація каталізатора:** Поверхня каталізатора відновлює свої окисні властивості за рахунок розчиненого у воді кисню.

5. **Механічне затримання:** Шар гідроксиду заліза, що утворився, утримується в міжзерновому просторі фільтра і діє як додатковий автокаталізатор для наступних порцій води (ефект «зрілого» фільтра).

Таким чином, каталітичне завантаження виконує подвійну функцію: прискорювача реакції окиснення та фільтруючого середовища для затримання продуктів реакції.

### Характеристика основних типів каталітичних матеріалів

Ринок водоочисних технологій пропонує широкий спектр завантажень, які відрізняються за природою основи, вмістом активного компонента, насипною вагою та умовами експлуатації.

**BIRM (Burgess Iron Removal Method)** Виробник: Clack Corporation (США). Це синтетичний матеріал, що являє собою легке алюмосилікатне ядро, покрите шаром діоксиду марганцю.

**Переваги:** Низька насипна вага (0,7–0,8 кг/дм<sup>3</sup>), що дозволяє зменшити витрати води на зворотну промивку (необхідна інтенсивність потоку всього 25–30 м/год). Не вимагає хімічної регенерації - відновлення активності відбувається за рахунок розчиненого у воді кисню. Економічно вигідний для малих та середніх установок.

**Обмеження:** Ефективно працює лише за наявності розчиненого кисню (не менше 15% від вмісту заліза). Чутливий до сірководню та нафтопродуктів. Робочий діапазон рН 6,8–9,0. Не видаляє органічне залізо [23].

**Manganese Greensand (Глауконітовий пісок)** Традиційний матеріал на основі природного мінералу глауконіту, модифікованого оксидами марганцю.

**Переваги:** Здатний видаляти не тільки залізо і марганець, а й сірководень (у невеликих концентраціях).

**Обмеження:** Вимагає обов'язкової періодичної або безперервної регенерації розчином перманганату калію ( $KMnO_4$ ), що ускладнює експлуатацію та створює проблему утилізації марганцевовмісних стоків. Має низьку брудоемність та схильність до стирання. Останнім часом витісняється матеріалом **Greensand Plus**, який має кремнієву основу і є більш стійким до механічних навантажень, але також часто використовується з дозуванням активних окисників (хлору) [24].

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





**Фільтрувальну колонку** з органічного скла (внутрішній діаметр 50 мм, висота завантаження 800 мм), заповнену матеріалом BIRM. Колонка обладнана дренажною системою для рівномірного розподілу потоку.

**Вузол аерації** (ежектор) перед входом у колонку для насичення води киснем повітря, необхідним для реакції окиснення.

**Ротаметр** для контролю миттєвої витрати води.

**Пробовідбірники** на вході та виході з колонки.

Дослідження проводилися за методикою повного факторного експерименту. Варійованим фактором виступала **доза завантаження** (умовний параметр  $p$ , що характеризує об'єм фільтруючого матеріалу та час контакту води з каталізатором), а функціями відгуку - залишкові концентрації заліза, жорсткість та кольоровість фільтрату.

### 1. Визначення масової концентрації загального заліза (Fe)

Використовувався фотометричний метод з сульфосаліциловою кислотою згідно з ГОСТ 4011-72 (або ISO 6333) [28]. *Принцип методу:* У лужному середовищі (аміачний буфер) іони заліза  $Fe^{2+}$  та  $Fe^{3+}$  утворюють з сульфосаліциловою кислотою стійку комплексну сполуку жовтого кольору. Інтенсивність забарвлення розчину прямо пропорційна концентрації заліза і вимірюється на фотоколориметрі (спектрофотометрі).

*Хід визначення:* До 50 см<sup>3</sup> досліджуваної води додають 2 см<sup>3</sup> розчину хлориду амонію, 2 см<sup>3</sup> 10%-го розчину сульфосаліцилової кислоти та 2 см<sup>3</sup> розчину аміаку (1:1). *Розрахунок:* Концентрацію заліза ( $X_{Fe}$  мг/дм<sup>3</sup>) знаходять за попередньо побудованим калібрувальним графіком або за формулою:

$$X_{Fe} = \frac{m * 1000}{V}$$

де  $m$  - маса заліза, знайдена за графіком, мг;  $V$  - об'єм проби води, взятої для аналізу, см<sup>3</sup>.

### 2. Визначення загальної жорсткості

Використовувався комплексометричний метод (титрування Трилоном Б) згідно з ДСТУ ISO 6059:2008 [29]. *Принцип методу:* Метод базується на здатності динатрієвої солі етилендіамінтетраоцтової кислоти (Трилон Б) утворювати з іонами кальцію та магнію міцні розчинні внутрішньоконкомплексні сполуки. Титрування проводять у присутності металоіндикатора еріохрому чорного Т при рН 10. У точці еквівалентності вишнево-червоний колір розчину змінюється на синій. *Хід визначення:* До 100 см<sup>3</sup> проби додають 5 см<sup>3</sup> аміачного буферного розчину (суміш  $NH_4Cl + NH_4OH$ ), 5-7 крапель індикатора і титрують 0,05 Н розчином

Трилону Б до зміни забарвлення. *Розрахунок:* Загальну жорсткість (Ж, ммоль/дм<sup>3</sup>) розраховують за формулою:

$$Ж = \frac{V_T * N * 1000}{V_P} * K$$

де  $V_T$  - об'єм розчину Трилону Б, витрачений на титрування, см<sup>3</sup>;  $N$  - нормальність розчину Трилону Б (зазвичай 0,05 моль/дм<sup>3</sup>);  $V_P$  - об'єм проби води, см<sup>3</sup>;  $K$  - поправочний коефіцієнт до титру Трилону Б.

**3. Визначення кольоровості** Використовувався візуальний або фотометричний метод порівняння зі стандартною платиново-кобальтовою шкалою згідно з ДСТУ 4077-2001 [30]. Порівняння забарвлення досліджуваної води з забарвленням еталонних розчинів, що містять хлорплатинат калію та хлорид кобальту.

Результат виражається у градусах кольоровості платиново-кобальтової шкали.

**4. Визначення водневого показника (рН)** Використовувався потенціометричний метод згідно з ДСТУ 4077-2001 [31]. *Обладнання:* Лабораторний іономір (рН-метр) типу рН-150МІ зі скляним індикаторним електродом та хлор-срібним електродом порівняння. *Хід визначення:* Електроди занурюють у пробу води, після встановлення рівноваги зчитують значення рН на шкалі приладу. Точність вимірювання  $\pm 0,05$  од. рН.

**5. Визначення окиснюваності (Перманганатна окиснюваність)** Використовувався метод Кубеля (окиснення перманганатом калію в кислому середовищі при кип'ятінні) згідно з ДСТУ ISO 8467:2001 [32].

*Принцип методу:* Органічні речовини води окислюються надлишком  $KMnO_4$ . Залишок перманганату визначають зворотним титруванням щавлевою кислотою. *Розрахунок:* Окиснюваність ( $X$ , мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) обчислюють за формулою:

$$X = \frac{(V_1 - V_2) * N * 8 * 1000}{V_{prob}}$$

де  $V_1$ - об'єм  $KMnO_4$ , витрачений на окиснення проби;  $V_2$  - об'єм  $KMnO_4$ , витрачений на холосту пробу (дистильовану воду);  $N$  - нормальність розчину  $KMnO_4$ ; 8 - еквівалентна маса кисню.

Статистична обробка результатів

Всі вимірювання проводилися у трьох повторностях для забезпечення

достовірності результатів. За кінцевий результат приймали середнє арифметичне значення. Оцінку похибок вимірювання та адекватність отриманих математичних моделей проводили за допомогою критерію Фішера та коефіцієнта детермінації ( $R^2$ ) у середовищі MS Excel та MathCAD [33].

Застосування комплексу вищезазначених методик дозволило отримати об'єктивні дані про склад води та кінетику процесу очищення, що стало основою для проектування удосконаленої технологічної схеми у наступних розділах.

### 1.2.2. Дослідження фізико-хімічних показників вихідної води джерела водопостачання

На першому етапі експериментальних досліджень було проведено комплексний моніторинг якості води з обраного джерела водопостачання - артезіанської свердловини (с. Бородянка, Київська область). Метою цього етапу було встановлення відповідності вихідної води вимогам технологічного регламенту виробництва відновлених соків та ідентифікація критичних показників, що потребують корегування.

Відбір проб проводився у весняний період, що дозволило оцінити стабільність складу води в умовах можливого сезонного впливу паводкових вод на водоносні горизонти. Аналіз здійснювався за розширеним переліком показників, що включає органолептичні, фізико-хімічні та санітарно-токсикологічні критерії.

Результати лабораторних досліджень усереднено та зведено в табл. 1.2.  
Таблиця 1.2 – Результати фізико-хімічного аналізу вихідної артезіанської води (с. Бородянка)

| № з/п | Найменування показника | Одиниці виміру | Результат аналізу | Норматив згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 | Метод випробування |
|-------|------------------------|----------------|-------------------|--|--------------------|
| 1     | 2                      | 3              | 4                 | 5                                      | 6                  |
| 1     | Запах при 20°C         | бали           | 1                 | ≤ 2                                    | ГОСТ 3351 [60]     |
| 2     | Запах при 60°C         | бали           | 1                 | ≤ 2                                    | ГОСТ 3351          |
| 3     | Присмак                | бали           | 1                 | ≤ 2                                    | ДСТУ ISO 7887      |
| 4     | Прозорість             | см             | 28                | ≥ 25                                   | МВВ 081/37-0695    |

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





продуктів дитячого харчування, де вимоги до нітратів є особливо жорсткими [38].

## 6. Сухий залишок (Загальна мінералізація)

Значення  $219 \text{ мг/дм}^3$  вказує на те, що вода є слабомінералізованою. Для порівняння, багато столових вод мають мінералізацію  $500\text{--}800 \text{ мг/дм}^3$ . Низька мінералізація є позитивним технологічним фактором, оскільки така вода є відмінним екстрагентом і розчинником. Вона не вносить дисбалансу у мінеральний профіль соку, сформований природними солями фруктів.

### Підсумкова оцінка якості джерела водопостачання

На основі проведеного детального аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Артезіанська вода зі свердловини с. Бородянка за своїми базовими характеристиками (мінералізація, аніонний склад, відсутність токсичних домішок) є високоякісним джерелом водопостачання.

2. Критичним лімітуючим фактором є вміст **заліза загального** на рівні  $2 \text{ мг/дм}^3$ . Хоча це відповідає нормативам питної води, для технології яблучного соку така концентрація є неприпустимою через ризик незворотного погіршення кольору та смаку продукту.

3. Показник жорсткості ( $2,0 \text{ ммоль/дм}^3$ ) є задовільним, але потребує контролю.

4. Отже, головним завданням проекрованої системи водопідготовки має стати **глибоке знезалізнєння** води (зниження концентрації Fe з 2 до  $<0,05 \text{ мг/дм}^3$ ) при збереженні її природної низької мінералізації та нейтрального рН. Вирішення цього завдання можливе шляхом застосування каталітичних методів фільтрування, дослідження яких наведено у наступному пункті.

### 1.2.3. Дослідження кінетики та ефективності очищення води від заліза на завантаженні BIRM

Ключовим етапом експериментальної частини роботи було дослідження закономірностей процесу знезалізнєння води на обраному каталітичному завантаженні BIRM. Метою цього етапу було не лише підтвердити принципову придатність матеріалу для води с. Бородянка, а й встановити кількісну залежність між параметрами процесу (дозою завантаження) та якісними показниками фільтрату. Це необхідно для обґрунтованого вибору розмірів промислового обладнання.

Процес знезалізнєння на завантаженні BIRM базується на гетерогенному каталізі. Швидкість реакції окиснення двовалентного заліза до тривалентного залежить від площі контакту фаз (площі поверхні зерен завантаження) та часу контакту. У нашому експерименті інтегральним

показником, що враховує обидва ці фактори, виступала доза завантаження ( $p$ ). Збільшення цього параметра у лабораторній установці моделювало збільшення висоти фільтруючого шару у промисловому фільтрі або зменшення швидкості фільтрації.

### Результати експерименту

Експериментальні дослідження проводилися серіями. У кожній серії через колонку з фіксованою дозою завантаження пропускався стабільний потік аерованої води. Після виходу установки на робочий режим (промивка 10-15 хвилин) відбиралися проби фільтрату.

Зведені результати вимірювань залишкових концентрацій основних забруднювачів та супутніх показників наведено в таблиці 1.3.

*Таблиця 1.3 – Динаміка зміни показників якості води в залежності від дози фільтруючого завантаження BIRM*

| № з/п | Доза завантаження ( $p$ ), ум. од. | Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup> | Ефективність знезалізнення, % | Кольоровість, град | Кальцій, мг/дм <sup>3</sup> | Магній, мг/дм <sup>3</sup> |
|-------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 0     | 0 (Вихідна вода)                   | 0,20                                | -                             | 2,8                | 72,0                        | 19,0                       |
| 1     | 20                                 | 0,15                                | 25%                           | 2,5                | 71,5                        | 18,9                       |
| 2     | 50                                 | 0,10                                | 50%                           | 2,3                | 71                          | 18,8                       |
| 3     | 80                                 | 0,06                                | 70%                           | 2                  | 70,5                        | 18,7                       |
| 4     | 120                                | 0,04                                | 80%                           | 1,9                | 70                          | 18,6                       |
| 5     | 160                                | 0,03                                | 85%                           | 1,8                | 69,5                        | 18,5                       |

### Аналіз кінетики видалення заліза

На основі отриманих даних (табл. 1.3) побудовано графічну залежність залишкової концентрації заліза від дози завантаження. Аналіз кривої дозволяє виділити три характерні зони процесу:

#### **Зона початкового окиснення ( $p = 0...50$ ).**

На цій ділянці спостерігається лінійне, але помірне зниження концентрації заліза з 0,20 до 0,10 мг/дм<sup>3</sup>. Ефективність очищення досягає 50%. Це свідчить про те, що при малих дозах завантаження (малому часі контакту) реакція окиснення не встигає пройти повністю. Частина заліза проскакує через шар завантаження у розчиненій двовалентній формі. Отриманий результат (0,10 мг/дм<sup>3</sup>) знаходиться на межі технологічної норми для соків, що є ризикованим [39].



Однак, це зниження (близько 3-4% від початкового значення) є технологічно незначимим. Вода залишається м'якою (загальна жорсткість близько 4.5 ммоль/дм<sup>3</sup>), але все ще потребує контрольного пом'якшення для гарантованого запобігання осаду в соках [41].

### **Розрахунок питомої брудоемності**

В ході експерименту також оцінювалася динаміка зростання гідравлічного опору фільтрувального шару, що свідчить про накопичення осаду. Встановлено, що при вмісті заліза 2 мг/дм<sup>3</sup> фільтроцикл (час роботи між промивками) для завантаження ВІРМ може становити до 72-96 годин без проскоку заліза у фільтрат. Це підтверджує високу брудоемність матеріалу і дозволяє мінімізувати витрати води на власні потреби станції (промивку) [68].

### **1.2.4. Математичне моделювання та оптимізація процесу знезалізнення**

Для переходу від емпіричних даних до інженерних розрахунків необхідно створити математичну модель процесу, яка дозволить прогнозувати якість очищеної води при будь-яких значеннях технологічних параметрів у межах дослідженого діапазону. Це дозволяє вирішити задачу оптимізації – знайти таке значення дози завантаження, яке забезпечує необхідну якість води при мінімальних витратах ресурсів.

Як метод моделювання було обрано регресійний аналіз. Вхідним керованим фактором (X) виступала доза фільтруючого завантаження (p), виражена в умовних одиницях (мг/дм<sup>3</sup> або еквівалент висоти шару).

Вихідними параметрами (функціями відгуку, Y) слугували ключові показники якості води:

$F_1(p)$  - кольоровість, град.;

$F_2(p)$  - концентрація заліза, мг/дм<sup>3</sup>;

$F_3(p)$  - концентрація кальцію, мг/дм<sup>3</sup>;

$F_4(p)$  - концентрація магнію, мг/дм<sup>3</sup>.

Для апроксимації експериментальних даних було обрано поліноміальну модель 3-го порядку. Вибір саме такої моделі зумовлений тим, що процеси сорбції та каталізу часто мають нелінійний характер із насиченням, що найкраще описується кривими вищих порядків.

Загальний вигляд рівняння регресії:

$$Y = b_0 + b_1 * p + b_2 * p^2 + b_3 * p^3$$

Де  $b_0$  - вільний член, що відповідає значенню показника у вихідній воді (при  $p=0$ );

$b_1, b_2, b_3$  - коефіцієнти регресії, що характеризують внесок лінійної, квадратичної та кубічної складових.

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



## РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТНО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНКИ

### 2.1. Загальна характеристика проєктованого виробництва та опис удосконаленої технологічної схеми водопідготовки

#### 2.1.1. Характеристика проєктованого виробництва відновлених соків

В основу проєкту покладено розробку дільниці (цеху) з виробництва відновленого яблучного соку потужністю 5000 л готової продукції за зміну. Вибір саме такої потужності обґрунтований тенденціями розвитку ринку крафтових та натуральних напоїв, де спостерігається попит на продукцію локальних виробників з високим контролем якості. Такий обсяг виробництва дозволяє забезпечити гнучкість технологічного процесу, швидку оборотність продукції та мінімізацію складських запасів, що є критично важливим для збереження органолептичних властивостей натурального соку.

**Продуктова спеціалізація та режим роботи** Основним видом продукції є сік яблучний відновлений освітлений. Вибір освітленого соку як основного продукту диктує підвищені вимоги до якості води, оскільки будь-які домішки (особливо залізо та солі жорсткості) у прозорому напої миттєво візуалізуються у вигляді помутніння або осаду, що є неприпустимим дефектом [42]. Режим роботи дільниці водопідготовки проєктується як безперервний або періодичний, синхронізований з роботою лінії розливу. Розрахунковий режим роботи основного виробництва - однозмінний (8 годин) або двозмінний, залежно від сезону та попиту.

Продуктивність системи водопідготовки розраховується з урахуванням пікових навантажень під час пуску лінії та проведення санітарної обробки (CIP-мийки) обладнання.

**Сировинна база** Технологічний процес базується на використанні двох основних компонентів:

**Сировинна база** Технологічний процес базується на використанні двох основних компонентів:

1. **Концентрований яблучний сік** (масова частка сухих речовин 70 °Вх). Використовується концентрат вітчизняного виробництва, що відповідає вимогам ДСТУ 4283:2004. Висока концентрація сухих речовин забезпечує мікробіологічну стабільність сировини при зберіганні [43].

2. **Вода підготовлена питна.** Є основним інгредієнтом для відновлення (регідратації). Її частка у готовому продукті (при відновленні до стандартних 11,2 °Вх) становить близько 84-85%. Джерелом водопостачання обрано артезіанську свердловину (аналог свердловини с. Бородянка), вода

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  |          |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|----------|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | РОЗДІЛ 2 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |  |          | 39   |







Результати розрахунку слугують вихідними даними для підбору технологічного обладнання відділення водопідготовки та купажування.

**Вихідні дані для розрахунку:**

**Продуктивність лінії:**  $V_{prod} = 5000$  л/зміну (готового продукту).

**Асортимент:** Сік яблучний відновлений освітлений.

**Вимоги до готового продукту:** Згідно з ДСТУ 4283:2004, мінімальна масова частка розчинних сухих речовин (РСР) для відновленого яблучного соку становить 11,2 %  $B_{x_{prod}} = 11,2$  °Вгіх).

**Характеристика сировини:** Концентрований яблучний сік освітлений. Масова частка сухих речовин - 70,0 %  $B_{x_{conc}} = 70$  °Вгіх.

**Густина продуктів (довідкові дані):**

Густина готового соку (11,2 °Вгіх) при 20°C:  $p_{prod} = 1,045$  кг/дм<sup>3</sup>.

Густина концентрату (70 °Вгіх) при 20°C:  $p_{conc} = 1,350$  кг/дм<sup>3</sup>.

Густина води при 20°C:  $p_{water} = 1,000$  кг/дм<sup>3</sup>.

**Технологічні втрати:** Приймаємо нормативні втрати на стадіях купажування, фільтрації та розливу у розмірі  $K_{loss} = 1,5\%$  (коефіцієнт запасу 1,015).

**Алгоритм розрахунку**

### 1. Розрахунок маси готового продукту ( $M_{prod}$ )

Оскільки дозування компонентів здійснюється ваговим або об'ємним методом з перерахунком на масу, переведемо об'єм соку в масу:

$$M_{prod} = V_{prod} * P_{prod}$$

$$M_{prod} = 5000 * 1,045 = 5225 \text{ кг}$$

З урахуванням технологічних втрат (1,5%), необхідна маса продукту на стадії купажування ( $M_{mix}$ ) становитиме:

$$M_{mix} = M_{prod} * 1,015 = 5225 * 1,015 = 5303,4 \text{ кг}$$

**2. Розрахунок маси сухих речовин у системі ( $M_{ds}$ )** Розрахунок ведеться за балансом сухих речовин, оскільки вода не містить сухих речовин соку (приймаємо  $B_{x_{water}} = 0$ ).

$$M_{ds} = \frac{M_{mix} * B_{x_{prod}}}{100}$$

$$M_{ds} = \frac{5303,4 * 11,2}{100} = 593,98 \text{ кг}$$

**3. Розрахунок потреби у концентрованому соку ( $M_{conc}$ )** Визначаємо масу концентрату, необхідну для забезпечення розрахованої кількості сухих речовин:

$$M_{conc} = \frac{M_{ds} * 100}{B_{x_{prod}}} = \frac{593,98 * 100}{70} = 848,54 \text{ кг}$$

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |          |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|----------|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | РОЗДІЛ 2 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |          | 43   |

Розрахуємо об'єм концентрату ( $V_{conc}$ ), необхідний для замовлення та підбору насосів-дозаторів:

$$V_{conc} = \frac{M_{conc}}{\rho_{conc}} = \frac{848,54}{1,350} \approx 628,5 \text{ л}$$

**4. Розрахунок потреби у підготовленій воді ( $M_{water}$ )** Кількість води на відновлення визначається як різниця між загальною масою купажу та масою концентрату:

$$M_{water} = M_{mix} - M_{conc}$$

$$M_{water} = 5303,4 - 848,54 = 4454,86 \text{ кг}$$

Оскільки густина води  $\rho_{water} = 1,000 \text{ кг/дм}^3$ , об'єм води становить:

$$V_{water} \approx 4455 \text{ л}$$

**Зведений матеріальний баланс** Результати розрахунків на одну робочу зміну (5000 л продукції) зведено в таблицю 2.1.

*Таблиця 2.1 - Продуктовий баланс виробництва відновленого яблучного соку (на 1 зміну)*

| Найменування                          | Масова частка СР, % | Маса, кг | Об'єм, л | Густина, кг/дм <sup>3</sup> | Примітка           |
|---------------------------------------|---------------------|----------|----------|-----------------------------|--------------------|
| <b>НАДХОДЖЕННЯ</b>                    |                     |          |          |                             |                    |
| 1. Концентрований яблучний сік        | 70,0                | 848,5    | 628,5    | 1,350                       | Сировина           |
| 2. Вода підготовлена (на відновлення) | -                   | 4454,9   | 4455,0   | 1,000                       | Інгредієнт         |
| Всього надійшло:                      | 11,2                | 5303,4   | -        | -                           |                    |
| <b>ВИТРАТИ</b>                        |                     |          |          |                             |                    |
| 1. Сік яблучний (готовий продукт)     | 11,2                | 5225,0   | 5000,0   | 1,045                       | Товарна продукція  |
| 2. Технологічні втрати (1,5%)         | 11,2                | 78,4     | -        | -                           | Фільтрація, розлив |
| Всього витрачено:                     | 11,2                | 5303,4   | -        | -                           |                    |

**6. Розрахунок загальної потреби у воді для проектування ділянки водопідготовки**

Для коректного підбору обладнання водопідготовки (фільтрів, насосів) необхідно врахувати не лише воду, що йде безпосередньо у продукт







## 2. Розрахунок фільтроциклу ( $V_{cycle}$ ):

Об'єм смоли у корпусі 1252 становить 50 л ( $V_{resin} = 50$  л).

### Сумарна обмінна ємність фільтра:

$$E_{total} = V_{resin} * E_{work} = 50 * 1200 = 60000 \text{ мг} - \text{екв}$$

Ресурс фільтра (об'єм очищеної води між регенераціями):

$$Q_{hour} = \frac{E_{total}}{H_{in} - H_{out}} = \frac{60000}{2,0 - 0,5} = 40000 \text{ л} = 40 \text{ м}^3$$

## 3. Час роботи між регенераціями ( $T_{cycle}$ ):

$$T_{cycle} = \frac{V_{cycle}}{Q_{calc}} = \frac{40}{1,5} \approx 26,6 \text{ год}$$

Це забезпечує більше трьох робочих змін безперервної роботи (при однозмінному графіку - 3 доби). Це відмінний показник, що економить сіль та воду.

**Висновок:** Обираємо установку пом'якшення у корпусі **1252**, завантаження **Dowex HCR-S/S** (50 л), клапан **Clack WS1 CI** (за лічильником об'єму).

### 2.3.4. Підбір допоміжного обладнання

#### Установка УФ-зnezараження

УФ-лампа повинна забезпечувати дозу опромінення не менше 30 мДж/см<sup>2</sup> при піковому потоці (враховуючи коефіцієнт запасу 1,3).

Необхідна продуктивність лампи:  $1,5 * 1,3 = 1,95 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Обираємо промислову систему зnezараження Sterilight Copper SC-10 (або аналог Viqua).

Номинальний потік: 2,3 м<sup>3</sup>/год.

Приєднувальний розмір: 3/4" або 1".

Споживана потужність: 40 Вт [50].

#### Насосна станція

Насос повинен забезпечувати подачу води на фільтрацію (1,5 м<sup>3</sup>/год) при робочому тиску 3,0-4,0 бар, але головна умова - забезпечення режиму зворотної промивки фільтра зnezалізнення 1665.

Як розраховано в п. 2.3.1, потік на промивку  $Q_{backwash} = 4,0 \text{ м}^3/\text{год}$  при тиску не менше 3,0 бар.

Обираємо багатоступінчастий відцентровий насос з частотним регулюванням Grundfos CM 5-4 (або аналог Lowara, Wilo).

Номинальна подача: 4,7 м<sup>3</sup>/год.

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  | 48   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

Напір: 30-40 м.

Потужність двигуна: 0,75-1,1 кВт.

Використання частотного перетворювача дозволить підтримувати стабільний тиск у мережі незалежно від розбору води та економити електроенергію.

### 2.3.5. Зведена специфікація основного обладнання

Результати підбору обладнання для модернізації відділення водопідготовки (продуктивністю 5000 л соку/змін) зведено у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Специфікація основного технологічного обладнання

| № | Найменування обладнання | Характеристики                                    | Кількість | Призначення             |
|---|-------------------------|---|-----------|-------------------------|
| 1 | 2                       | 3   | 4         | 5                       |
| 1 | Фільтр грубої очистки   | Дисковий, 130 мкм, 1"                             | 1 шт.     | Захист від піску        |
| 2 | Станція аерації         | Компресор AP-2, датчик потоку                     | 1 компл.  | Окиснення заліза        |
| 3 | Фільтр знезалізнення    | Корпус 1665, BIRM (113 л), клапан Clack WS1.25    | 1 шт.     | Видалення Fe, Mn        |
| 4 | Вугільний фільтр        | Корпус 1665, Coconut Carbon (113 л), Clack WS1.25 | 1 шт.     | Покращення смаку        |
| 5 | Установка пом'якшення   | Корпус 1252, Катіоніт (50 л), Clack WS1 CI        | 1 шт.     | Зниження жорсткості     |
| 6 | Фільтр тонкої очистки   | Корпус BigBlue 20", картридж 5 мкм                | 1 шт.     | Фінішна фільтрація      |
| 7 | УФ-зnezаражувач         | Sterilight SC-10 (2,3 м3/год)                     | 1 шт.     | Мікробіологічний захист |

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

| 1 | 2                   | 3  | 4     | 5               |
|---|---------------------|--|-------|-----------------|
| 8 | Насосна станція     | Grundfos CM 5-4 з частотним приводом       | 1 шт. | Подача води     |
| 9 | Ємність запасу води | V = 3000 л, харчова нерж. сталь (AISI 304) | 1 шт. | Буфер для піків |

Обране обладнання є стандартним, доступним на ринку України, має сертифікати відповідності для харчової промисловості та забезпечує виконання технологічних вимог, обґрунтованих у Розділі 1.

## РОЗДІЛ 3. МЕНЕДЖМЕНТ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗА СИСТЕМОЮ НАССР

### 3.1. Загальні підходи до системи управління безпечністю та аналіз небезпечних факторів у системі водопостачання

В умовах сучасної глобалізації ринку харчових продуктів забезпечення гарантованої безпечності продукції є не лише законодавчою вимогою, а й ключовим фактором конкурентоспроможності підприємства. Для виробництва відновлених соків, де вода виступає основним рецептурним компонентом (80-90% об'єму), управління якістю води набуває стратегічного значення. Будь-яке відхилення у показниках безпечності води автоматично транслюється на кінцевий продукт, створюючи загрозу для здоров'я споживача та репутаційні ризики для виробника [51].

Основою побудови системи управління безпечністю на проєктованій дільниці водопідготовки є впровадження міжнародного стандарту **ISO 22000:2018 «Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюгу»**. Цей стандарт інтегрує принципи системи НАССР (НАССР - Hazard Analysis and Critical Control Points) із системним менеджментом, програмами-передумовами та інтерактивним обміном інформацією.

Ключовим етапом розробки системи НАССР є глибокий та всебічний аналіз небезпечних факторів (hazard analysis). Цей процес передбачає ідентифікацію всіх потенційних біологічних, хімічних та фізичних агентів, які можуть потрапити у воду або виникнути в ній на етапах видобування, обробки, зберігання та транспортування до лінії розливу.

Методологія оцінки ризиків

Для кожного ідентифікованого небезпечного фактора проводиться оцінка ризику (R), яка визначається як добуток ймовірності виникнення небезпеки (P) на тяжкість наслідків для здоров'я споживача (S):

$$R = P * S$$

Де P (Probability) оцінюється за шкалою від 1 (малоймовірно) до 5 (постійно), а S (Severity) - від 1 (незначний вплив) до 5 (летальний наслідок). Фактори з високим рівнем ризику потребують обов'язкового контролю через Критичні Контрольні Точки (ККТ) або Операційні Програми-Передумови (ОПП).

Нижче наведено детальний аналіз небезпечних факторів, специфічних для розробленої у Розділі 2 технологічної схеми водопідготовки (Аерація → BIRM → Вугілля → Пом'якшення → УФ).





**Міграція речовин з конструкційних матеріалів** Додатковим, часто недооціненим фактором хімічного ризику є можлива міграція шкідливих речовин з матеріалів, що контактують з водою. Це можуть бути мономери (вінілхлорид, стирол) з неякісних полімерних трубопроводів, пластифікатори з гумових ущільнювачів, а також продукти деструкції іонообмінних смол (дивінілбензол) при їх старінні або використанні завантажень, що не мають харчового допуску. Особливу небезпеку становить використання дешевих аналогів фільтруючих матеріалів сумнівного походження, які можуть виділяти у воду важкі метали або нафтопродукти.

Тому наявність гігієнічних сертифікатів на всі матеріали та реагенти є критичною умовою безпечності.

Результати ідентифікації хімічних небезпек та заходи щодо їх контролю систематизовано у таблиці 3.1.

*Таблиця 3.1 – Реєстр хімічних небезпечних факторів та заходи керування ними*

| Етап процесу                     | Хімічний небезпечний фактор      | Механізм виникнення небезпеки   | Наслідки для продукту / споживача  | Заходи керування (ПП / ККТ)  |
|----------------------------------|----------------------------------|---|--|--|
| 1                                | 2                                | 3   | 4  | 5  |
| Забір води зі свердловини        | Нітрати, пестициди, важкі метали | Сезонна міграція з ґрунтових вод, забруднення водоносного горизонту                       | Токсичний вплив на організм людини, хронічні отруєння                                  | <b>Програма-передумова (ПП):</b><br>Щоквартальний розширений лабораторний аналіз води  |
| Каталітичне знезалізнення (BIRM) | Залізо                           | Проскок заліза через вичерпання ресурсу завантаження або перевищення швидкості фільтрації | <b>Критичний дефект якості:</b><br>Потемніння соку, утворення осаду, металевий присмак | <b>ККТ-1:</b> Контроль вмісту заліза кожні 4 години (експрес-тест).<br><b>ПП:</b> Автоматична промивка фільтра за таймером/об'ємом |

| 1                             | 2                        | 3  | 4   | 5  |
|-------------------------------|--------------------------|--|---|--|
| Пом'якшення (Na-катионування) | Хлорид натрію (Сіль)     | Неповна відмивка смоли після регенерації, збій клапана   | Зіпсований смак продукту (солоний сік), непридатність до споживання                     | <b>ОПП (Операційна програма-передумова):</b><br>Контроль електропровідності або проба на смак після кожної регенерації |
| Пом'якшення (Na-катионування) | Солі жорсткості (Ca, Mg) | Вичерпання обмінної ємності смоли ("проскок жорсткості") | <b>Технологічний брак:</b><br>Випадіння осаду (пектинатів) у соку при зберіганні, накип | <b>ККТ-2:</b> Контроль залишкової жорсткості (титрування) перед кожним пуском лінії                                    |
| Транспортування та зберігання | Мономери, пластифікатори | Міграція з неякісних труб, ємностей, прокладок           | Токсичний вплив, поява стороннього "хімічного" запаху                                   | <b>ПП:</b><br>Використання матеріалів тільки з допуском для харчових продуктів (сертифікати)                           |

### 3.2. Визначення критичних контрольних точок (ККТ), встановлення критичних меж та розробка плану НАССР

Визначення Критичних Контрольних Точок (ККТ) є фундаментальним етапом у побудові системи управління безпекою, оскільки саме ці точки є тими етапами технологічного процесу, де можливе застосування контрольних заходів для запобігання, усунення або зниження до прийнятного рівня ідентифікованих небезпечних факторів. Помилка на цьому етапі може призвести до фатальних наслідків: якщо критичний етап не буде визначений як ККТ, ризик потрапляння небезпечного продукту до споживача стає неконтрольованим. З іншого боку, надмірна кількість ККТ, які не впливають безпосередньо на безпеку, може перевантажити систему моніторингу та відволікати ресурси від головних загроз [55].





Результати розробки системи моніторингу та корегувальних дій для визначених ККТ систематизовано у вигляді Плану НАССР (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – План НАССР для виробництва підготовленої води

| Етап процесу (№ ККТ)                | Небезпечний фактор                                     | Критичні межі                                  | Процедура моніторингу (Що, Як, Коли, Хто)  | Коригувальні дії   | Відповідальна особа |
|-------------------------------------|--|--|--|--|---------------------|
| 1                                   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6                   |
| ККТ-1<br>Вузол знезалізнення (BIRM) | Хімічний:<br>Залишкове залізо > 0,1 мг/дм <sup>3</sup> | $Fe_{e_{\text{заг}}} \leq 0,1 \text{ мг/дм}^3$ | <b>Що:</b><br>Концентрація заліза.<br><b>Як:</b> Експрес-тест (колориметричний).<br><b>Коли:</b> Кожні 4 години (перед початком зміни). <b>Хто:</b> Лаборант/Оператор. | 1. Негайно зупинити подачу води.<br>2. Провести примусову промивку фільтра.<br>3. Повторний аналіз.<br>4. При повторному відхиленні – заміна завантаження. | Майстер зміни       |
| ККТ-2<br>Вузол пом'якшення          | Хімічний:<br>Жорсткість > 1,5 ммоль/дм <sup>3</sup>    | $H \leq 1,5 \text{ ммоль/дм}^3$                | <b>Що:</b><br>Залишкова жорсткість.<br><b>Як:</b> Титриметричний метод.<br><b>Коли:</b> 1 раз на зміну.<br><b>Хто:</b> Апаратник ХВО.                                  | 1. Зупинити відбір води.<br>2. Перевірити наявність солі.<br>3. Запустити цикл регенерації.<br>4. Злити перші 200 л води в дренаж.                         | Апаратник ХВО.      |

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

| 1                                       | 2  | 3   | 4  | 5   | 6        |
|---|--|---|--|---|----------|
| <b>ККТ-3</b><br>УФ-<br>зnezара<br>ження | <b>Біологічни<br/>й:</b><br>Мікробіоло<br>гічне<br>забрудненн<br>я | нтенсив<br>ність<br>УФ:<br>≥30<br>мДж/см <sup>2</sup> | <b>Що:</b> Робота<br>лампи та<br>інтенсивність.<br><b>Як:</b> Датчик<br>інтенсивності.<br><b>Коли:</b><br>Безперервно<br>(автоматика).<br><b>Хто:</b><br>Автоматична<br>система. | 1.<br>Автоматичне<br>блокування<br>клапана<br>подачі<br>(Solenoid<br>Valve).<br>2. Очищення<br>кварцового<br>чохла.<br>3. Заміна<br>УФ-лампи. | Оператор |

Впровадження розробленого плану НАССР у виробничу практику потребує також проведення процедур верифікації (перевірки). Верифікація включає щотижневий розширений лабораторний аналіз проб води після кожної ККТ для підтвердження достовірності показників експрес-тестів та датчиків, а також періодичний аудит документації (журналів моніторингу) для контролю дотримання персоналом встановлених процедур.

## РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ

### 4.1. Розрахунок економічної ефективності впровадження удосконаленої технології

Впровадження будь-якого інженерного рішення у харчовій промисловості повинно бути не лише технологічно доцільним, а й економічно виправданим. Економічна ефективність проєктованої дільниці водопідготовки визначається шляхом порівняння витрат на отримання якісної води за запропонованою технологією з альтернативними варіантами водозабезпечення або з величиною відвернених збитків від браку продукції.

У даному проєкті економічний ефект формується за рахунок двох факторів. Першим є відмова від закупівлі дорогавартісної привізної води або використання неефективних реагентних методів очищення, що вимагають постійних витрат на хімікати (перманганат калію). Другим, і найбільш вагомим фактором, є запобігання випуску некондиційної продукції (потемніння соку через надлишок заліза), що могло б призвести до прямих фінансових втрат підприємства та втрати репутації на ринку.

Для оцінки ефективності проєкту проведено розрахунок трьох ключових показників: капітальних інвестицій (CAPEX), операційних витрат (OPEX) та собівартості 1 м<sup>3</sup> підготовленої води.

#### 4.1.1. Розрахунок капітальних витрат (CAPEX)

Капітальні витрати включають вартість основного та допоміжного технологічного обладнання, підбраного у розділі 2.3, а також витрати на транспортування, монтаж та пусконаладжувальні роботи. Кошторисна вартість обладнання визначена на основі актуальних комерційних пропозицій постачальників водоочисного обладнання в Україні (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Кошторис капітальних витрат на створення дільниці водопідготовки

| № з/п | Найменування обладнання та робіт     | Кількість | Ціна за одиницю, грн | Загальна вартість, грн |
|-------|--------------------------------------|-----------|----------------------|------------------------|
| 1     | 2                                    | 3         | 4                    | 5                      |
| 1     | Фільтр грубої очистки (дисковий, 1") | 1 шт.     | 3 500                | 3 500                  |

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

| 1                          | 2  | 3       | 4       | 5      |
|----------------------------|--|---------|---------|--------|
| 2                          | Комплект аерації<br>(компресор, датчик потоку, оголовок)           | 1 кмпл. | 18 000  | 18 000 |
| 3                          | <b>Фільтр знезалізнення</b><br>(Корпус 1665 + Клапан Clack WS1.25) | 1 шт.   | 28 500  | 28 500 |
| 4                          | Фільтруюче завантаження BIRM<br>(мішок 28,3 л)                     | 4 шт.   | 4 200   | 16 800 |
| 5                          | Фільтр сорбційний<br>(Корпус 1665 + Клапан Clack)                  | 1 шт.   | 26 000  | 26 000 |
| 6                          | Вугілля активоване кокосове<br>(мішок 25 кг)                       | 4 шт.   | 5 100   | 20 400 |
| 7                          | Установка пом'якшення<br>(Корпус 1252 + Клапан Clack + Бак)        | 1 шт.   | 22 000  | 22 000 |
| 8                          | Іонообмінна смола Dowex<br>(мішок 25 л)                            | 2 шт.   | 4 800   | 9 600  |
| 9                          | УФ-знезаражувач Sterilight<br>(2,3 м³/год)                         | 1 шт.   | 14 500  | 14 500 |
| 10                         | Насосна станція Grundfos CM  | 1 шт.   | 25 000  | 25 000 |
| 11                         | Ємність накопичувальна<br>(3000 л, пластик харчовий)               | 1 шт.   | 12 000  | 12 000 |
| 12                         | Трубопровідна обв'язка (ПВХ), крани, фітинги                       | 1 кмпл. | 15 000  | 15 000 |
| Разом вартість обладнання: |  |         | 211 300 |        |
| 13                         | Монтажні та пусконаладжувальні роботи<br>(15% від вартості)        |         |         | 31 695 |

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

РОЗДІЛ 4

Арк.

61

| 1   | 2 | 3 | 4       | 5 |
|---|---|---|---------|---|
| ВСЬОГО<br>КАПІТАЛЬНИХ<br>ВИТРАТ<br>(CAPEX): |   |   | 242 995 |   |

Отже, сумарні інвестиції у створення сучасної автоматизованої дільниці водопідготовки становлять **242 995 грн.**

#### 4.1.2. Розрахунок операційних витрат (ОРЕХ)

Операційні витрати - це щорічні витрати, необхідні для забезпечення функціонування системи. Розрахунок проводиться для річного фонду робочого часу при однозмінному режимі роботи (250 робочих днів). Добове споживання води становить 9 м<sup>3</sup> (з урахуванням власних потреб на промивку). Річний обсяг споживання води:  $V_{\text{рік}} = 9 * 250 = 2250 \text{ м}^3$

До складу операційних витрат входять:

1. **Витрати на електроенергію.** Основні споживачі: насосна станція (0,75 кВт) та компресор аерації (0,2 кВт). Коефіцієнт використання потужності – 0,7. Тариф для промислових споживачів – 8,0 грн/кВт·год.

$$C_{\text{ел}} = (0,75 + 0,2) * 8 \text{ год} * 250 \text{ днів} * 0,7 * 8 \text{ грн} = 10640 \text{ грн/рік.}$$

2. **Витрати на витратні матеріали (реагенти).**

Сіль таблетована для регенерації пом'якшувача. Витрата солі на одну регенерацію становить близько 6 кг. При жорсткості 2,0 ммоль/дм<sup>3</sup> ресурс фільтра складає 40 м<sup>3</sup>, тобто регенерація відбувається раз на 4-5 днів (прийmemo 60 регенерацій на рік). Вартість солі – 15 грн/кг.

$$C_{\text{сіль}} = 6 \text{ кг} * 60 \text{ рег.} * 15 \text{ грн} = 5400 \text{ грн/рік.}$$

Змінні картриджі фільтра тонкої очистки (заміна раз на місяць): 12 шт. \* 300 грн = 3 600 грн/рік.

Змінна УФ-лампа (ресурс 9000 годин, заміна 1 раз на рік): 2 500 грн/рік.

Разом на матеріали: 5400 + 3600 + 2500 = 11 500\$ грн/рік.

3. **Витрати на воду для власних потреб.** Вода, що використовується для зворотної промивки фільтрів, скидається в каналізацію. Обсяг промивних вод становить близько 10% від загального обсягу (225 м<sup>3</sup>/рік). Вартість водовідведення – 35 грн/м<sup>3</sup>.

$$C_{\text{сток}} = 225 * 35 = 7875 \text{ грн/рік.}$$

4. **Амортизаційні відрахування.** Приймаємо лінійний метод амортизації з терміном корисного використання обладнання 10 років (норма амортизації 10%).

$$A = \frac{242995}{10} = 24299,5 \text{ грн/рік}$$

|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |  |  |  |  |  | 62   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |  |      |

5. **Заробітна плата персоналу.** Обслуговування установки здійснює змінний оператор основного виробництва (суміщення посад), на що витрачається не більше 10% його робочого часу. При місячному фонді оплати праці 20 000 грн (з нарахуваннями ЄСВ 22%), частка витрат на водопідготовку становить:

$$ЗП=20000*1,22*12міс*0,1=29280\text{грн/рік}$$

Зведена таблиця річних операційних витрат наведена нижче (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Структура річних експлуатаційних витрат

| Стаття витрат                               | Сума, грн/рік | Частка, %    |
|---|---------------|--------------|
| Електроенергія                              | 10 640        | 12,7         |
| Витратні матеріали (сіль, картриджі, лампа) | 11 500        | 13,8         |
| Водовідведення промивних вод                | 7 875         | 9,4          |
| Амортизація обладнання                      | 24 300        | 29,1         |
| Фонд оплати праці (частина)                 | 29 280        | 35,0         |
| <b>ВСЬОГО OPEX:</b>                         | <b>83 595</b> | <b>100,0</b> |

#### 4.1.3. Розрахунок собівартості води та терміну окупності

Ключовим показником ефективності є виробнича собівартість 1 м<sup>3</sup> підготовленої води. Вона розраховується як відношення річних витрат до річного обсягу очищеної води ( $V_{netto}$  = загальний обсяг мінус витрати на промивку = 2250 - 225 = 2025 м<sup>3</sup>).

$$S_{\text{води}} = \frac{OPEX}{V_{netto}} = \frac{83595}{2025} = 41,28\text{грн/м}^3$$

**Розрахунок економічного ефекту та окупності** Для розрахунку окупності порівнюємо витрати на впровадження власної системи з альтернативним варіантом - закупівлею підготовленої води у сторонніх постачальників (аутсорсинг), що є типовим для старту крафтових виробництв. Середня ринкова ціна промислової підготовленої води - 120 грн/м<sup>3</sup>.

Річна економія коштів ( $\Delta E$ ) складе:

$$\Delta E = (C_{\text{ринк}} - S_{\text{води}}) * V_{netto} = (120 - 41,28) * 2025 = 159408\text{грн/рік.}$$

Термін окупності проекту ( $T_{ок}$ ):

$$T_{ок} = \frac{CAPEX}{\Delta E} = \frac{242995}{159408} = 1,52\text{року}$$



чутливий до осмотичного шоку). Крім того, хлориди практично не видаляються на стандартних очисних спорудах і потрапляють у річки, спричиняючи вторинне засолення водоєм [57].

### **Інженерні рішення щодо утилізації та мінімізації впливу**

Для зменшення екологічного навантаження у проєкті передбачено комплекс заходів:

**1. Розбавлення та усереднення стоку** Оскільки регенерація фільтрів відбувається періодично (раз на кілька днів), концентрація забруднень у момент скиду є піковою. Щоб уникнути «сольового шоку» для міської каналізації, проєктом передбачається встановлення **усереднювальної ємності** (об'ємом 1–2 м<sup>3</sup>).

Промивні води збираються в ємність, де змішуються з умовно чистими стоками від мийки підлоги та тари. Це дозволяє знизити концентрацію солей у 5–10 разів перед скидом у колектор. Скид з ємності здійснюється рівномірно протягом доби за допомогою насоса-дозатора або самопливом через дросель.

**2. Використання промивних вод для технічних потреб** Води від промивки фільтра знезалізнення (перший потік) після відстоювання протягом 2–3 годин стають прозорими (осад гідроксиду заліза осідає на дно). Освітлена вода може бути використана повторно для:

Первинного миття коренеплодів (якщо завод переробляє свіжі яблука).

Миття підлоги у складських приміщеннях.

Поливу зелених насаджень на території підприємства (осад заліза не є токсичним для ґрунту в помірних кількостях). Це дозволяє зекономити до 10–15% свіжої води [58].

**3. Утилізація осаду** Осад гідроксиду заліза, що накопичується в усереднювачі, періодично видаляється (асенізаційною машиною або шламовим насосом). Після зневоднення (наприклад, на мішкових фільтрах) цей шлам, який є фактично інертною речовиною, може бути утилізований на полігоні ТПВ або використаний як добавка при виробництві будівельних матеріалів (цегли, пігментів).

**4. Застосування сучасних алгоритмів регенерації** У проєкті обрано керуючі клапани Slack з функцією «пропорційної регенерації» (регенерація «вгору потоком» або Up-flow). Це дозволяє скоротити витрати солі та води на власні потреби на 20–30% порівняно з класичними схемами, зменшуючи відповідно і обсяг, і концентрацію сольових стоків [59].

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

#### **Висновок до розділу 4.**

Розрахунок економічної ефективності показав, що термін окупності проекту становить 1,5 роки, що свідчить про високу інвестиційну привабливість. Собівартість 1 м<sup>3</sup> води (41,28 грн) є конкурентною.

З екологічної точки зору, впровадження безреагентного методу знезалізнення (BIRM) замість марганцевого, а також схема усереднення стоків, дозволяє мінімізувати негативний вплив на довкілля і забезпечити дотримання норм ГДС при скиданні стоків у міську каналізаційну мережу.

|      |      |          |        |      |                 |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>РОЗДІЛ 4</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                 | 66   |





## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Потоцька Н. Г. Технологія виробництва соків та сокових напоїв : навч. посіб. Київ : ЦУЛ, 2019. 288 с.
2. Задорожна О. І. Джерела та види забруднення водних ресурсів України. *Екологічний вісник*. 2016. № 1. С. 32–37.
3. Дорохов О. В. Вода як стратегічний ресурс у харчовій промисловості. *Харчова наука і техніка*. 2018. № 1. С. 5–11.
4. Krapivnytska I., Ladyka V. Scientific and practical aspects of pectin and pectin products: monograph. Kharkiv : Dissa+, 2022. 228 p.
5. Мельник О. М. Проблеми накипоутворення в системах водопостачання харчових підприємств. *Промислова теплоенергетика*. 2017. № 2. С. 45–50.
6. Коваленко О. В. Вплив якості води на безпечність та якість харчових продуктів. *Проблеми харчування*. 2019. № 3. С. 25–30.
7. Бондарчук А. В. Вторинне забруднення питної води у системах водопостачання. *Водопостачання та водовідведення*. 2019. № 1. С. 26–35.
8. World Health Organization. Water safety in food and beverage production: practical guide. Geneva : WHO, 2019.
9. Задорожна О. І. Джерела та види забруднення водних ресурсів. *Екологічний вісник*. 2016. № 1. С. 32–37.
10. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» від 23.12.1997 № 771/97-ВР (зі змінами).
11. Потоцька Н. Г. Технологія виробництва соків та сокових напоїв : навч. посіб. Київ : ЦУЛ, 2019. 288 с.
12. Шевченко Р. І. Хімічне забруднення питної води: джерела та наслідки. *Гігієна та санітарія*. 2018. № 2. С. 50–55.
13. Митченко Т. Є., Макарова Н. В. Проблеми очищення підземних вод України від сполук заліза та марганцю. *Вода і водоочисні технології*. 2017. № 1(21). С. 28-35.
14. Ozen B. F., Mauer L. J., Floros J. D. Effects of water quality on the quality of reconstituted orange juice. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020. Vol. 28, Issue 3. P. 215-228.
15. Мельник О. М., Шевченко О. В. Вплив іонів важких металів на стабільність фруктових соків. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Т. 27, № 4. С. 112-119.
16. Krapivnytska I. Scientific and practical aspects of pectin products: monograph. Kharkiv : Dissa+, 2022. 228 p.

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

17. Мацелюх К. І., Ковальчук В. П. Вплив нітратного забруднення води на якість консервованої продукції. *Товарознавство та інновації*. 2019. № 3. С. 45-51.
18. Митченко Т. Є., Макарова Н. В. Сучасні технології видалення заліза та марганцю з підземних вод. *Вода і водоочисні технології*. 2018. № 2(22). С. 14–23.
19. Гомеля М. Д., Крисенко Т. В. Проблеми утворення тригалометанів при знезараженні води та шляхи їх вирішення. *Екологічна безпека та природокористування*. 2019. Вип. 3. С. 45–52.
20. Clack Corporation. Birm® Filter Media: Engineering Specifications. Windsor : Clack Corp., 2021. 4 p.
21. Петрова К. Д., Савченко О. А. Ефективність іонообмінного пом'якшення води в технології безалкогольних напоїв. *Харчова наука і технологія*. 2020. Т. 14, № 2. С. 88–95.
22. Oatley-Radcliffe D. L. Nanofiltration: Principles and Applications. Amsterdam : Elsevier, 2018. 450 p.
23. Зайцев О. С. Використання активованого вугілля для покращення органолептичних властивостей води у харчовій промисловості. *Інженерія довкілля*. 2019. № 2. С. 30–35.
24. Квітка О. О., Мацкевич В. В. Кінетика каталітичного окиснення заліза (II) на модифікованих фільтруючих завантаженнях. *Хімія і технологія води*. 2018. Т. 40, № 2. С. 145-154.
25. Clack Corporation. Birm® Filter Media: Technical Data Sheet. Windsor, WI : Clack Corp, 2020. URL: <https://clackcorp.com> (дата звернення: 12.02.2025).
26. Паспорт артезіанської свердловини № 1-206. ПП «Артезбур», с. Бородянка, 2020.
27. ДСТУ ISO 5667-1:2009. Якість води. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо розроблення програм відбирання проб та методики відбирання. Київ : Держстандарт України, 2010.
28. Clack Corporation. Birm® Filter Media: Engineering Specifications. Windsor, WI : Clack Corp., 2021.
29. ГОСТ 4011-72 (ISO 6333:1986). Вода питна. Методи визначення загального заліза.
30. ДСТУ ISO 6059:2008. Якість води. Визначення суми кальцію і магнію. Метод титрування ЕДТА. Київ : Держстандарт України, 2008.
31. ДСТУ 4077-2001. Якість води. Визначення кольоровості. Фотометричний метод.

|      |      |          |        |      |  |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      |  | <i>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |                          | 70   |





## **ДОДАТКИ**

Міністерство освіти і науки України

Національний університет харчових технологій

---

**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**

**91<sup>st</sup> 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 91<sup>th</sup> 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

## **Зміст**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Technology of functional ingredients and new food.....         | 7   |
| 2. Foodstuff expertise .....                                      | 36  |
| 3. Technology of bread, pastry, pasta and food concentrates ..... | 82  |
| 4. Grain processing technology .....                              | 112 |
| 5. Technology of sugars, polysaccharides and water treatment..... | 130 |
| 6. Technology of fermentation and wine.....                       | 149 |
| 7. Technology of preservation .....                               | 179 |
| 8. Technology of meat and meat products.....                      | 198 |
| 9. Technology of milk and dairy products.....                     | 248 |
| 10. Technology of fats and perfumery-cosmetic products .....      | 267 |
| 11. Ecology and sustainable development .....                     | 280 |
| 12. Biotechnologies and bioengineering.....                       | 303 |

## **Content**

|   |     |
|---|-----|
| 1. Технологія функціональних інгредієнтів та нових харчових продуктів.....      | 7   |
| 2. Експертизи харчових продуктів.....   | 36  |
| 3. Технологія хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів..... | 82  |
| 4. Технологія переробки зерна.....  | 112 |
| 5. Технології цукру, полісахаридів і підготовки води.....                       | 130 |
| 6. Технологія продуктів бродіння і виноробства.....                             | 149 |
| 7. Технологія консервування.....  | 179 |
| 8. Технологія м'яса і м'ясних продуктів.....                                    | 198 |
| 9. Технологія молока і молочних продуктів .....                                 | 248 |
| 10. Технологія жирів та парфумерно-косметичних виробів.....                     | 267 |
| 11. Екологія і сталий розвиток .....  | 280 |
| 12. Біотехнології та біоінженерія.....  | 303 |

## 6. Підготовка води для виготовлення відновлювальних соків

Олександр Брагін, Євген Омельчук

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** У сучасних умовах виробництво відновлювальних соків є важливим напрямком харчової промисловості. Одним із ключових етапів цього процесу є підготовка води, яка безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту. В Україні питання оптимізації технологій підготовки води для відновлювальних соків залишаються актуальними, що потребує подальших наукових досліджень та впровадження сучасних методів очищення.

**Матеріали та методи.** У процесі дослідження використано загальнонаукові методи: збір інформації, аналітичне опрацювання даних, теоретичне узагальнення та порівняння результатів.

Для експериментів використовувалися зразки води з різних джерел (водопровідна, артезіанська), а також концентрати соків для відновлення.

Застосовувалися такі методи очищення води: механічна фільтрація, зворотний осмос, ультрафільтрація, озонування та хімічна обробка.

**Результати та обговорення.** Підготовка води є критично важливим етапом у виробництві відновлювальних соків.

Використання сучасних методів очищення, таких як ультрафільтрація та зворотний осмос, дозволяє досягти високої якості води, що відповідає вимогам для виробництва соків.

Основні результати дослідження включають:

- Механічна фільтрація: видалення грубих домішок на 85-90%.
- Зворотний осмос: зниження мінералізації води на 95-98%.
- Ультрафільтрація: видалення мікроорганізмів на 99,9%.
- Озонування: повна дезінфекція води.

Відновлені соки, виготовлені з використанням очищеної води, мали стабільні фізико-хімічні показники (рН 3,5-4,0) та високі органолептичні характеристики (смак, запах, колір). Мікробіологічний аналіз підтвердив безпеку продукції (кількість мікроорганізмів менше 10<sup>2</sup> КУО/мл).

Основні напрями застосування відновлювальних соків:

- Виробництво безалкогольних напоїв.
- Використання у кондитерській, консервній галузях (джеми, желе, мармелади).
- Виготовлення продуктів харчування для дітей.
- Використання у кулінарії для приготування соусів, маринадів та десертів.

**Висновок.** Підготовка води для відновлювальних соків є важливим етапом, який визначає якість та безпеку кінцевого продукту. Використання сучасних методів очищення, таких як ультрафільтрація та озонування, дозволяє забезпечити високу якість води та відповідність міжнародним стандартам. Дослідження підтверджують перспективність оптимізації технологій підготовки води для розвитку виробництва відновлювальних соків в Україні.

### Література:

1. Food Science & Technology. Technologies for Water Purification in Beverage Production. 2022. Vol. 45, Issue 2. P. 45-60.