

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 теплосилового
господарства на ТОВ “Манзана фуд”

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЦВ-2-11М
Бариш Ярослав Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Крапивницька Ірина Олексіївна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент Олена КУШНІР
(ім'я та прізвище)

(підпис)

(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

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Бариша Ярослава Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення технології підготовки води для теплосилового господарства на ТОВ «Манзана фуд»
керівник роботи Крапивницька Ірина Олексіївна, доцент, кандидат технічних наук

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

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

2. Строк подання здобувачем роботи 5 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи технологічна схема відділення підготовки води, продуктивність 1,5 м³ води/год.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Розділ 1. Науково-експериментальне обґрунтування підготовки води для теплосилового господарства харчових виробництв. 1.1 Літературний огляд. Аналіз сучасних способів проведення окремих технологічних процесів та їх апаратурного оформлення, апаратурно-технологічної схеми відділення підготовки води для котельні 1.2. Експериментальні дослідження процесу очищення артезіанської води для її використання в парових котлах. Розділ 2. Проектно-технічне обґрунтування переоснащення та розрахунки в технології водопідготовки із застосуванням сучасних реагентів. 2.1. Загальна характеристика підприємства та опис технологічної схеми виробництва. 2.2. Вхідний контроль сировини і вимоги до якості готової продукції. 2.3. Розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності технологічних процесів у відділенні водопідготовки. 2.4. Технологічні розрахунки. Розділ 3. Менеджмент якості та безпечності харчової продукції за системою НАССР. Розділ 4. Екологічні, економічні та соціальні аспекти дослідження в контексті

забезпечення сталого розвитку України. Загальні висновки і рекомендації.
Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу апаратурно-технологічна схема відділення водопідготовки, план першого поверху, повздовжній розріз

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	Робота над розділом 1. "Науково-експериментальне обґрунтування технології водопідготовки із застосуванням сучасних способів та реагентів"	01.11.25	
2	Робота над розділом 2. "Проектно-технічне обґрунтування переоснащення та розрахунки в технології водопідготовки для теплосилового господарства із застосуванням сучасних реагентів"	15.11.25	
3	Робота над розділом 3. "Менеджмент якості та безпечності харчової продукції за системою НАССР"	20.11.25	
4	Робота над розділом 4. "Екологічні, економічні та соціальні аспекти дослідження в контексті забезпечення сталого розвитку України"	25.11.25	
5	Робота над графічною частиною та загальними висновками	04.12.25	
6	Затвердження кваліфікаційної роботи	05.12.25	

Здобувач _____
(підпис)

Ярослав БАРИШ _____
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ірина КРАПИВНИЦЬКА _____
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена науковому обґрунтуванню та удосконаленню технології підготовки води для теплосилового господарства харчових виробництв.

Проведено визначення показників артезіанської води з свердловини підприємства ТОВ «Манзана фуд» (М.Бородянка, Київська обл.). Згідно з результати виявлено підвищені показники вміста заліза, твердості води та інш.), що створює ризики роботи парових котлів.

Експериментально підтверджено високу ефективність безреагентного каталітичного методу знезалізнення з використанням завантаження ЕСОМІХ. Встановлено, що при дозі завантаження 60 ум. од. досягається зниження концентрації заліза до 0,05 мг/дм³, що повністю задовольняє технологічні вимоги. Розроблено математичні моделі, які описують залежність залишкового вмісту заліза від параметрів процесу, що дозволило оптимізувати технологічний режим фільтрування.

Обґрунтовано та розроблено удосконалену апаратурно-технологічну схему підготовки води, яка включає стадії: груба фільтрація → каталітичне знезалізнення → сорбційне очищення (активоване вугілля) → іонообмінне пом'якшення → тонке очищення. Така схема забезпечує комплексне видалення заліза, зниження жорсткості.

Розроблено систему управління безпечністю води на основі принципів НАССР згідно з вимогами ISO 22000. Ідентифіковано небезпечні фактори хімічної природи. Визначено три критичні контрольні точки (ККТ).

Об'єкт дослідження – технологічні процеси підготовки води (знезалізнення, фільтрування, пом'якшення) для потреб теплосилового господарства виробництва

Предмет дослідження – фізико-хімічні показники якості артезіанської води, закономірності процесу каталітичного окиснення заліза на завантаженні ЕСОМІХ, параметри технологічного режиму водопідготовки.

Ключові слова: водопідготовка, теплосилове господарство, ЕСОМІХ, фільтрування, математичне моделювання, НАССР.

ANNOTATION

The master's thesis is devoted to the scientific substantiation and improvement of water preparation technology for heat and power systems in food production.

Manzana " LLC were determined. food ” (M. Borodyanka , Kyiv region). According to the results, increased iron content , water hardness, etc. were detected , which creates risks for the operation of steam boilers.

The high efficiency of the reagent-free catalytic method of iron removal using ECOMIX loading has been experimentally confirmed . It has been established that at a loading dose of 60 standard units, a reduction in iron concentration to 0.05 mg/ dm³ is achieved , which fully satisfies the technological requirements. Mathematical models have been developed that describe the dependence of the residual iron content on the process parameters, which allowed optimizing the technological filtration mode.

An improved instrumental and technological scheme for water preparation has been substantiated and developed, which includes the following stages: coarse filtration, →catalytic iron removal. → sorption purification (activated carbon) →ion exchange softening →fine purification. This scheme provides comprehensive iron removal and hardness reduction.

A water safety management system has been developed based on the principles of HACCP in accordance with the requirements of ISO 22000. Hazardous chemical factors have been identified. Three critical control points (CCPs) have been determined.

The object of research is technological processes of water preparation (iron removal , filtration, softening) for the needs of thermal power production.

The subject of the study is the physicochemical quality indicators of artesian water, the regularities of the catalytic oxidation process of iron in the ECOMIX loading , and the parameters of the technological mode of water treatment .

Keywords: water treatment , thermal power economy , ECOMIX , filtration, mathematical modeling , HACCP.

ЗМІСТ

Стор.

Вступ	7
Розділ 1. Науково-експериментальне обґрунтування підготовки води для теплосилового господарства харчових виробництв	11
1.1 Літературний огляд. Аналіз сучасних способів проведення окремих технологічних процесів та їх апаратурного оформлення, апаратурно-технологічної схеми відділення підготовки води для котельні.....	11
1.2. Експериментальні дослідження процесу очищення артезіанської води для її використання в парових котлах.....	24
1.2.1. Об'єкти і методи досліджень.....	24
1.2.2. Результати експериментальних досліджень застосування завантажених Есотіх для води та їх обговорення.....	29
1.2.3. Оптимізація процесу знезалізнення води.....	33
Висновки за розділом.....	39
Розділ 2. Проектно-технічне обґрунтування переоснащення та розрахунки в технології водопідготовки із застосуванням сучасних реагентів	40
2.1. Загальна характеристика підприємства та опис технологічної схеми виробництва.....	40
2.2. Вхідний контроль сировини і вимоги до якості готової продукції.....	41
2.3. Розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності технологічних процесів у відділенні водопідготовки.....	49
2.3.1. Вибір і обґрунтування заходів з удосконалення системи очищення живильної води для парового котла.....	49
2.3.2. Опис удосконаленої апаратурно-технологічної схеми водопідготовки.....	56
2.4. Технологічні розрахунки.....	58
2.4.1. Розрахунок і підбір установки знезалізнення та комплексного очищення	58
2.4.2. Розрахунок установки пом'якшення води	60

					Удосконалення технології підготовки води для теплосилового господарства на ТОВ "Манзана фуд"			
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Бариш Я.Ю.				ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Крапивницька І.О.						5	77
						ННІХТ НУХТ ЦВ-2-11М		
Затверд.	Карпович І.В.							

2.4.3. Підбір допоміжного обладнання.....	61
2.4.4. Зведена специфікація основного обладнання.....	61
Розділ 3. Менеджмент якості та безпеки харчової продукції за системою НАССР.....	62
3.1. Загальні підходи до системи управління безпекою харчової продукції на основі принципів НАССР.....	62
3.2. Аналіз небезпечних факторів та запобіжні заходи щодо їх появи у відділенні водопідготовки.....	64
Розділ 4. Екологічні, економічні та соціальні аспекти дослідження в контексті забезпечення сталого розвитку України.....	68
4.1. Економічна ефективність розробки та її соціальне значення.....	68
4.2. Екологічні проблеми у виробництві та шляхи їх вирішення.....	70
Загальні висновки і рекомендації.....	74
Список використаної літератури.....	76
Додатки.....	78

					ЗМІСТ	Арк.
						6
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

ВСТУП

Актуальність теми. Вода є теплоносієм, що застосовується на харчових виробництвах у їхніх системах та установках теплопостачання. Тому системи водопідготовки та очищення води є важливим елементом підприємств, оскільки від якості води, що надходить на живлення котлів, залежить надійність і ефективність їх роботи. Якісна підготовка води, що використовується в харчовій галузі, повинна забезпечувати надійну роботу обладнання та зменшення скидів екологічно небезпечних речовин у біосферу.

Як вихідна сировина для водопідготовки, а також для інших цілей на підприємствах використовується природна, артезіанська вода. Живильна вода, що подається в котли, є сумішшю зворотного конденсату, додаткової води, а також продуктового конденсату.

Отримання водяної пари при високій температурі забезпечується в парових котлах високого тиску, тому розчинені солі, що містяться у воді навіть у незначній кількості (наприклад, загальна жорсткість менше 3 мг/кг), можуть призвести до аварійного стану котельних агрегатів і виходу їх з ладу. Залежно від якості вихідної та вимог до води, що подається у систему, на підприємствах застосовуються різні установки. У загальному вигляді схеми водопідготовки передбачають попереднє очищення від механічних домішок, хімічну обробку води, пом'якшення та знесолення за допомогою іонного обміну для приведення її якості у відповідність до вимог щодо жорсткості, лужності та загального вмісту солей.

На сьогодні виникає необхідність удосконалення існуючих або розробленні нових ресурсозберігаючих технологій підготовки води для теплосилового господарства харчових виробництв.

Інтерес представляє використання сучасних каталітичних фільтруючих матеріалів, хімічних реагентів, які дозволяють інтенсифікувати процеси знезалізнення, запобіганню корозії. Наукове обґрунтування параметрів роботи таких фільтрів, застосування реагентів, оптимізація технологічних режимів та створення комплексної схеми водопідготовки, адаптованої до конкретних умов джерела водопостачання, є актуальним науково-практичним завданням. Вирішення цього завдання дозволить гарантувати стабільну роботу теплосилового господарства та забезпечити економічну ефективність виробництва.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська кваліфікаційна робота виконувалася відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки України у сфері харчових

					ВСТУП	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

технологій та згідно з планом науково-дослідних робіт кафедри технології цукру і підготовки води Національного університету харчових технологій.

Тематика роботи узгоджується з комплексними програмами щодо удосконалення технологій харчових виробництв та забезпечення населення безпечними продуктами харчування.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є наукове обґрунтування та розроблення удосконаленої технології підготовки артезіанської води для теплосилового господарства підприємства шляхом впровадження процесів знезалізнення та зниження мінерального складу.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні завдання:

1. Провести системний аналіз науково-технічної літератури та нормативної бази щодо вимог до якості води для теплосилового господарства. Визначити вплив основних домішок артезіанської води (заліза, марганцю, солей жорсткості, розчинених газів) на роботу теплосилового обладнання.

2. Здійснити моніторинг та комплексний лабораторний аналіз якісних показників води з артезіанської свердловини (ТОВ «Манзана фуд»), що планується як джерело водопостачання.

3. Провести експериментальні досліджень ефективності використання завантаження ЕСОМІХ для видалення сполук заліза з води та засобів по видаленню кисню з метою запобігання корозії обладнання.

4. Здійснити математичне моделювання процесу знезалізнення води. Отримати рівняння регресії, що описують залежність залишкової концентрації заліза від дози фільтруючого завантаження, та визначити оптимальні технологічні параметри процесу.

5. Розробити апаратурно-технологічну схему удосконаленого відділення водопідготовки для котельні, яка базується на результатах експериментальних досліджень.

6. Виконати інженерні розрахунки продуктового балансу виробництва, розрахувати та підібрати основне і допоміжне технологічне обладнання (насоси, фільтри, ємності).

7. Розробити систему управління безпечністю води на основі принципів НАССР (НАССР), ідентифікувати небезпечні фактори, визначити критичні контрольні точки (ККТ) та розробити план коригувальних дій.

8. Здійснити оцінку екологічних аспектів впровадженої технології та розрахувати економічну ефективність проектних рішень.

					ВСТУП	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Об'єкт дослідження – технологічні процеси підготовки води (зnezалізнення, фільтрування, пом'якшення) для потреб теплосилового господарства виробництва.

Предмет дослідження – фізико-хімічні показники якості артезіанської води, закономірності процесу каталітичного окиснення заліза на завантаженні ЕСОМІХ, параметри технологічного режиму водопідготовки.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у роботі використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження. Теоретичні дослідження базувалися на аналізі наукових джерел, патентної інформації та нормативної документації. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах з використанням стандартних та модифікованих методик. Використовувались органолептичні, фотометричні, титриметричні, потенціометричні методи. Математична обробка експериментальних даних, побудова графічних залежностей та розробка математичних моделей здійснювалися з використанням методів математичної статистики та регресійного аналізу за допомогою програмних пакетів MSExcel та MathCAD.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- Отримано математичні моделі, що описують залежність ефективності зниження вмісту заліза від умовного параметра дози каталітичного завантаження ЕСОМІХ. Це дозволяє прогнозувати якість фільтрату при зміні технологічних навантажень.

- Науково обґрунтовано оптимальні параметри процесу безреагентного зnezалізнення на модифікованих завантаженнях, що забезпечують досягнення залишкової концентрації заліза менше 0,04 мг/дм³, що є нижчим за граничні вимоги для теплосилового господарства (0,1 мг/дм³).

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає у розробленні інженерного рішення для модернізації систем підготовки води для теплосилового господарства харчових виробництв. Розроблено та запропоновано удосконалену апаратурно-технологічну схему відділення водопідготовки продуктивністю 1,5 м³/год. Визначено технологічні регламенти експлуатації фільтрів зnezалізнення (швидкість фільтрації, інтенсивність та періодичність промивки), що дозволяє мінімізувати витрати води на власні потреби станції водопідготовки. Розроблений план НАССР для ділянки водопідготовки є практичним документом, що може бути імплементований на діючому підприємстві для забезпечення відповідності вимогам міжнародного стандарту ISO 22000.

					ВСТУП	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		9

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати магістерської роботи доповідалися та обговорювалися на науковій конференції молодих учених, аспірантів і студентів Національного університету харчових технологій (Київ, 2025 р.).

Публікації. За матеріалами магістерської роботи опубліковано тези доповіді у збірнику матеріалів наукової конференції.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Повний обсяг роботи становить 77 сторінок друкованого тексту. Список літератури включає 29 найменувань українських та закордонних джерел.

					ВСТУП	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 1. НАУКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ТЕПЛОСИЛОВОГО ГОСПОДАРСТВА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

1.1. Літературний огляд. Аналіз сучасних способів проведення окремих технологічних процесів та їх апаратурного оформлення, апаратурно-технологічної схеми відділення підготовки води для котельні.

Прояснення води на фільтрах-прояснювачах. Фільтри-прояснювачі використовуються для вилучення грубодисперсних домішок. На станціях підготовки води широко застосовуються однопоточнінапорні механічні фільтри-прояснювачі з фільтрувальним шаром із кварцевого піску чи колотого антрациту або двошарові фільтри з шаром антрациту і кварцевого піску. В основному кварцовий пісок застосовується для підготовки додаткової живильної води для парових котлів низького і середнього тисків при температурі води не вище 60 °С і рН≤9. Для котлів високого тиску Р≥ 10МПа як фільтрувальний матеріал використовується малозольний термостійкий подрібнений антрацит при температурі води до 100°С і рН в межах від 4 до 10 для запобігання забруднення фільтрату кремнієвою кислотою]. Для прояснення некоагульованої води, а також води після відстійників-прояснювачів використовується кварцевий пісок з висотою фільтрувального шару до 1 м з зернами діаметром 0,5-1 мм. При прямотечійній коагуляції застосовуються фільтри-прояснювачі з висотою шару фільтрувального матеріалу в межах 1,2-2 м і з розміром зерен 1-2,5 мм.

Фірма "Аква-Люкс", яка працює в Україні, пропонує обладнання для водопідготовки фірми "Culligan" США. Для прояснення води фірма використовує дво- або тришарові фільтри. Під час обробки води крупні механічні частинки затримуються верхнім шаром фільтрувального матеріалу, який має меншу густину, а дрібні частинки — нижнім шаром з більшою густиною. Завдяки різній густині шарів фільтрувального матеріалу при відмивці фільтра спочатку відмивається верхній шар при меншому потоці води, а потім нижній. Така конструкція фільтра забезпечує високий ступінь фільтрації води при мінімальній її витраті на власні потреби. Робота фільтра повністю автоматизована. Продуктивність фільтрів від 2 до 600 м3год.

Фірма "ГідроТехІнжинірінг" для очистки води від грубодисперсних домішок використовує автоматичні самопромивні системи "TEKLEEN". Для прояснення води у фільтрі "TEKLEEN" використовуються сітки грубої і тонкої очистки із нержавіючої сталі за розміром чарунок 100-50 мк. Втрата

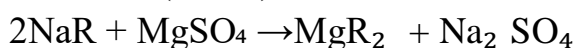
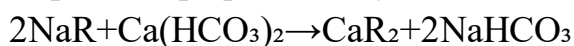
					РОЗДІЛ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

тиску при використанні чистої сітки розміром 100 мкм не перевищує 0,1 бар. Фільтр працює на воді з температурою до 120°C і тиском від 2,5 до 5 бар.

Підчас промивки сіток зворотним потоком води основний потік води не зупиняється. Фільтри компактні, не потребують зовнішнього джерела енергії, працюють за рахунок тиску води, легко монтуються, повністю автоматизовані, випускаються з продуктивністю від 25...4500 м³/год.

Фірма "Culligan" також випускає автоматичні картриджні фільтри з розміром фільтрувальних сіток 100, 200, 300 мкм та продуктивністю 6-60 м³/год.

Натрій-катіонування води. Зм'якшення води шляхом Na-катіонування базується на здатності катіонітів (сульфувугілля, синтетичних смол — КУ-2-8, КБ-4-П2) змінювати в бажаному напрямі іонний склад води. При пропусканні води через шар Na-катіоніту, завантаженого у фільтрі, відбувається заміна накипоутворюючих катіонів Ca²⁺, Mg²⁺ на катіон Na⁺, який утворює добре розчинні у воді з'єднання:



де NaR — катіоніт у Na-й формі; R — високомолекулярна частина (радикал), у порях якої містяться функціональні групи з рухомими катіонами натрію.

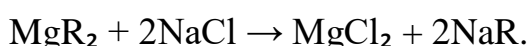
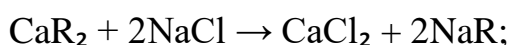
Рушійною силою обмінного процесу є різниця концентрацій катіонів Na⁺ в катіоніті та Ca²⁺ та Mg²⁺ у воді, що проходить через катіоніт. Тобто діє закон дифузії — вирівнювання концентрацій. При катіонуванні відбувається стехіометричне заміщення одного катіона Ca²⁺ або Mg²⁺ на два катіони Na⁺; при цьому солевміст Na-катіонітної води частково підвищується.

Солевміст води після Na-катіонування S_{Na}, мг/кг, визначається за формулою

$$S_{\text{Na}} = S_{\text{вх.в}} + 2,96 \text{ ЖCa} + 10,84 \text{ ЖMg}$$

де S — солевміст вхідної води, мг/кг; ЖCa, ЖMg — кальцієва і магнієва жорсткість вхідної води, мг-екв/кг.

Регенерація Na-катіонітного фільтра (відновлення обмінної ємності), виконується 6-10%-м розчином кухонної солі:



При одноступеневому Na-катіонуванні можна отримати воду з залишковою жорсткістю до 0,1 мг-екв/кг, а для отримання глибоко зм'якшеної води з залишковою жорсткістю до 3-10 мкг-екв/кг застосовують двоступеневе Na-катіонування. Na-катіонування — найбільш проста й

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

поширена схема обробки води в котельнях підприємств харчової промисловості і в котельнях теплових мереж. Схема забезпечує глибоке зм'якшення вод без зниження лужності і вмісту вуглекислоти в парі. Як регенераційний розчин використовується відносно дешева кухонна сіль.

Знезалізнення артезіанських вод. В артезіанських водах залізо міститься у вигляді бікарбонату закисного заліза $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, і при подачі води на Na -катіонітні фільтри іони заліза Fe^{2+} будуть заміщувати іони натрію. Концентрація заліза у воді буде зменшуватись, але цей процес не використовується для знезалізнення води, бо кисень повітря, що потрапляє у фільтри, окиснює Fe^{2+} до Fe^{3+} з утворенням важкорозчинних з'єднань $\text{Fe}^{3+}(\text{OH})_3$, які обгортають зерна катіоніту і зменшують його обмінну ємність. Для знезалізнення артезіанських вод проводиться аерація води — окиснення двовалентного заліза в тривалентне киснем повітря:



При окисненні на 1 мг/л Fe^{2+} витрачається 0,143 мг/л O_2 одночасно на 1,6 мг/л збільшується кількість CO_2 у воді.

При вмісті заліза у воді до 10 мг/л і $\text{pH} > 6,8$ аерація виконується за спрощеною схемою. Повітря подається у трубопровід вхідної води, де і відбувається окиснювання заліза з утворенням нерозчинних сполук $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ці сполуки фільтруються при пропусканні води через напірні фільтри, завантажені сульфовугіллям. Стисле повітря подається із розрахунку: на 1г Fe^{2+} -2л повітря. Для підготовки напірних фільтрів до знезалізнення аерована вода пропускається через фільтри 170-190 год. При цьому на зернах сульфовугілля утворюється плівка гідроокису заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$, яка сприяє процесу фільтрації і окисненню Fe^{2+} до Fe^{3+} . Швидкість фільтрації оброблюваної води становить 5-15м/год. Промивка фільтра починається при досягненні перепаду тиску на фільтрі до 10м водяного стовпчика і відбувається з інтенсивністю $4\text{л}/(\text{с} \times \text{м}^2)$ протягом 20-25 хв. Як напірні фільтри використовуються фільтри другого ступеня Na -катіонування.

При концентрації заліза у воді понад 10мг/л аерацію виконують в апаратах, подібних декарбонізаторам, з подальшою фільтрацією на напірних фільтрах.

Для вилучення заліза з води іноземні компанії використовують фільтри, завантажені різними фільтрувальними матеріалами, одні з яких виступають як каталізатори процесу окиснення, інші, наприклад цеоліти марганцю, переводять сполуки двовалентного розчиненого у воді заліза у тривалентне,

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

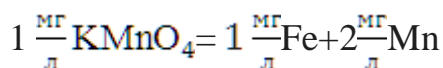
яке осідає на зернах фільтрувального матеріалу і вилучається розпушувальною промивкою.

Компанія "ГідроТехІнжинірінг" використовує для вилучення заліза і марганцю з води марганцевий цеоліт П'юролайт **MZ 10**. Цеоліт отримується в результаті спеціальної обробки глауконіту — природного матеріалу.

Розчинні іони заліза та солі марганцю окиснюються вищими оксидами марганцю на гранулах фільтрувального матеріалу і затримуються у фільтрі.

Безперервний процес роботи фільтра передбачає безперервне дозування розрахункової кількості перманганату калію **KMnO₄** або іншого окиснювача у воду перед фільтром для оновлення окислювальної здатності цеоліту.

Робоча швидкість води при концентрації заліза і марганцю у вхідній воді 0,5 - 5,0 мг-екв/л і становить 5-12 м/год. Робоча температура до 40°C. Якщо використовується тільки **KMnO₄**, то його кількість розраховується за співвідношенням:



При безперервному процесі розпушувальна відмивка займає 20 хв. При відсутності дозування окислювальних реагентів після виснаження ємності фільтрувального матеріалу щодо заліза проводиться регенерація 0,3-м розчином **KMnO₄** з дозою 3 на 1 л цеоліту. Перед регенерацією бажано робити розпушення водою з повітрям. Час проведення операцій розпушування, регенерації, відмивки — близько 1 год.

Міжнародна англійська компанія "Jurbi Water Tech International" представляє в Україні фірма "Aqua Hard", яка пропонує фільтри для очищення води від заліза, завантажені фільтрувальними матеріалами Greensand і Magnofilt.

Greensand являє собою природний матеріал на основі цеоліту. Magnofilt — природний матеріал, використовують, як каталізатор окиснення іонів заліза.

Для розпушувальної промивки фільтра використовується повітряно-водяна суміш, що одночасно насичує завантажений матеріал киснем. Продуктивність фільтрів з фільтрувальним матеріалом Magnofilt 1,5...10 м³/год, а з Greensand 2 - 7 м³/год.

Представником компанії "Culligan" США в Україні виступає фірма "Аква-Люкс", яка пропонує фільтри типу "Super Iron" для очистки води від заліза і марганцю. Фільтрувальне завантаження Cullisorb працює як каталізатор процесу окиснення заліза і не потребує застосування реагентів для регенерації. Регенерація здійснюється стисненим повітрям.

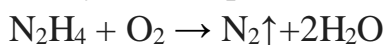
					РОЗДІЛ 1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Фірма "Екософт" поставляє фільтри очистки води від заліза, де фільтрувальний матеріал — сорбент Clack Birm, що прискорює процес окиснення заліза і затримує продукти окиснення. Регенерація проводиться протитоком повітряно-водної суміші. Фільтри пропонуються з продуктивністю 4,5 - 13,5 м³/год.

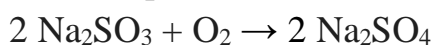
Деаерація води. Деаерація води — це вилучення із води агресивних газів (O₂ і CO₂), що зумовлюють процес корозії металів. Деаерація води може бути хімічною і термічною.

Хімічна деаерація води. В експлуатації енергетичних котлів хімічна деаерація водивикористовується для вилучення залишкового кисню із живильної води після термічної обробки. Для цього у воду додають гідразин-гідрат N₂H₄+O₂ або гідразин-сульфат N₂H₄*H₂SO₄.

Відбувається реакція:



У промислових котельнях для вилучення кисню із води застосовують метод сульфитування води. Сульфит натрію окислюється у воді до сульфату натрію згідно з реакцією:



Сульфит натрію дозують у оброблювану воду у вигляді 2 - 10%-го розчину. Його витрати визначаються за формулою:

$$G = \frac{100(8C + K)}{Pч.р}$$

де С — кількість кисню у воді, г/м³; К — надлишок реагенту, г/м³; Рч.р. — відсоток хімічно чистої речовини у технічному сульфіті натрію, %

Швидкість реакції залежить від температури води і від надлишку реагенту. Так, при температурі води 40°С і стехіометричній дозі сульфиту натрію процес закінчується через 6-7 хв, тоді як при 70-80°С за 1-2 хв. При надлишку реагенту за 70 %повне зв'язування кисню відбувається через 2 хв при будь-якій температурі води. Наявність органічних речовин і підвищення рН води гальмують процес знекиснення води. Бажано рН мати в межах 5-8.

Наявність значних надлишків сульфиту натрію в живильній і, відповідно, в котловій воді при її температурі 275°С може призвести до процесів самоокиснення і самовідновлення, що спричинює забруднення пари кислими газами SO₂, H₂S, які зумовлюють корозію обладнання пароконденсатного тракту.

Недоліки сульфиту натрію пов'язані з недостатньою швидкістю реакції його з киснем у воді, яка залежить від різних показників якості води. Підвищена корозійна агресивність внаслідок проходження побічних реакцій і біохімічних процесів зумовила необхідність модифікації сульфиту натрію

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

введенням у розчин солей важких металів. Найбільше для цього придатні солі кобальту. Солі кобальту каталітично впливають на швидкість хімічних реакцій між сульфідом натрію і розчиненим киснем, що дозволяє дозувати сульфід натрію у воду в значно менших надлишкових кількостях і при більш низькій температурі оброблюваної води. Крім каталізованого сульфід натрію на ринках України з'явилися інші реагенти, які пропонують іноземні фірми. При значних технічних перевагах порівняно з сульфід-реагентами відновлювачі на органічній основі дуже дорогі, що обмежує їх застосування.

При сульфідіуванні води її солевміст збільшується, тому цей метод рекомендується використовувати для підготовки підживлювальної води теплових мереж або для підготовки живильної води для котелень малої продуктивності і для дахових котелень, де термічну деаерацію використовувати недоцільно.

НВО "Нафтохімікологія", що працює на Україні, пропонує використовувати Redox-фільтри для знекиснення води, яка йде на живлення парових або водогрійних котлів, або замість чи в доповнення до термічних деаераторів.

Redox-фільтри завантажуються іонообмінними смолами, редокситом і за конструкцією і роботою принципово не відрізняються від катіонітних фільтрів. Мають значний фільтроцикл і за кількістю витрат і ефективністю вигідно відрізняються від термічної деаерації, особливо у випадку використання вакуумних деаераторів в теплових мережах. Основні показники роботи установки з Redox-фільтрами наведені в таблиці 1.1.

Таблиця. 1.1

Технічні характеристики установок з Redox-фільтрами

№ пор.	Показники	Параметри
1	Продуктивність	0,35 – 45 м ³ /год
2	Швидкість фільтрації	5-25 м/год
3	Залишкова концентрація кисню після установки	Не більше 50 мкг/кг
4	Ступінь очистки від продуктів корозії	Не менше 60 %
5	Температура води перед установкою	40-60 °С
6	Фільтроцикл	Не менше 14 діб

Електронообмінний фільтр Redox-фільтр являє собою циліндричну місткість зі сферичними днищами і двома дренажними розподільними системами з ковпачками. Фільтр завантажується сорбентом — смолою КП-2-8, яка має високу ємність поглинання кисню.

Вузол грубої дегазації води це циліндрична місткість з газовідвідним клапаном у верхній точці, призначена для розділення суміші повітря і води. Якщо установка призначається для вилучення залишкового кисню після термічного деаератора, то необхідність у вузлі грубої очистки відпадає.

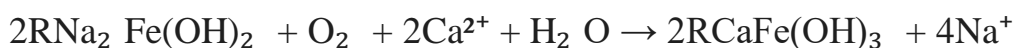
Вузол приготування і подачі регенераційного розчину включає: бак і насос для подачі реагенту для регенерації фільтра.

У водо-водяному теплообміннику оброблювана вода нагрівається до температури 40-60°C теплоносієм (мережна вода). Розчинення газів у воді залежить від температури. Згідно з принципом Ле-Шательє-Брауна з підвищенням температури розчинність газів у воді знижується.

Проходячи теплообмінник, чинність газів у воді знижується. Проходячи теплообмінник, вода нагрівається до $t = 40 - 60^{\circ}\text{C}$, і розчинність кисню знижується, надлишковий кисень вилучається із води при кавітації у вузлі грубої дегазації в процесі десорбції.

Основний кисень вилучається із води в Redox-фільтрі хімічним методом — шляхом зв'язування розчиненого у воді кисню металом, що перебуває у відновленій формі.

У результаті окиснювального процесу, що відбувається у фільтрі, метал (Fe^{2+}) зі змінною валентністю переходить в окисну форму (Fe^{3+}). Процес проходить за таким рівнянням:



Сорбент (редоксит) крім своєї основної функції (вилучення з води кисню) частково зм'якшує воду, заміщуючи катіони Ca^{2+} і Mg^{2+} на Na^{2+} .

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

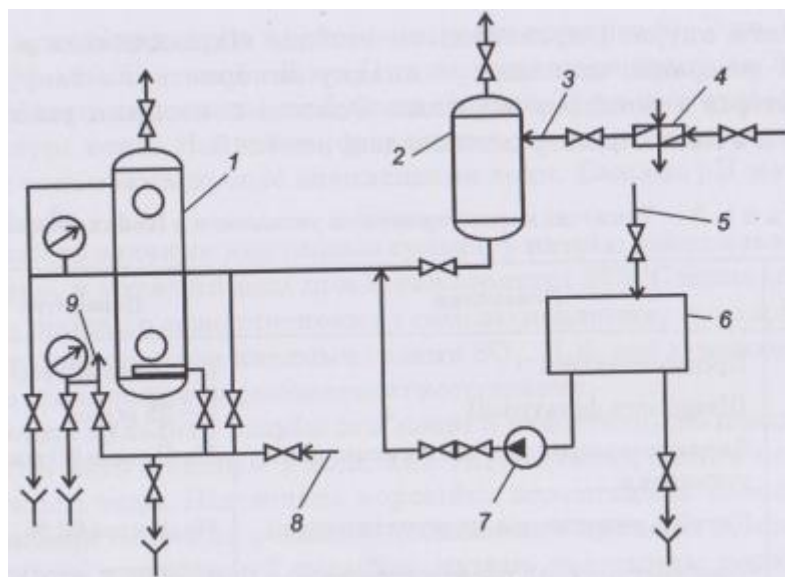


Рисунок 1.1. - Принципова схема Redox-установки для вилучення кисню
 1 — Redox-фільтр; 2 — вузол грубої дегазації води; 3 — подача обробленої води; 4 — теплообмінник паро-водяний або водо-водяний; 5 — подача просіяної води; 6 — бак приготування регенераційного розчину; 7 — насос; 8 — подача води для розпушування редокситу; 9 — вхід живильної води

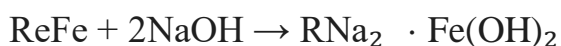
Таблиця 1.2.

Технічні характеристики смоли КУ-2-8

№ пор.	Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	Зовнішній вигляд	—	Сферичні зерна чорного кольору
2	Насипна маса товарного продукту	т/м ³	0,8 - 0,85
3	Іонна форма	—	Fe-формула
4	Гранулометричний склад: розмір зерен вміст робочої фракції ефективний розмір зерен коефіцієнт однорідності	мм % мм —	0,313 - 1,25 Не менше за 94 0,35 - 0,6 1,8
5	Максимальна робоча температура	°C	120
6	Оптимальна робоча температура	°C	40 - 60
7	Ємність за киснем	мг-екв/дм ³	3500
8	Витрата на досипку	% / рік	Менше 10

Редоксит — органічно-мінеральне з'єднання, що виготовляється на базі синтетичної іонообмінної смоли (у формі іоніту) вводиться і закріплюється Fe зі змінною валентністю Ємність редокситу залежить від різних факторів (питомої витрати регенеруючого реагенту, режиму експлуатації, значення рН води і наявності в ній солей жорсткості та іонів металу). Для відновлення поглинальної здатності фільтрувального матеріалу проводиться його регенерація, яка включає три операції: розпушування фільтрувального матеріалу, безпосередньо регенерація та відмивання від продуктів регенерації. У процесі розпушування відбувається тертя зерен між собою і втрачається, частково, активна частина компонента, яка розміщується у вигляді плівки на поверхні зерен.

Перша стадія регенерації включає пропускання через шар редокситу відновлювача — тіосульфату натрію, 5%-ї концентрації ($\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2 \text{O}$) у суміші з 10%-м розчином залізного купоросу ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2 \text{O}$). Розчин залізного купоросу при контакті з повітрям легко піддається окисненню, тому його використовують при регенерації в суміші з відновлювачем — тіосульфатом натрію. У процесі регенерації відбувається насичення редокситу іонами заліза і його відновлення, катіони натрію і заліза заміщують катіони солей жорсткості ($\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$). Після відмивки відбувається друга стадія регенерації — пропускання через редоксит 2-2,5 %-го їдкого натру, для переведення іонів заліза в нерозчинний стан і закріплення їх на матриці іоніту у вигляді гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_2$:



Регенерація відбувається протитоком стехіометричної кількості **NaOH**.

Залишкова гідроксидна лужність регенераційних вод не перевищує 2 мг-екв/л заданими лабораторних дослідів. Загальна кількість стоків від регенерації 1 м³ редокситу становить 23 м³ і кількість сульфат-іонів у суміші регенераційних і відмивних вод у перерахунку на сіль сульфат-натрію — 9,6 г/л.

При продуктивності ХВО більше 45 м³/год НВО "Нафтохім-екологія" пропонує установки з Redox-K (каталітичним) і подачею в живильну воду монорозчину сульфату натрію.

Хімічну деаерацію води можливо проводити з додаванням у воду сульфату натрію каталізованого солями кобальту, який значно дорожче від монорозчину і потребує автоматизації процесу дозування за наявності кисню у воді і надлишків реагенту у живильній воді, що спричинює небезпеку біохімічної корозії водяного тракту.

Недоліки сульфатування води усуваються установкою в схемі Redox-K-фільтра, який виступає каталізатором процесу. При надлишку сульфату

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

натрію у фільтрі відбувається реакція відновлення сульфіту в сульфат натрію, а при недостатці — поглинання кисню за рахунок окиснювального процесу в редокситі, завантаженому в значно меншій кількості в Redox-K, ніж в Redox-фільтрі.

Науково-дослідний і проектний інститут "Водоочисні технології" (м. Сєвєродонецьк) розробив оригінальну біохімічну технологію вилучення кисню з води. Згідно з розробками цього інституту стандартні іонообмінні фільтри завантажуються спеціальною речовиною, що містить сірку, на яку «розселяють» культуру сірко окисних бактерій. Мікроорганізми використовують завантажену речовину як субстрат для живлення, а кисень — як окиснювач для субстрату.

Для повного вилучення кисню контакт води з речовиною триває 6-15 хв. залежно від кількості кисню і температури води. Вода має надходити на фільтр з температурою від 5 до 50 °С. Тож фільтр з об'ємом завантаження 10 м³ здатний знекиснит відповідно до нормативних вимог 40-100 м³ води за годину. Один раз на 1-3 роки потрібно досипати речовину в міру її спрацювання. Інститут рекомендує використовувати «сірчасті» фільтри для підготовки живильної води для парових котлів низького і середнього тиску, а також водогрійних котлів замість деаераторів, що відповідає вимогам до живильної води цих котлів. Але в процесі роботи фільтра утворюються сульфат-іони, які незначно підвищують солеміст води.

Науково-дослідний і проектний інститут «Водоочисні технології» поставляє «сірчасті» фільтри, а також завантаження для них.

Термічна деаерація води. Найбільш ефективний і поширений в енергетиці метод вилучення агресивних газів з води — термічна деаерація.

Метод базується на законі Генрі, згідно з яким концентрація газу, розчиненого у воді, пропорційна його парціальному тиску над поверхнею води:

$$G = k p$$

де G — кількість розчиненого у воді газу, мг/кг; k — коефіцієнт розчинності газу у воді, мг/кг*Па, або мг/кг*ммрт. ст, коефіцієнт залежить від температури води і при її підвищенні зменшується; p — парціальний тиск газу над поверхнею води, Па, або мм рт. ст.

При кипінні води простір над водою буде заповнений водяними парами і теоретично кількість кисню у воді має дорівнювати нулю. Тому основна умова ефективної термічної деаерації — це кипіння води при даному тиску.

Згідно з законом масообміну кількість вилученого газу пропорційна сумарній поверхні розділу між парою і водою:

					РОЗДІЛ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		20

$$G = k_m F \Delta p$$

Де k_m — коефіцієнт масообміну, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}$, або $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм рт. ст.}$;
 F — сумарна поверхня розділу між фазами, м^2 ; Δp — різниця парціальних тисків газу в граничному шарі над водою і в паро-газовому об'ємі деаераційної колонки, Па , або мм рт. ст.

Для збільшення поверхні контакту між парою та водою у колонці деаератора встановлюють тарілки з отворами, які розбивають потік води на краплини, струмочки.

Для ефективної деаерації необхідна добра вентиляція парового простору в баку-акумуляторі та колонці деаератора і час перебування води в баку-акумуляторі має бути не менше 3 хв. За цей час бікарбонат натрію, що надходить в деаератор з хімічно очищеною водою після Na -катіонування, розкладається приблизно на 40 - 50% з утворенням вуглекислого газу відповідно за рівнянням:



Вуглекислий газ із води вилучається завдяки подачі пари в барботажний пристрій.

Деаератори поділяються на вакуумні, атмосферні та підвищеного тиску:

1. Вакуумні деаератори — ДВ, працюють під тиском 0,0075 - 0,05 МПа при температурі води 40-80°C, вміст залишкового кисню становить до 50 мкг/л (табл. 10, 11 дод.).

2. Атмосферні деаератори — ДА, працюють під тиском 0,12 МПа при температурі води 104 °С, вміст залишкового кисню становить 20-30 мкг/л (табл. 12-14 дод.).

3. Деаератори підвищеного тиску — ДП, працюють під надлишковим тиском 0,6 - 0,8 МПа, вміст залишкового кисню — 10 мкг/л .

У котельнях підприємств харчової промисловості в основному застосовуються атмосферні деаератори. Конструктивна схема такого деаератора подана на рис. 1.2.

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

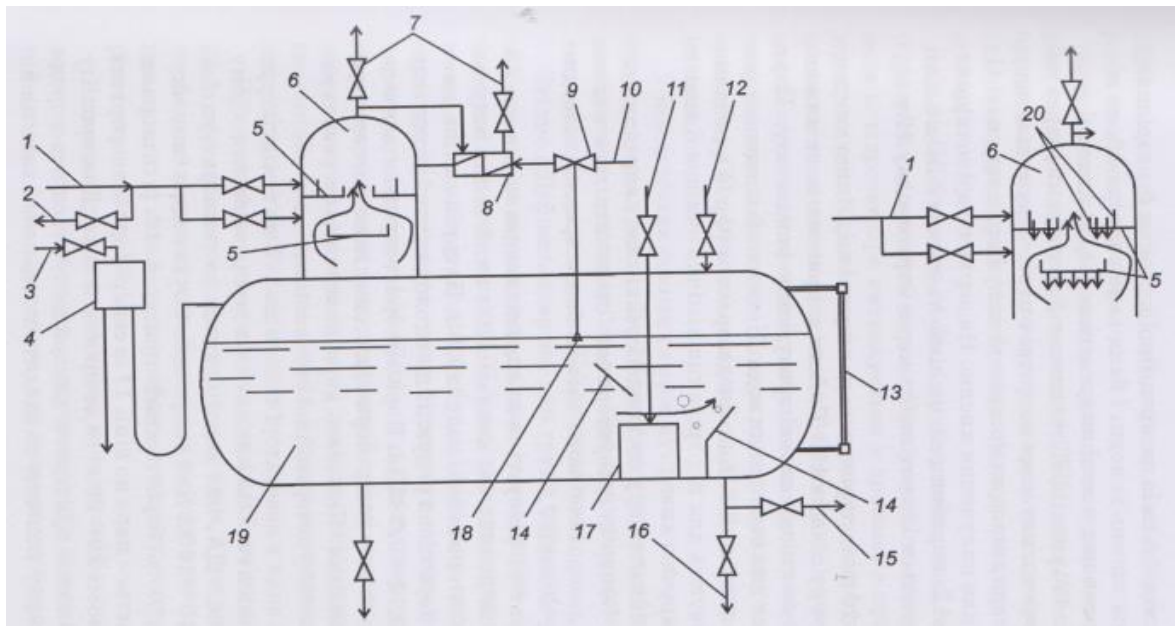


Рисунок 1.2. - Конструктивна схема атмосферного деаератора

1— подача конденсату; 2— повернення забрудненого конденсату на завод; 3— подача обробленої води; 4— гідрозатвор; 5— гідрозатвор з отвором; 6— деаераційна колонка; 7— відвід випару; 8— охолодник випару; 9— клапан регулятора рівня води в деаераторі; 10— подача хімічно очищеної води; 11— пара із сепаратора безперервної продувки; 12— пара із РОУ; 13— водонагрівальна колонка; 14— перегородки; 15— лінія зв'язку з резервним деаератором; 16— вода на живильні насоси; 17— барботажний пристрій; 18— поплавок; 19— бак-акумулятор; 20— вертикальні перегородки.

Деаератор складається із деаераційної колонки з тарілками, де вилучається кисень із води, і бака-акумулятора, де міститься деаерована вода, з якої вилучається CO_2 . В колонці деаератора розміщені тарілки з отворами, через які струмочками тече донизу вода назустріч парі. Струмочки перетинають потік пари, швидко прогріваються, і вода закипає. Це основна вимога для вилучення кисню. На верхню тарілку надходить конденсат із виробництва по лінії і вода із ХВО по лінії, які перемішуються і перетікають через перегородку у відділ з отворами. Перегородка фіксує рівень води на тарілці. Якщо конденсат має температуру більше 105°C , його направляють на нижню тарілку, де відбувається самовипаровування конденсату. Пара використовується для нагрівання води. Неякісний конденсат повертають на завод по лінії. Випар з деаератора (O_2 , CO_2 і водяна пара) використовують для підігрівання хімічно очищеної води в охолоднику випару.

Після охолодника випару несконденсовані гази направляються в атмосферу. Випар із деаератора має становити десь менше 1,5 кг на тонну деаерованої води і може безпосередньо відводитись в атмосферу по лінії.

					РОЗДІЛ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		22

Рівень в деаераторі фіксується за водовказівною колонкою і підтримується за допомогою поплавка, який подає імпульс на клапан регулятора подачі води із ХВО. Патрубком в деаератор подається пара після редуційно-охолоджуючої установки РОУ з тиском 0,12-0,3 МПа. Пара використовується для вентиляції парового об'єму деаератора і для доведення температури води до стану кипіння. Кількість пари визначається розрахунком теплового балансу деаераційної установки. Недогрівання води в деаераторі тільки на 1 °С до температури кипіння різко збільшує кількість кисню в деаерованій воді. Тому вода, що поступає в ДА, має недогріватися до температури кипіння не нижче 10-30 °С. Для вилучення СО₂ з води в баку акумуляторі розмущують барботажний пристрій (з отворами вгору), куди подається пара по лінії із сепаратора безперервної продувки в кількості 20-30 кг/т деаерованої води. Для проходу води над барботажним пристроєм використовується перегородки. В деаераторну колонку надходять конденсат і вода після ХВО, а живильна вода відводиться по лінії із бака-акумулятора на живильні насоси.

У котельні встановлюють переважно один деаератор з байпасом, а якщо в деаератор котельні (ТЕЦ) можливе попадання забрудненого конденсату, то встановлюють два деаератори: один робочий, а другий резервний; вони з'єднуються по воді (лінія) і по парі.

Для захисту деаератора від руйнування на ДА встановлюють гідрозатвор, залитий водою. При утворенні в деаераторі тиску, вода із гідрозатвора витискується в дренаж, а при утворенні вакууму вода із гідрозатвора всмоктується в деаератор. Гідрозатвор сполучається з атмосферним середовищем, і в деаераторі встановлюється атмосферний тиск. Потім вручну по лінії гідрозатвор заливається водою. Деаератор встановлюють на висоті, яка забезпечує відсутність кавітації — кипіння води на живильних насосах.

У конденсатах сокових парів цукрових заводів кількість кисню перебуває в межах 3-10 мкг/кг, тому виробничі конденсати не потребують деаерації води. При конденсатному режимі роботи парових котлів пара на ДА не подається. Згідно з Держстандартом для групи парових котлів, працюючих на високосірчастому паливі, температура живильної води має бути не нижчою за 145°С; тому для цукрових заводів, працюючих на високосірчастих мазутах, доцільно встановлювати деаератори підвищеного тиску і подавати на них конденсат з температурою близько 124 °С після першого корпусу випарки без його охолодження в конденсатній схемі заводу. Установка ДП забезпечить економію пари і, головне, збільшить

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

строк роботи економайзерів парових котлів й дасть можливість відмовитись від підігрівників високого тиску.

Недоліки вакуумних деаераторів:

1. Знижується ефект вилучення вуглекислоти, тому що при вакуумі повільніше розкладається бікарбонат натрію NaHCO_3 , який утворюється після Na-катінування води;

2. Для вилучення кисню при вакуумі випар має бути в 2-3 рази більший порівняно з випаром атмосферного деаератора, що збільшує металоємність деаераторної колонки. Для вилучення випару необхідно витратити електроенергію;

3. Необхідно охолоджувати воду, яка подається в бак після ежектора.

Переваги вакуумних деаераторів: вакуумні деаератори працюють при температурі нижче 100°C , що виключає витрату пари на процес деаерації порівняно з деаераторами атмосферного типу.

Науково-виробничепідприємство "Мегават-М", що працює в Україні, поставляє вакуумно-деаераційні установки типу ВДПУ продуктивністю 0,5-25 т/год.

1.2. Експериментальні дослідження процесу очищення артезіанської води для її використання в парових котлах

1.2.1. Об'єкти і методи досліджень

Характеристика об'єкта досліджень. Об'єктом дослідження обрано технологію підготовки води для теплосилового господарства харчового виробництва. Предметом дослідження - води з артезіанської свердловини підприємства ТОВ «Манзана фуд», с. Бородянка Київської області (Сіноманський водоносний горизонт).

Відбір проб здійснювався відповідно до вимог ДСТУ ISO 5667-1:2009 «Якість води. Відбирання проб» у ємності з поліпропілену (для фізико-хімічного аналізу).

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 1.3.

Показники якості артезіанської води із свердловини ТОВ “Манзана-Фуд”

№п/п	Найменування показників вимірювань	Одиниці вимірювань	Нормативи для колодязів та каптажних джерел	Проба
1	Водневий показник	один. рН	6,5-8,5	7,8
2	Хлориди(Cl)	мг/дм ³	≤ 350	460,9
3	Сульфати(SO ₄)	мг/дм ³	≤500	768,5
4	Сухий залишок	мг/дм ³	≤1500	2110
5	Жорсткість загальна	ммоль/дм ³	≤7,0	9,50
6	Залізо загальне	мг/дм ³	≤0,2	0,61
7	Марганець	мг/дм ³	≤0,5	0,25
8	Окислюваність перманганатна	мгО	≤5,0	3,2
9	Мутність	мг/дм ³	≤ 3,5	0,80
10	Кольоровість	градуси	≤35°С	22°С

Характеристика матеріалів досліджень

Есоmіх (виробник «Ecosoft», Україна)— багатокomпонентна суміш, призначена для комплексного очищення води. Матеріал застосовується в складі балонних фільтрів, проточних систем підготовки питної води і фільтрів-гличиків. Суміш включає в себе запатентовані рішення, розроблені компанією Ecosoft спеціально для очищення води в побутових і промислових системах.

Суміш Есоmіх очищає воду від 5 основних забруднень: заліза, марганцю, солей жорсткості, органічних речовин і амонію. Очищення здійснюється в одну стадію.

Склад суміші. До складу матеріалу Ecomix входить кілька компонентів, кожен з яких спеціально підібраний для очищення води від певних типів забруднень. Суміш Ecomix включає в себе наступні матеріали:

- інертна смола, призначена для зниження рівня окисненого заліза. Завдяки наявності інертної смоли в складі системи комплексного очищення він успішно виконує функцію знезалізнення.

- матеріал FERROSORB, Матеріал виготовляється за спеціальною запатентованою технологією. Призначений для очищення води від заліза і марганцю.

- матеріал HUMISORB, призначений для очищення води від органічних домішок, компонент покращує органолептичні характеристики води.

- йонообмінна смола, знижує рівень жорсткості води до нормального значення.

- кварцевий пісок. Підкладка з кварцевого піску забезпечує рівномірний розподіл потоку води при очищенні.

Для очищення води суміш завантажується всередину балонного фільтра. У балонних системах очищення фільтруючий матеріал може відновлювати свої властивості шляхом регенерації.

Каталізований інгібітор корозії, зв'язування кисню

Призначений для корекційної обробки парових котлів, де як підживлення використовується пом'якшена або частково демінералізована вода.

Використовується для контролю процесів кисневої корозії в котлах низького та середнього тиску. Універсальний інгібітор на основі каталізованого бісульфіту. Є потужним відновником кисню, дія якого проявляється вже за нормальної температури. Наявність каталізатора збільшує швидкість відновної реакції, дозволяючи швидко і повністю видалити розчинений кисень з поживної води.

IN-ECO® 3240 сприяє створення та підтримання рівномірної магнетитної захисної плівки на поверхні металу. Не погіршує якість пара.

Опис лабораторної установки

Для проведення експериментальних досліджень з оптимізації процесу знезалізнення було змонтовано лабораторну установку проточного типу, яка складається з скляної колонки діаметром 30 мм та висотою завантаження 200 мм, заповнену матеріалом Ecomix.

Дослідження проводилися за методикою повного факторного експерименту. Варійованим фактором виступала доза завантаження (умовний параметр р, що характеризує об'єм фільтруючого матеріалу та час

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

контакту води з каталізатором), а функціями відгуку - залишкові концентрації заліза, жорсткість та кольоровість фільтрату.

Визначення загального заліза у воді колориметричним методом.

Метод заснований на взаємодії в сильноокислому середовищі іонів тривалентного заліза з іонами роданіду. Інтенсивність забарвлення пропорційна концентрації заліза. Чутливість методу складає до 0,05 мг/дм³ феруму. Визначення загального заліза проводять попереднім окисненням двовалентного заліза персульфатом амонію до тривалентного. Під час проведення дослідження використовується фотоелектричний колориметр (ФЕК-3) з синім світлофільтром та довжиною хвилі $\lambda = 490\text{--}508$ нм, товщина кювети 5 см.

Хід проведення визначення загального заліза у воді колориметричним методом з роданідом калію.

При загальному вмісті заліза у воді до 3 мг/дм³ визначення заліза виконується без розведення проби дистильованою водою.

В мірну колбу ємністю 50 см³ налити 1 см³ розчину соляної кислоти та кілька кристалів персульфату амонію, довести усе до мітки водою. Перемішавати отриману суміш протягом трьох хвилин, потім ввести 1 см³ 50%-го розчину роданіду калію. Знову перемішати суміш і через 3 хв. провести колориметрування. Визначити оптичну густину на ФЕК при довжині хвилі $\lambda=490$ нм у кюветах з товщиною оптичного шару 5 см по відношенню до дистильованої води, у яку додають ті ж самі реактиви. Концентрацію загального заліза визначають за калібрувальним графіком.

Визначення загальної жорсткості. Використовувався комплексометричний метод (титрування Трилоном Б) згідно з ДСТУ ISO 6059:2008. Метод базується на здатності динатрієвої солі етилендіамінтетраоцтової кислоти (Трилон Б) утворювати з іонами кальцію та магнію міцні розчинні внутрішньокмплесні 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 см³ проби додають 5 см³ 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/дм³) розраховують за формулою:

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

де V_T - об'єм розчину Трилону Б, витрачений на титрування, см³;

					РОЗДІЛ 1	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

N – нормальність розчину Трилону Б (зазвичай 0,05 моль/дм³); V_p - об'єм проби води, см³; K – поправочний коефіцієнт до титру Трилону Б.

Визначення кольоровості. Використовувався фотометричний метод порівняння зі стандартною платиново-кобальтовою шкалою згідно з ДСТУ 4077-2001. Результат виражається у градусах кольоровості платиново-кобальтової шкали.

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.

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

Органічні речовини води окислюються надлишком KMnO_4 . Залишок перманганату визначають зворотним титруванням щавлевою кислотою. Окиснюваність (X, мг O_2 /дм³) 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 MSExcel та MathCAD.

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

					РОЗДІЛ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		28

1.2.2. Результати експериментальних досліджень застосування завантаженні Есоміх для води та їх обговорення

Дослідження фізико-хімічних показників вихідної води

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 таблицю 1.4.

Таблиця 1.4

Результати фізико-хімічного аналізу вихідної артезіанської води із свердловини ТОВ «Манзана фуд»

№ з/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Результат аналізу	Норматив згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10	Метод випробування
1	Запах при 20°C	бали	1	≤ 2	ГОСТ 3351
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
5	Каламутність	мг/дм ³	0,8	≤ 1,5	МВВ 081/37-0695
6	Водневий показник (рН)	од. рН	6,9	6,5–8,5	ДСТУ 4077
7	Залізо загальне	мг/дм ³	0,2 2,0	≤ 0,2	МВВ 081/37-0734
8	Загальна жорсткість	ммоль/дм ³	2,0 4,5	≤ 7,0	ДСТУ ISO 6059
9	Сухий залишок	мг/дм ³	219	≤ 1000	ДСТУ ISO 6058
10	Сульфати	мг/дм ³	17	≤ 250	ДСТУ ISO 9297
11	Хлориди	мг/дм ³	14	≤ 250	ДСТУ ISO 9297
12	Нітрати	мг/дм ³	4,2	≤ 50	Метод 8167

Отримані дані дозволяють сформувати цілісну картину стану джерела та оцінити його придатність для технологічних потреб.

Оцінка якості джерела водопостачання

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 0,61 мг/дм³.

3. Показник жорсткості (2,0 ммоль/дм³) є задовільним, але потребує контролю.

Дослідження кінетики та ефективності очищення води від заліза на завантаженні Есотіх

Ключовим етапом експериментальної частини роботи було дослідження закономірностей процесу знезалізнення води на обраному каталітичному завантаженні. 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.

Процес знезалізнення на завантаженні Есотіх 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 (р). 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 1.5.

					РОЗДІЛ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		30

**Динаміка зміни показників якості води в залежності від дози
фільтруючого завантаження Есоміх**

№ з/п	Доза завантаження (р), ум. од.	Залізо загальне, мг/дм ³	Ефективність знезалізування, %	Кольоровість, град	Кальцій, мг/дм ³	Магній, мг/дм ³
0	0 (Вихідна вода)	0,67	-	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. 1.5) побудовано графічну залежність залишкової концентрації заліза від дози завантаження. Аналіз кривої дозволяє виділити три характерні зони процесу:

- **Зона початкового окиснення (р = 0...50)**

На цій ділянці спостерігається лінійне, але помірне зниження концентрації заліза з 0,20 до 0,10 мг/дм³. 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/дм³) знаходиться на межі технологічної норми для соків, що є ризикованим [39].

- **Зона ефективного каталізу (р = 50...100)**

При збільшенні дози до 80 од. відбувається різке зростання ефективності процесу. Концентрація заліза падає до 0,06 мг/дм³ (ефективність 70%). Це пояснюється тим, що час контакту стає достатнім для завершення реакції окиснення основної маси заліза. Крім того, у шарі завантаження накопичується плівка свіжоутвореного гідроксиду заліза, яка сама по собі має автокаталітичні властивості і додатково сорбує залізо з води. Значення 0,06 мг/дм³ є цілком безпечним для виробництва яблучного соку, оскільки воно майже вдвічі нижче за технологічний поріг (0,1 мг/дм³).

- **Зона насичення (р > 100)**

Подальше збільшення дози завантаження до 120 і 160 од. призводить до зниження концентрації заліза до 0,04-0,03 мг/дм³. Крива асимптотично

					РОЗДІЛ 1		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			31

1.2.3. Оптимізація процесу знезалізнення води

Оптимізація - це процес відбору найкращих елементів з множини доступних альтернатив в технологічній схемі. Послідовність вирішення задачі оптимізації можна уявити у вигляді блок схеми, де спочатку утворюється математична модель об'єкту оптимізації (процесу, апарату чи системи), потім проводиться постановка задачі оптимізації, після якої робиться вибір оптимізаційного методу, створюється алгоритм і програма рішення. Якщо оптимальне рішення не може бути отримане, то робиться коригування одного із попередніх етапів. В таблиці 1.6 представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі якості питної води.

Таблиця 1.6

Показники якості води після внесення наважки Есоміх

№	Маса Есоміх, г	pH	Ж _{заг} , ммоль/дм ³	Е	С(Fe), мг/дм ³
0	0	8,176	0	0,007	0,00
1	1,059	8,457	3	0,045	0,04
2	1,004	8,475	3,5	0,123	0,45
3	1,016	8,144	5	0,12	0,43
4	1,025	7,713	4	0,076	0,20
5	1,037	7,916	3,5	0,047	0,00
6	1,064	7,688	3,5	0,042	0,02

Постановка задачі оптимізації містить в собі умови, які характеризують прийнятні значення змінних, які називаються обмеженнями задачі. Обмеження містять у собі рівняння зв'язку між залежними та незалежними змінними у вигляді рівнянь а також функціональні та параметричні обмеження у вигляді нерівностей. Метою наведених теоретичних розрахунків постановки задачі оптимізації було встановлення оптимального потоку вихідної води в процесі її очищення від заліза.

Знаходження оптимального значення витрат реагенту Есоміх для знезалізнення води

1. Визначення рівняння регресії залежності pH від витрат реагенту Есоміх

$$P1 := (1.004 \ 1.016 \ 1.025 \ 1.037 \ 1.059 \ 1.064)^T \quad N1 := 5$$

$$i := (8.475 \ 8.144 \ 7.713 \ 7.916 \ 8.457 \ 7.688)^T \quad il := 0..N1$$

$$A1 := \begin{pmatrix} 6 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix} \quad C1 := \begin{bmatrix} \sum \dot{i} \\ \sum_{il} (\dot{i}_{il} \cdot P1_{il}) \\ \sum_{il} [\dot{i}_{il} \cdot (P1_{il})^2] \\ \sum_{il} [\dot{i}_{il} \cdot (P1_{il})^3] \end{bmatrix}$$

$$a := A1^{-1} \cdot C1 \quad a = \begin{pmatrix} 41933.222778 \\ -121415.430908 \\ 117183.732178 \\ -37692.525513 \end{pmatrix}$$

$$F1(p) := a_0 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p^3$$

$$\delta l := \sqrt{\frac{\sum_{il=0}^{N1} (\dot{i}_{il} - F1(P1_{il}))^2}{N1}} \quad K = 1K \quad F1(P1) = \begin{pmatrix} 8.5596 \\ 7.8866 \\ 7.8374 \\ 8.0655 \\ 8.1438 \\ 7.9017 \end{pmatrix}$$

$\delta l = 0.22584$

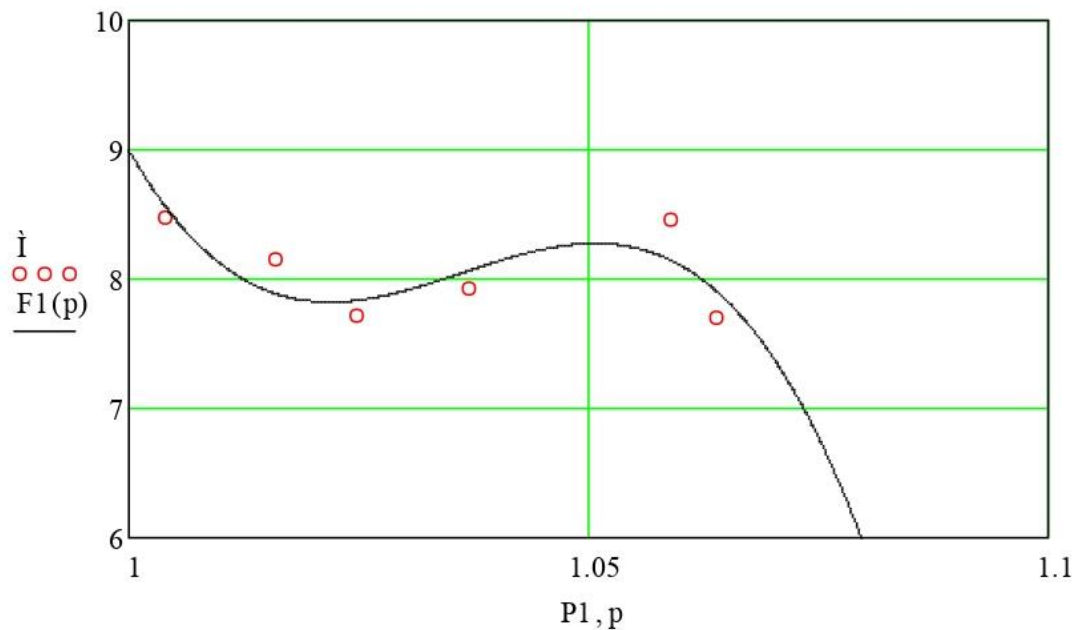


Рисунок 1.3 – Залежність рН від витрат реагенту Есоміх

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

2. Встановлення коефіцієнтів рівняння регресії залежності загальної жорсткості від витрат реагенту Есоміх

$$P2 := (1.004 \ 1.016 \ 1.025 \ 1.037 \ 1.059 \ 1.064)^T$$

$$N2 := 5$$

$$\zeta := (3.5 \ 5 \ 4 \ 3.5 \ 3 \ 3.5)^T$$

$$i2 := 0..N2$$

$$A2 := \begin{pmatrix} 6 & \sum P2 & \sum P2^2 & \sum P2^3 \\ \sum P2 & \sum P2^2 & \sum P2^3 & \sum P2^4 \\ \sum P2^2 & \sum P2^3 & \sum P2^4 & \sum P2^5 \\ \sum P2^3 & \sum P2^4 & \sum P2^5 & \sum P2^6 \end{pmatrix}$$

$$C2 := \begin{pmatrix} \sum \zeta \\ \sum (\zeta_{i2} \cdot P2_{i2}) \\ \sum [\zeta_{i2} \cdot (P2_{i2})^2] \\ \sum [\zeta_{i2} \cdot (P2_{i2})^3] \end{pmatrix}$$

$$a2 := A2^{-1} \cdot C2$$

$$F2(p) := a2_0 + a2_1 \cdot p + a2_2 \cdot p^2 + a2_3 \cdot p^3$$

$$s2 := \sqrt{\frac{\sum_{i2=0}^{N2} (\zeta_{i2} - F2(P2_{i2}))^2}{N2}}$$

$$s2 = 0.242039$$

$$a2 = \begin{pmatrix} -108181.280548 \\ 313955.870361 \\ -303617.548828 \\ 97845.665955 \end{pmatrix}$$

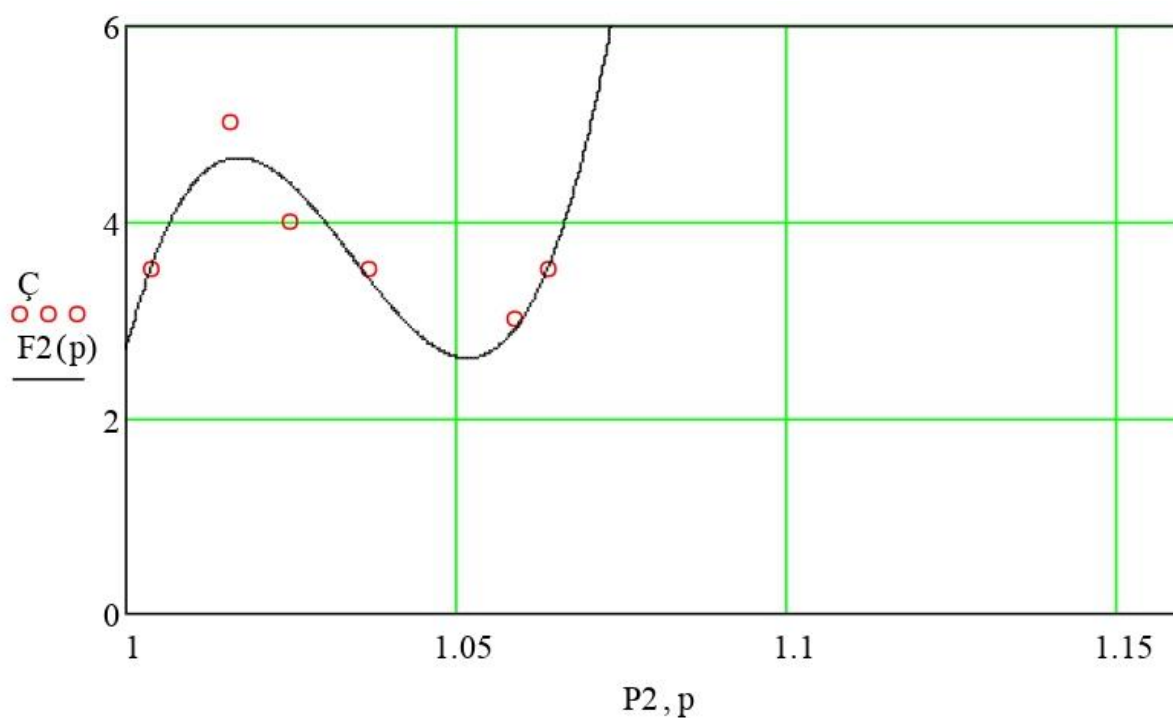


Рисунок 1.4 – Залежність загальної жорсткості від витрат реагенту Есоміх

3. Визначення рівняння регресії залежності вмісту загального заліза від витрат реагенту Ecomix

$N3 := 5$

$$\hat{E} := (0.45 \ 0.43 \ 0.2 \ 0.05 \ 0.04 \ 0.02)^T$$

$$:= \begin{pmatrix} 6 & \sum P3 & \sum P3^2 & \sum P3^3 \\ \sum P3 & \sum P3^2 & \sum P3^3 & \sum P3^4 \\ \sum P3^2 & \sum P3^3 & \sum P3^4 & \sum P3^5 \\ \sum P3^3 & \sum P3^4 & \sum P3^5 & \sum P3^6 \end{pmatrix} \quad C3 := \begin{pmatrix} \sum \hat{E} \\ \sum (\hat{E}_{i3} \cdot P3_{i3}) \\ \sum [\hat{E}_{i3} \cdot (P3_{i3})^2] \\ \sum [\hat{E}_{i3} \cdot (P3_{i3})^3] \end{pmatrix} \quad i3 := 0..N$$

$:= A3^{-1} \cdot C3$

$F3(p) := a3_0 + a3_1 \cdot p + a3_2 \cdot p^2 + a3_3 \cdot p^3$

$$:= \sqrt{\frac{\sum_{i3=0}^{N3} (\hat{E}_{i3} - F3(P3_{i3}))^2}{N3}}$$

$s3 = 0.044767$

$$a3 = \begin{pmatrix} -8697.591064 \\ 25441.396652 \\ -24790.70459 \\ 8047.368341 \end{pmatrix}$$

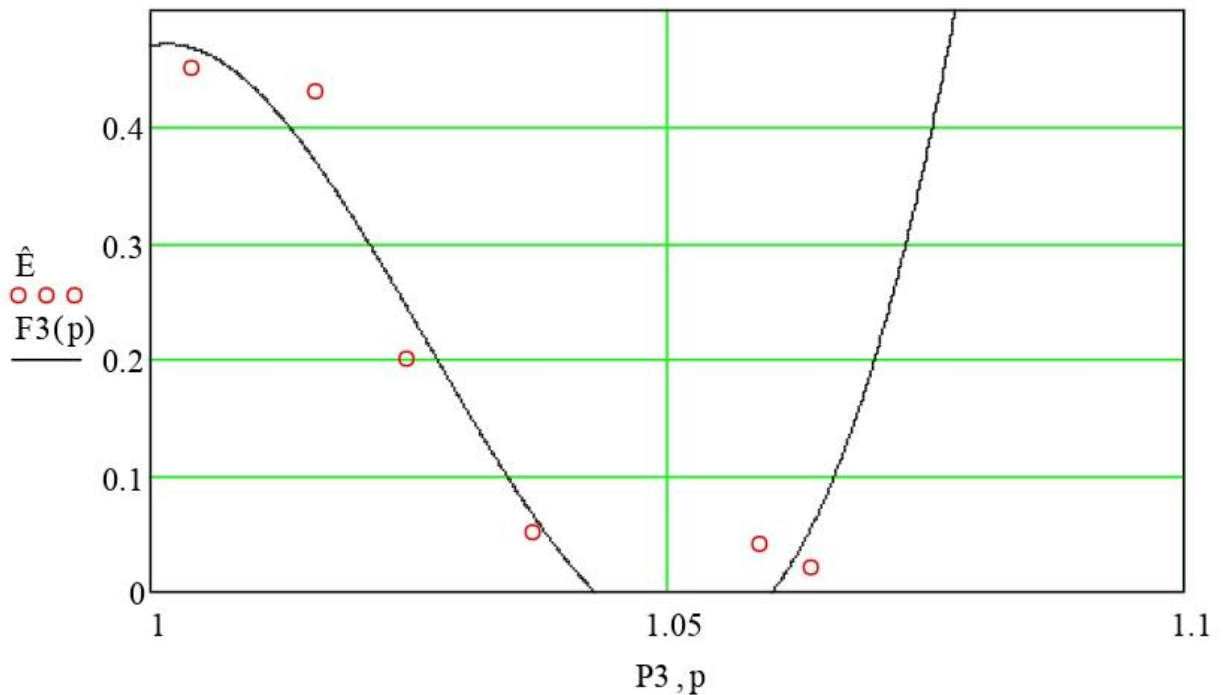


Рисунок 1.5 – Залежність вмісту заліза від витрат реагенту Ecomix

4. Визначення оптимального значення від витрат реагенту Есоміх
Програма переведення натуральних значень локальних критеріїв
оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона

```

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

Інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності

$$IBM := (9 \ 8.7 \ 8.5 \ 8.4 \ 8.2 \ 7.5)^T$$

$$IBK := (0.6 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.05 \ 0.03 \ 0.02)^T$$

$$IBZ := (125 \ 116 \ 100 \ 91 \ 84 \ 72)^T$$

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

$$a1 := 1.0$$

$$b1 := 1.07$$

$$m := 40 \quad j := 0..m$$

$$h := \frac{b1 - a1}{m}$$

$$P_j := a1 + h \cdot j$$

$$Y_{1j} := F1(P_j)$$

$$Y_{2j} := F2(P_j)$$

$$Y_{3j} := F3(P_j)$$

$$ff_{1j} := HAR(IBM, D, Y_{1j}, 0)$$

$$ff_{2j} := HAR(IBZ, D, Y_{2j}, 0)$$

$$ff_{3j} := HAR(IBK, D, Y_{3j}, 0)$$

$$Ff_j := (ff_{1j})^{0.2} \cdot (ff_{2j})^{0.3} \cdot (ff_{3j})^{0.5}$$

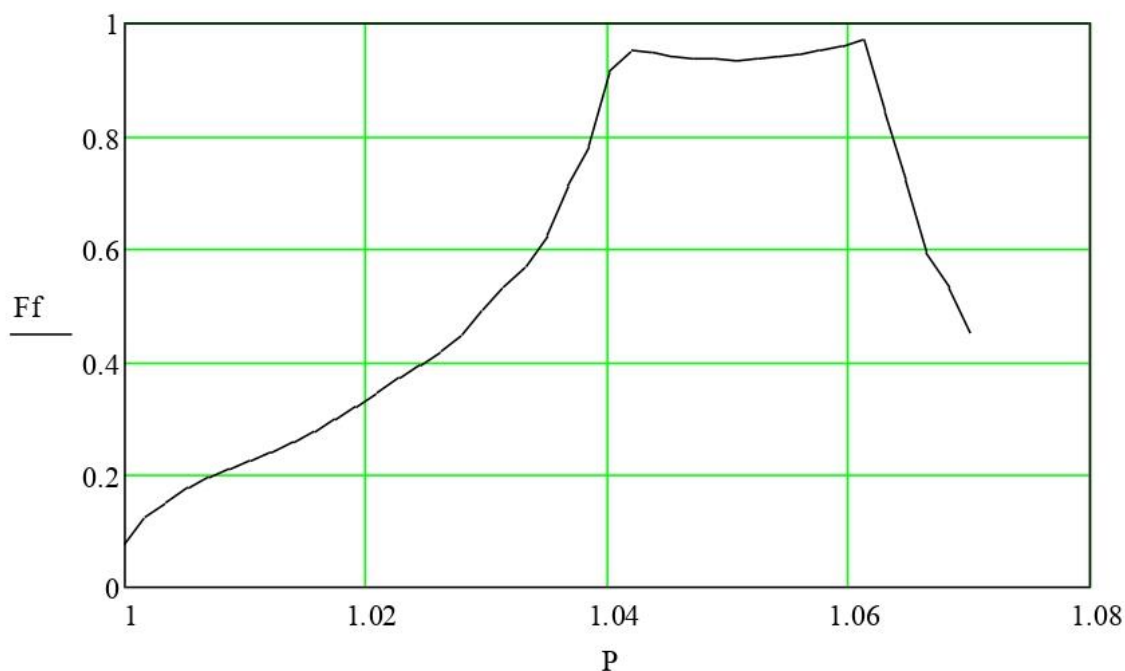


Рисунок 1.6 – Залежність узагальненого критерію оптимальності від витрат реагенту Esomix

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Програма знаходження максимального значення критерію оптимальності з
одновимірного масиву

```

OPT1(F, n, a1, h1) :=
    MA ← F0
    im ← 0
    for il ∈ 0..n - 1
        if Fil > MA
            MA ← Fil
            im ← il
    x1m ← a1 + h1 · (im)
    z0 ← MA
    z1 ← x1m
    z

```

$$OPT1(F_f, m, a1, h) = \begin{pmatrix} 0.96923 \\ 1.06125 \end{pmatrix}$$

Висновки за розділом

Оптимальним значенням витрат реагенту Есотіх для знезалізнення води, який забезпечує максимальне знезалізнення Р=1,061%, при максимальному значенні критерію оптимальності F(x)=0.969.

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТНО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРЕОСНАЩЕННЯ ТА РОЗРАХУНКИ В ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СУЧАСНИХ РЕАГЕНТІВ

2.1. Загальна характеристика підприємства та опис технологічної схеми виробництва

Характеристика проєктованої ділянки живильної води для котельні

Підприємство ТОВ “Манзана-Фуд” на своїй території має власну свердловину глибиною 85 метрів вода з якої подається на виробництво та на котельню для приготування пари, що приймає участь в технологічних процесах виробництва.

З часом якість води в свердловині змінилась в гіршу сторону, тому наявне обладнання підготовки води втратило свою актуальність та потребує модернізації.

Продуктова спеціалізація та режим роботи. Основним продуктом є очищена живильна вода для парової котельні, вимоги до якої наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Норми якості живильної води високонапірних котлів парогазових установок

Показник	Робочий тиск пари, МПа)		
	4(40)	10(100)	14(140)
Загальна жорсткість, ммоль/л	0,005	0,003	0,002
Вміст сполук заліза (в перерахунку на Fe), мг/л	0,051	0,031	0,021
Вміст розчиненого кисню, мг/кг	0,02	0,01	0,01
Значення рН при 25 °С	9,0±0,2	9,0±0,1	9,0±0,1
Умовний солевміст (у перерахунку на NaCl), мкг/кг ²	Не нормується	300	200
Питома електрична провідність при 25 °С, мкСм/см ²	Не нормується	2	1,5
Вміст нафтопродуктів, мг/кг	1	0,3	0,3

Режим роботи ділянки водопідготовки проєктується як безперервний, продуктивністю 1,5 м³/год очищеної води для підживлення парового котла, продуктивність якого 8 т пари на годину, впродовж усього часу роботи котла.

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Режим роботи ТОВ “Манзана-Фуд” однозмінний (8 годин) або двозмінний, залежно від сезону та попиту.

Сировинна база. Показники якості води із свердловини ТОВ “Манзана-Фуд” та порівняння із нормативними показниками, наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Показники якості води із свердловини ТОВ “Манзана-Фуд”

№ п/п	Найменування показників вимірювань	Одиниці вимірювань	Нормативи для джерел	Проба
1	Водневий показник	один. рН	6,5-8,5	7,8
2	Хлориди (Cl)	мг/дм ³	≤ 350	460,9
3	Сульфати(SO ₄)	мг/дм ³	≤500	768,5
4	Сухий залишок	мг/дм ³	≤1500	2110
5	Жорсткість загальна	ммоль/дм ³	≤7,0	9,50
6	Залізо загальне	мг/дм ³	≤0,2	0,61
7	Марганець	мг/дм ³	≤0,5	0,25
8	Окислюваність перманганатна	мгО ₂ / дм ³	≤5,0	3,2
9	Мутність	мг/дм ³	≤ 3,5	0,80
10	Кольоровість	градуси	≤35	22

Обґрунтування розташування та інженерного забезпечення. Проектована ділянка водопідготовки розташовується безпосередньо у виробничій котельні, оскільки частина ділянки вже є в наявності, а додаткове ємнісне колонне обладнання не буде займати багато місця.

2.2. Вхідний контроль артезіанської води і вимоги до якості живильної води і пари

Вимоги до якості котлової води. Вода поглинає більше тепла при певному підвищенні температури, ніж будь-яка інша звичайна неорганічна речовина. Вона розширюється в 1600 разів, коли випаровується, утворюючи пару при атмосферному тиску. Пара здатна переносити велику кількість тепла. Ці унікальні властивості води роблять її ідеальною сировиною для процесів опалення та виробництва електроенергії. Усі природні води містять різну кількість розчинених і зважених речовин і розчинених газів. Кількість розчинених у воді мінералів коливається від 30 г/л у морській воді до будь-якої кількості та від 0,005 до 1500 мг/л у прісній воді. Оскільки домішки води

спричиняють проблеми з котлом, слід уважно стежити за якістю води, яка використовується для виробництва пари – вимоги до якості котлової води.

Склад живильної води котла повинен бути таким, щоб домішки в ній не перевищували допустимі межі для конкретної конструкції котла. Якщо живильна вода не відповідає цим вимогам – вимоги до якості котлової води, її необхідно попередньо обробити для видалення домішок. Однак не завжди потрібно повністю видаляти домішки, оскільки хімічна обробка всередині котла може ефективно та економічно протидіяти їм.

Чистота живильної води залежить як від кількості домішок, так і від природи домішок: деякі домішки, такі як твердість, залізо та силікати, викликають більше занепокоєння, ніж, наприклад, солі натрію. Вимоги до чистоти будь-якої живильної води залежать від того, скільки живильної води використовується, а також від того, що може витримувати конкретна конструкція котла (тиск, швидкість теплопередачі тощо). Тому вимоги до чистоти живильної води вимоги до якості котлової води, можуть сильно відрізнятись. Як правило, жаротрубний котел низького тиску може витримувати високу жорсткість живильної води за належної обробки, тоді як у деяких сучасних котлах високого тиску з води необхідно видалити практично всі домішки.

Можна надати лише відносно широкі діапазони максимальних рівнів лугів, солі, кремнезему, фосфатів тощо щодо робочого тиску. Фактичні максимальні рівні необхідно отримати від виробника котла, який базуватиме їх на характеристиках даного котла

Чистота пари. Вимоги до чистоти або хімічного складу пари можуть бути такими ж простими, як максимальний вміст вологи, або можуть включати максимальні концентрації для різноманітних хімічних речовин. Часто для пари з будівельними або технологічними нагрівачами низького тиску вказується лише максимальний вміст вологи. Це може бути 0,5% або 0,1%. І навпаки, деякі виробники турбін вказують максимальну провідність катіонів парового конденсату, рН і максимальні концентрації для загальної кількості розчинених твердих речовин, натрію та калію, силікатів, заліза та міді.

Загальна кількість розчинених твердих речовин у турбінній парі повинна бути менше 0,050 ppm, а в деяких випадках менше 0,030 ppm. Межі для окремих видів можуть бути навіть нижчими. Якщо пара має бути перегріта, необхідно ввести максимальну межу розчинених у парі твердих речовин, щоб уникнути надмірного осадження та корозії пароперегрівача. Ця межа зазвичай становить 0,100 ppm або менше. Навіть якщо застосування не вимагає вимог до чистоти пари, концентрації розчинених твердих речовин

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

менше 1,0 ppm рекомендуються при тиску до 600 psig (4,1 МПа), менше 0,5 ppm при 600-1000 psig (4,1-6,9 МПа) і менше ніж 0,1 ppm вище 1000 psig (6,9 МПа).

Утворення піни або надмірне розбризування над лінією води в барабані може спричинити надмірне винесення вологи, а отже, надмірну концентрацію домішок пари. Поширеними причинами піноутворення є надмірна кількість твердих речовин або лужності, а також наявність органічних речовин, таких як нафта. Утримання розчинених твердих речовин нижче концентрації, яка спричиняє піноутворення, потребує безперервної або періодичної продувки котла. Висока лужність котлової води збільшує потенціал піноутворення, особливо за наявності зважених речовин.

Якщо хімічна речовина досить летюча, вона також переноситься у вигляді пари в пару. Загальний перенос – це сума механічного та пароподібного переносу. Пароподібний перенос залежить від розчинності в парі та різний для кожного хімічного виду. Для більшості розчинених твердих речовин, які містяться в котловій воді, це незначно в порівнянні з механічним винесенням при тиску менше 2000 psig (13,8 МПа). Винятком є діоксид кремнію, для якого пароподібне винесення може бути значним при нижчому тиску. Винос пари залежить від тиску та хімічного складу котлової води. На це не впливає конструкція котла. Отже, якщо пароподібний перенос для певного виду є надмірним, його можна зменшити, лише змінивши хімічний склад котлової води. Конструкція котла впливає лише на механічне перенесення. Не взаємодіючі гази, такі як азот, аргон і кисень, майже повністю переносяться з парою, не маючи ніякого відношення до переносу вологи.

Надмірна концентрація домішок пари також може бути спричинена хімічним складом живильної та котлової води, який сприяє утворенню летючих речовин. Перенесення легкого силікату може бути проблематичним при тиску вище 1000 psig (6,9 МПа). Перенесення пароподібного силікату при рН 10,0 становить 88% від такого при рН 8,8. Перенесення пароподібного силікату при рН 11,0 становить 74% від такого при рН 8,8. Єдиним ефективним методом запобігання надмірному виносу силікату чи інших парів є зменшення концентрації котлової води. Іншим поширеним джерелом надлишкових домішок у парі є недостатня чистота охолоджуваної води. Усі забруднення, що містяться у розпилюваній воді, потрапляють безпосередньо в пару.

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 2.3.

Вимоги до якості води водогрійних котлів із температурою нагріву води не вище 115 °С

Показники	Температура води, °С		
	до 75	до 100	до 115
Карбонатна жорсткість, не більше, ммоль/л	1,5	0,7	0,7
Розчинений кисень, мг/л, не більше	0,1	0,1	0,05
Вільна вуглекислота	відсутня	відсутня	відсутня
pH	6,5 8,5	6,5 8,5	6,5 8,5
Завислі речовини, мг/л	5,0	5,0	5,0
Залишкова загальна жорсткість (допускається в закритих системах теплопостачання), мг-екв/л	–	0,1	0,05
Мастила і нафтопродукти, мг/л	–	0,1	–

Таблиця 2.4.

Норми якості підживлювальної води в мережі водогрійних котлів із температурою води вище 115 °С

Показник	Система теплопостачання					
	відкрита			закрита		
	Температура води в мережі, °С					
	115	150	200	115	150	200
Прозорість за шрифтом, см, не менше	40	40	40	30	30	30
Карбонатна твердість, ммоль/л при рН не більше 8,5	0,81 0,7	0,751 0,6	0,3751 0,3	0,81 0,7	0,751 0,6	0,3751 0,3
Вміст розчиненого кисню, мг/л	0,05	0,03	0,02	0,05	0,03	0,02
Вміст з'єднань заліза (в перерахунку на Fe), мг/л	0,3	0,31 0,25	0,251 0,2	0,61 0,5	0,51 0,4	0,3751 0,3
Величина рН при 25 °С	Від 7,0 до 8,5	Від 7,0 до 11,0	Від 7,0 до 11,0	Від 7,0 до 11,0	Від 7,0 до 11,0	Від 7,0 до 11,0
Вміст нафтопродуктів, мг/л	1,0	0	0	0	0	0

Таблиця 2.5.

Вимоги до якості води парових котлів із тиском пари не більше 0,07 МПа

Показники	Норми якості води
Загальна жорсткість, ммоль/л, не більше	0,2
Розчинений кисень, мг/л, не більше	0,1
Вільна вуглекислота, мг/л, не більше	10
рН, не менше	7
Завислі речовини	відсутні

Таблиця 2.6.

Норми якості живильної води високонапірних котлів парогазових установок

Показник	Робочий тиск пари, МПа (кгс/см ²)		
	4 (40)	10 (100)	14 (140)
Загальна жорсткість, ммоль/л	0,005	0,003	0,002
Вміст з'єднань заліза (в перерахунку на Fe), мг/л	0,051	0,031	0,021
Вміст розчиненого кисню, мг/кг	0,02	0,01	0,01
Значення рН при 25 °С	9,0±0,2	9,0±0,1	9,0±0,1

Вимоги до якості води парових котлів значно жорсткіші, ніж до водогрійних. Це пов'язано з технологічним процесом випаровування води, у наслідок чого відбувається підвищення концентрації домішок у воді. Цю проблему вирішують за рахунок постійних і періодичних продувок котла – заміни води з високою концентрацією домішок на хімводоочищену. Зрозуміло, що чим менше домішок у воді, тим менше потрібно проводити продувок.

Виробники котлів визначають власні вимоги до якості котлової води в залежності від використаної технології та матеріалів, що можуть значно відрізнятися. У побутових умовах, коли використовують замкнуту систему опалення, холодного та гарячого водозабезпечення, якість води має також відповідати вимогам до питної води згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»

Контроль якості води

Таблиця 2.7.

Методи і засоби контролю процесу водопідготовки]

Об'єкт контролю	Місце контролю	Періодичність контролю	Параметр для контролю	Граничне значення параметра	Методи і засоби контролю
1 Знезалізення води					
Вода	На виході з фільтру	1 раз на тиждень		Не більше 0,1 мг/дм ³	ДСанПіН 2.2.4-171-10
Кварцовий пісок	фільтр	1 раз на 3 місяці	стиранність	Не більше 2,5%	
	-	-	Подрібнення	Не більше 4,0%	-
2 Освітлення води					
Сода	Після резервуара для відстоювання або коагулювання	У кожній партії	Мутність (по стандартній шкалі)	Не більше 1,0 мг/дм ³	ДСанПіН 2.2.4-171-10
Коагулянти	-	-	Маса дозованих реагентів	-	Вимір маси зважуванням
3 Знезараження води					
Вода	Після установки для знезараження	1 раз на тиждень	Мікробіологічні показники: число мікроорганізмів у 1 см ³ води	25	ДСанПіН 2.2.4-171-10
3.1 Хлорування води					
Вода	Контактний резервуар 1	1 раз на тиждень	Кількість активного хлору	Від 6,0 до 10,0 мг/дм ³	ДСанПіН 2.2.4-171-10
3.2 Дехлорування води					
Вода	Після вугільного фільтра	1 раз у 2 роки	Кількість залишкового активного хлору		-
Хлор-агент	-	Кожна партія	Кількість залишкового хлору	-	
3.3 Сріблення води					
Вода	Установка для сріблення води	1 раз у зміну	Кількість іонів срібла	0,03 - 0,05 мг/дм ³	ДСанПіН 2.2.4-171-10
4 Фільтрування воли					
Вода	Після фільтра	1 раз у зміну	Органолептичні показники		
			Запах при 20°C	0 балів	ДСТУ 4138
			При нагріванні до 60 °C	0 балів	ДСТУ 4138
			Смак і присмак при 20 °C	0 балів	ДСТУ 4138
			Кольоровість	Не більше 10°	ДСТУ 4138

РОЗДІЛ 2

Арк.

Змн. Арк. № докум. Підпис Дат

46

			Мутність	Не більше 1,0 мг/дм ³	ДСТУ 4138
5 Пом'якшення води					
5.1 Реагентний спосіб					
Вода	Після установки пом'якшення води: а) періодичний спосіб	У кожній партії	Лужність	Не більше 1,0 мг-екв/дм ³	Інструкція з технохімі чного контролю
		У кожній партії	Твердість	Не більше 0,7 мг*екв/дм ³	-
	б) безперерв ний спосіб	Через 1 год після пуску і щогодини під час роботи установки	Лужність	Не більше 1,0	-
		-	Твердість	Не більше 0,7 мг*екв/дм ³	
Кальцію гіпохлорит	-	Кожна партія	Масова частка активних MgOCaO		
5.2 Електродіалізний, мембранний і іонообмінний способи					
Вода	Після установки	1 раз у зміну	Жорсткість	Не більше 0,7 мг*екв/дм ³	ДСТ 4151-72
Вода	-	-	Лужність	Не більше 1,0 мг*екв/дм ³	Інструкція з технохімі чного контролю
	-	-	pH	Не більше 6,0	-
	-	1 раз на місяць	Залізо	Не більше 1,0 мг*екв/дм ³	ДСТ 4033-72
	-	-	Сухий залишок	Не більше 500 мг*екв/дм ³	ДСТ 18164- 72
	-	-	Нітрати	Не більше 10 мг*екв/дм ³	ДСТ 18826- 72
	-	-	Нітрити	0	
	-	-	Хлориди	Не більше 150 мг*екв/дм ³	ДСТ 4245-72
	-	-	Сульфати	Не більше 0,1 мг*екв/дм ³	ДСТ 4389-72
	-	-	Алюміній	Не більше 0,1 мг*екв/дм ³	ДСТ 18293- 72
	-	-	Марганець	Не більше 0,1 мг*екв/дм ³	ДСТ 4974-72
	-	-	Мідь	Не більше 0,1 мг*екв/дм ³	ДСТ 4388-72
	-	-	Свинець	Не більше 0,1 мг*екв/дм ³	ДСТ 18293- 72

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

	-	-	Цинк	Не більше 1,0 мг*екв/дм ³	ДСТ 18293-72
	-	-	Фтор	Не більше 1,0 мг*екв/дм ³	ДСТ 4386-89
	-	-	Миш'як	Не більше 1,0 мг*екв/дм ³	ДСТ 4152-89
6 Комплексні способи водопідготовки					
6.1 Реагентний спосіб					
Вода	Після піщаного фільтра	Через 1 год після пуску і щогодини під час роботи установки	Значення т	Не більше 5 см ³	Додаток
	-	-	Значення 2р-т	0,2-0,7 см ³	-
	-	-	Кількість активного хлору	0,6-10,0 мг/дм ³	ДСТ 18190-72
	Після вугільного фільтра	Кожні 2 години під час роботи установки	Кількість залишкового активного хлору	Не більше 0,2-0,3 мг/дм ³	-
Вода	Після іонообмінника	Через 1 год після пуску і щогодини під час роботи установки	Значення т	Не більше 3,5 см ³	Додаток
	Після реакційного резервуара	-	Значення 2р-т	0,2-0,7 см ³	-
	-	-	Кількість активного хлору	6,0-10,0 мг/дм ³	ДСТ 18190-72
6.2 Іонообмінний спосіб					
	Після вугільного фільтра		Кількість залишкового активного хлору	Не більше 0,2-0,3 мг/дм ³	-

Висновок. Водопідготовка і водоочищення є важливим фактором для надійної та продуктивної роботи різного виду котлів. Вибір раціонального водно-хімічного режиму залежить від технологічної характеристики котлів від фізико-хімічних показників вихідної води. Технологія водопідготовки і водоочищення складна, багатоетапна та потребує великої кількості різноманітного обладнання. Існують різні методи і технології вирішення питань, пов'язаних з водопідготовкою для котельного обладнання. Вибір їх залежить не тільки від технічних питань (виду і призначення устаткування, його потужності, якості вихідної води, вимог до живильній воді, тощо), але і від фінансової складової. Чим більш автоматизовані процеси водоочищення,

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

тим дорожче обладнання. До подорожчання також призводить застосування сучасних більш досконалих матеріалів і технологій. Однак, не підлягає сумніву і той факт, що втрати, викликані повним або частковим виходом з ладу котельного обладнання, зниженням його продуктивності, підвищенням енерговитрат, погіршенням якості кінцевого продукту, викликані відсутністю або низькою якістю водопідготовки, незрівнянно більше, ніж витрати на її проведення, в особливості, якщо враховувати техногенні ризики.

2.3. Розроблення рекомендацій щодо підвищення ефективності технологічних процесів у відділенні водопідготовки

2.3.1. Вибір і обґрунтування заходів з удосконалення системи очищення живильної води для парового котла

Згідно показників вимірювань аналізу води (табл. 2.2.) та опираючись на вимоги до живильної води для котельні (табл. 2.1.) видно необхідність видалити з води: іони заліза, марганцю, сульфати, значно знизити загальну жорсткість та позбутись мутності, як ознаки забруднення колоїдними частками, а також та інших забруднень, що будуть впливати на роботу котлового та технологічного обладнання, які використовують пар. Також важливим є видалення розчиненого кисню, як домішки, що може зумовлювати корозію парового і технологічного обладнання.

На основі аналізу літературних даних та результатів експериментальних досліджень (Розділ 1.2), розроблено удосконалену технологічну схему водопідготовки, яка включає наступну послідовність стадій: **Механічна фільтрація першої ступені → Механічна фільтрація другої ступені → Знезалізнення та комплексне очищення → Пом'якшення → Додавання антискалтанту → Зворотній осмос → Корегування та підтримування рівня рН → Хімічна деаерація.**

Механічна фільтрація першої ступені. В першу чергу з води видаляються механічні домішки, що мають великі розміри, а саме мул, пісок та іржу і призначена для захисту від них обладнання та запірної арматури на наступних стадіях. Для цього використовують дискові, сітчасті та мішечні (картриджні) фільтри.

Дискові фільтри (рис. 2.1.) характеризуються високою ефективністю фільтрування суспензій та органічних домішок (диски утворюють лабіринт, який захоплює як великі, так і дрібні частки). До переваг даного типу фільтрів варто віднести найоптимальніше співвідношення фільтруючої площі до розміру самого фільтра, оскільки велика кількість дисків, розміщених на невеликій відстані один від одного, дають велику фільтрувальну площу. В дискових фільтрах є можливість автоматичної самоочистки, що знижує

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

експлуатаційні витрати і потребу в частій заміні фільтруючих елементів. Також дискові фільтри є стійкими до підвищеного тиску води і пульсуючих коливань тиску, що дозволяє зберігати їх експлуатаційну стійкість навіть під час нестабільної роботи насосу. Серед недоліків дискових фільтрів варто відмітити вищу вартість, порівняно з сітчатими та мішечними фільтрами.

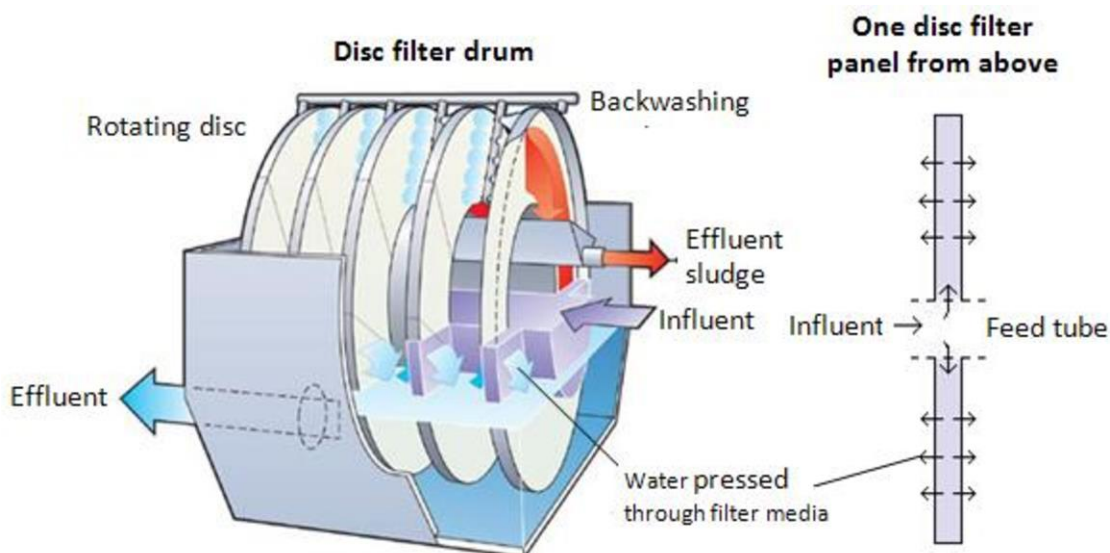


Рисунок 2.1. - Схематичне зображення конструкції і принципу дії дискового фільтра

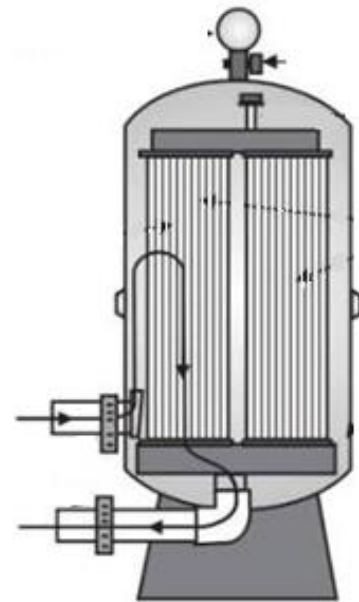
Сітчаті фільтри (рис. 2.2. А) мають просту конструкцію та невисоку ціну, вони легко відновлюються і промиваються, оскільки мають як фільтрувальні елементи металеві сітки. Серед недоліків варто відмітити меншу фільтруючу площу на одиницю об'єму, тому сітчаті фільтри швидше засмічуються і потребують процесу очищення частіше.

Мішечний (картриджний) фільтр (рис. 2.2. Б) мають широкий спектр різноманітних недорогих витратних матеріалів (мішків) з різних матеріалів та різним рівнем пористості, але дані фільтри важко піддаються автоматизації самоочищення і тому періодична заміна мішків при великих об'ємах очищення води значно підвищує операційні витрати на їх експлуатацію.

Отже для механічної фільтрації першої ступені обираємо дисковий фільтр, оскільки вони поєднують високу продуктивність фільтрації з якісною самоочисткою, рідше потребують промивання та очищення на відміну від інших типів фільтрів, мають високу міцність і довготривалу експлуатацію, що в свою чергу забезпечує експлуатаційну економію у довготривалих циклах.



А



Б

Рисунок 2.2. – Схематичне зображення конструкції і принципу дії сітчатого (А) та мішечного (Б) фільтрів

Механічна фільтрація другої ступені.

В фільтрі використовується високоякісний сорбційний матеріал Filter-Ag® (Clack Corporation, США). Фільтр також застосовується як перша стадія очищення води перед фільтрами пом'якшення, комплексного очищення, видалення хлору й сірководню для забезпечення нормальної та ефективної їхньої роботи.

Переваги фільтру:

- ✓ Відсутність осадів мулу та піску на поверхні обладнання
- ✓ Повна автоматизація роботи фільтра
- ✓ Надійна та ефективна робота протягом не менше 5 років
- ✓ Низьке скидання стоків
- ✓ Гарантія якості (підтвердження міжнародними сертифікатами CE і ISO).

Система складається з корозійностійкого корпусу, заповненого високоякісним сорбційним матеріалом Filter-Ag®, та керуючого клапана. В верхній частині балону закріплений клапан із елементами дренажно-розподільчої системи.

Принцип роботи: Вода подається в корпус фільтра, проходить через шар фільтруючого матеріалу, ефективно затримуючого механічні домішки. Очищена вода через центральную трубу корпуса подається споживачеві. Система підключається до трубопроводу холодної води, каналізації та електромережі.

					РОЗДІЛ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		51

Регенерація. Після вичерпання ресурсу фільтруючого матеріалу, фільтр самостійно перемикається на режим регенерації. Через шар матеріалу пропускається зворотний потік води з великою швидкістю, вимиваючи всі домішки з поверхні вугілля, і скидається в каналізацію. Після цього фільтр знову використовується для очищення води.

Знезалізнення.

Фільтр призначений для підготовки води для комерційного застосування. Він комплексно очищує воду від таких домішок, як залізо, органічні речовини, амоній та манган. Фільтр комплексного очищення дозволяє суттєво знизити затрати на придбання та обслуговування системи водопідготовки. Один фільтр замінює декілька спеціалізованих установок. Система працює в автоматичному режимі, а її обслуговування зводиться лише до своєчасного додавання таблетованої солі.

Особливості конструкції та роботи фільтра. Система складається з двох основних модулів — балона з фільтруючим матеріалом та бака-солерозчинника. Балон (колона) виготовляється із корозійностійкого полімерного композиційного матеріалу. В середині знаходиться фільтруюча суміш ЕСОМІХ А, яка складається з декількох компонентів. В результаті здійснюється комплексне очищення води в один етап. Очищена вода відрізняється покращеними органолептичними характеристиками та може використовуватись для будь-яких побутових чи технологічних потреб.

Таблиця 2.8.

Характеристика системи знезалізнення

Параметр	Значення
Максимальна робоча температура	40 °С
Швидкість фільтрації	20–25 м/год
Швидкість зворотної промивки	10–15 м/год
Швидкість промивки розчином солі	3–5 м/час
Мінімальна висота шару	500 мм
Оптимальна висота шару	800 мм
Вільний об'єм	понад 40%
Витрата солі	100 г/л матеріалу
Концентрація розчину солі	8–10%
Витрата води на промивку	менше 10 л/л матеріалу
Робоча обмінна ємність за солями твердості	0,7 г-екв/л

Filtratorb 300 — це високоефективне активоване гранульоване вугілля для очищення води від механічних мікродомішок, хлору та хлорорганічних

					РОЗДІЛ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		52

сполук, гумінових речовин, а також корекції її смаку та запаху. Рекомендується для використання в домашній, комерційній та промисловій водопідготовці.

Filtrisorb 300 відповідає стандарту EN12915, має Сертифікат KIWA АТА та схвалений Інспекцією Великобританії з питної води.

Основні переваги:

- стабільно висока якість, зумовлена технологією виготовлення з попередньо подрібненої вугільної суміші
- висока адсорбційна ємність за рахунок однорідного активування гранул - - - механічна міцність дозволяє проводити ефективну регенерацію
- стабільна ефективність після багаторазових промивок, що продовжує термін служби вугільного шару.

Таблиця 2.9.

Основні властивості сорбційного фільтруючого матеріалу Filtrisorb 300

Параметр	Значення
Йодне число, мг/г (мін.)	950
Адсорбція за метиленовим синім, мг/г (мін.)	230
Площа поверхні, м ² /г	950
Щільність шару після зворотної промивки та усадки, кг/м ³	460
Фракція флотуючих частинок, % (об/об)	0,1
Міцність на стирання, % (мін.)	75
Вміст вологи при пакуванні, % (макс.)	2
Ефективний розмір зерен, мм	0,8–1,0
Середній діаметр частинки, мм	1,6
Коефіцієнт однорідності	1,9

Регенерація. Термін експлуатації фільтруючого матеріалу складає 7-10 років. Це можливо завдяки здатності матеріалу Ecomix® до регенерації. Відновлення робочих характеристик здійснюється шляхом промивки його розчином таблетованої солі. Як і очищення води, процес регенерації фільтруючого завантаження здійснюється в автоматичному режимі.

Помякшення. Для зменшення твердості води використовуються фільтри-пом'якшувачі. В якості фільтрувального матеріалу використовується іонообмінна смола HCR-S/S (катіоніт виробництва Dow, Dowex™). Під час фільтрування відбувається іонообмінна реакція, в результаті якої іони солей

твердості замінюються безпечними іонами натрію, і рівень твердості води нормалізується.

Фільтр-пом'якшувач зменшує енергоспоживання, підвищує ефективність роботи побутової техніки та запобігає її виходу з ладу, а ви заощаджуєте на ремонтах. Dowex HCR S/S — це сильнокислотна катіонообмінна смола, розроблена корпорацією DOW Chemical (США) для використання в побутових, комерційних та промислових системах пом'якшення води. Смола володіє високою обмінною ємністю, що забезпечує відмінні робочі характеристики та здатність ефективно видаляти солі твердості. Матеріал фізично, хімічно та термічно стабільний.

Таблиця 2.10.

Базові характеристики матеріалу Dowex™ HCR-S/S

Продукт	Тип	Матриця	Функціональна група
Dowex™ HCR-S/S	Сильнокислотний катіоніт	Стирол-ДВБ, гелева	Сульфорова кислота

Таблиця 2.11.

Технічні характеристики матеріалу Dowex™ HCR-S/S

Параметр	Значення
Іонна форма при поставці	Na+
Повна обмінна ємність, г-екв/л (мін.)	1.9
Вміст вологи, %	48 - 52
Кількість цілих гранул, % (мін.)	90
Щільність гранул, г/мл	1.3
Насипна вага, г/л	800

Основні переваги:

- ефективне очищення води від солей твердості завдяки високій обмінній ємності.
- висока продуктивність фільтру завдяки високій швидкості фільтрації - економне споживання води та солі на регенерацію.
- довготривала та ефективна роботи протягом 5 років.

Антискалант. Антискалант ECOTEC RO 1000 — рідкий універсальний антискалант та диспергент на основі полімерів та сополімерів акрилової кислоти для попередження утворення осадів та диспергування колоїдів в системах з тонкоплівковими (TFC) і ацетатцелюлозними мембранами. ECOTEC RO 1000 може використовуватись для широкого спектру різних типів вихідної води. Виготовляється відповідно до ТУУ 20.5–

					РОЗДІЛ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		54

пароконденсатного тракту протягом усього. При обробці не підвищує солевмісту, не викликає корозію сплавів, що містять мідь.

IN-ECO® 336 сприяє пасивації металевої поверхні шляхом створення захисної магнетитної плівки, що поступово відмиває наявні відкладення продуктів корозії. Тим самим покращується теплообмін, підвищується паропроодуктивність та ККД роботи котла.

Каталізований інгібітор ерозії. Зв'язування кисню. Призначений для корекційної обробки парових котлів, де як підживлення використовується пом'якшена або частково демінералізована вода. Використовується для контролю процесів кисневої корозії в котлах низького та середнього тиску.

Універсальний інгібітор на основі каталізованого бісульфіту. Є потужним відновником кисню, дія якого проявляється вже за нормальної температури. Наявність каталізатора збільшує швидкість відновної реакції, дозволяючи швидко і повністю видалити розчинений кисень з поживної води. IN-ECO® 3240 сприяє створення та підтримання рівномірної магнетитної захисної плівки на поверхні металу. Не погіршує якість пара. Контроль - за залишком сульфідів в котловій воді.

2.3.2. Опис удосконаленої апаратурно-технологічної схеми водопідготовки

Стадія 1. Забір води та механічна фільтрація першої ступені

Глибинний насос подає воду зі свердловини на механічний фільтр першої ступені (дисковий фільтр з розміром сітки 130 мкм).

Фільтр захищає інше технологічне обладнання та автоматику клапанів управління від великих механічних домішок, які можуть потрапляти у воду зі свердловини і забезпечує безаварійну роботу усієї системи.

Стадія 2. Механічна фільтрація другої ступені

Механічний вертикальний фільтр другої ступені очистки, організований за системою Duplex, наповнений сорбційним матеріалом Filter-Ag® (Clack Corporation, США). Його базовим призначенням є видалення дрібних механічних та колоїдних часток перед фільтрами пом'якшення, комплексного очищення, видалення хлору й сірководню для забезпечення нормальної та ефективної роботи наступних стадій очистки.

Вода з дискового фільтра подається в корпус фільтра, проходить через шар фільтруючого матеріалу, ефективно затримуючого механічні домішки. Після вичерпання ресурсу фільтруючого матеріалу, відбувається автоматичне перемикання на дублюючий фільтр, завантажений тим же фільтруючим матеріалом, а забруднений фільтр переходить у режим регенерації. Через шар матеріалу пропускається зворотний потік води з великою швидкістю,

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

вимиваючи всі домішки з поверхні фільтруючого матеріалу, і скидається в каналізацію. Фільтр очищений і готовий до перемикання з дублюючого фільтра.

Стадія 3. Знезалізнення та комплексне очищення – Ключова стадія

Установка знезалізнення та комплексного очищення організована за системою Duplex і складається з двох основних модулів — вертикальної ємкості (балона), наповненого фільтруючою сумішшю ECOMIX, та бака-солерозчинника.

Режим роботи установки наступний: вода з механічного фільтра другої ступені подається в одну з колон установки та проходить через шар фільтруючої суміші ECOMIX, яка очищає воду від іонів заліза, марганцю, органічних речовин та амонію. Контроль якості очистки здійснюється за допомогою визначення концентрації іонів заліза і марганцю в очищеній воді. Якщо дані показники починають доходити до максимально допустимої норми, система перемикається на іншу колону та переходить в режим регенерації, яка полягає у промиванні фільтруючої суміші розчином солі з бака-солерозчинника. Після регенерації колона готова до роботи і почне працювати після забруднення дублюючої колони.

Стадія 4. Помякшення. Установка помякшення організована за системою Duplex і складається з двох основних модулів — вертикальної ємкості (балона), наповненого іонообмінною смолою Dowex™HCR-S/S, та бака-солерозчинника.

Режим роботи установки наступний: вода з установки знезалізнення та комплексного очищення подається в одну з колон установки помякшення та проходить через шар іонообмінної смоли Dowex™HCR-S/S, яка очищає воду від іонів кальцію і магнію, заміщуючи їх на іони натрію. Контроль якості очистки здійснюється за допомогою визначення концентрації іонів кальцію і магнію в очищеній воді. Якщо дані показники починають доходити до максимально допустимої норми, система перемикається на іншу колону та переходить в режим регенерації, яка полягає у промиванні фільтруючої суміші розчином солі з бака-солерозчинника. Після регенерації колона готова до роботи і почне працювати після забруднення дублюючої колони.

Стадія 5. Додавання антискалantu. Антискалтант ECOTEC RO 1000 додається у потік води, що надходить до системи зворотнього осмосу за допомогою насоса-дозатора.

Стадія 6. Зворотний осмос. Вода, що надходить у систему зворотнього осмосу, проходить попередню очистку на картриджних фільтрах тонкого очищення 5 мкм, що входять в комплект установки. На мембранний

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

модуль вода подається насосом високого тиску. У робочому режимі в мембранному модулі установки відбувається розділення води на два потоки: демінералізовану воду — пермеат і воду з підвищеним солемістом — концентрат. Частина концентрату під час роботи модуля скидається в каналізацію, а частина направляється на вхід насоса високого тиску, забезпечуючи так званий рецикл концентрату. Перед відключенням або із заданою періодичністю відбувається гідравлічна промивка мембран установки, протягом 1-2 хвилин, шляхом подачі води, що перевищує подачу в робочому режимі.

Стадія 7. Хімічна деаерація. Після зворотного осмосу в потік очищеної води, яка подається в ємкість живильної води, насосом дозується суміш IN-ECO® 336 та IN-ECO® 3240. В ємкості живильної води очищена вода змішується із рециркульованим конденсатом і відбувається ефективна деаерація та рівномірний розподіл інгібітора корозії.

Стадія 8. Корегування та підтримування рівня рН. При подачі води на котел відбувається корегування її рН шляхом подачі лугу чи кислоти за допомогою насоса-дозатора.

Інноваційність запропонованої схеми. Удосконалення полягає у впровадженні каталітичного завантаження ECOMIX перед стадіями сорбційного фільтрування і пом'якшення, встановлення установки зворотного осмосу і додавання після зворотного осмосу хімічних реагентів IN-ECO® 336 та IN-ECO® 3240. Це рішення дозволяє отримувати воду, що відповідає вимогам до води для парових котлів.

Дана схема є базовою для проведення подальших технологічних розрахунків та підбору обладнання.

2.4. Технологічні розрахунки

На основі розробленої апаратурно-технологічної схеми проводиться інженерний розрахунок основних вузлів системи водопідготовки. Продуктивність установки становить $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{год}$. Метою розрахунків є визначення геометричних параметрів фільтрів, об'ємів фільтруючих завантажень та гідравлічних характеристик для вибору насосного обладнання.

2.4.1. Розрахунок і підбір установки знезалізнення та комплексного очищення

Це основний вузол схеми, параметри якого обґрунтовано в експериментальній частині (п. 1.2.3). Для забезпечення ефективного очищення лінійна швидкість фільтрування (v_f) не повинна перевищувати 10-12 м/год.

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1. Визначення площі фільтрування (S_f):

$$S_f = \frac{Q_{calc}}{v_f}$$

Приймаємо оптимальну швидкість фільтрування $v_f = 12$ м/год.

$$S_f = \frac{1,5}{12} = 0,125 \text{ м}^2$$

2. Розрахунок діаметра фільтра (D_f):

$$D_f = \sqrt{\frac{4 * S_f}{\pi}}$$

$$D_f = \sqrt{\frac{4 * 0,125}{3,1415}} = 0,399 \text{ м} \approx 400 \text{ мм}$$

3. Вибір корпусу фільтра:

Згідно зі стандартним рядом типорозмірів напірних корпусів із композитних матеріалів (Structural), обираємо корпус 1665.

Діаметр корпусу: 16 дюймів = 406 мм (0,41 м).

Висота корпусу: 65 дюймів = 1650 мм (1,65 м).

Фактична площа фільтрування:

$$S_{fact} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{3,1415 * 0,41^2}{4} = 0,132 \text{ м}^2$$

Перевірка фактичної швидкості фільтрування:

$$v_{fact} = \frac{1,5}{0,132} = 11,36 \text{ м/год}$$

Отримана швидкість (11,36 м/год) знаходиться в межах рекомендованого діапазону (10-12 м/год), що гарантує ефективне видалення заліза до концентрації $< 0,06$ мг/дм³ (згідно з даними п. 1.2.4).

4. Розрахунок об'єму фільтруючого завантаження (V_{load}):

Рекомендована висота шару завантаження ECOMIX становить 800-900 мм ($H_{load} = 0,9$ м). Також необхідно передбачити вільний простір (Freeboard) не менше 40% для розширення шару під час зворотної промивки.

$$V_{load} = S_{fact} * H_{load} = 0,132 * 0,9 = 0,1188 \text{ м}^3 \approx 119 \text{ л}$$

Завантаження постачається у мішках по 28,3 л (1 cubicfoot).

Кількість мішків: $119 / 28,3 = 4,2$. Приймаємо 4 мішки (113,2 л).

5. Розрахунок потоку на зворотну промивку ($Q_{backwash}$):

Це критичний параметр для вибору насоса. Для ефективного розпушування необхідна інтенсивність промивки $J = 25-30$ м/год.

$$Q_{backwash} = S_{fact} * J = 0,132 * 30 = 3,96 \text{ м}^3/\text{год}$$

					РОЗДІЛ 2	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2.4.3. Підбір допоміжного обладнання

Насосна станція

Насос повинен забезпечувати подачу води на фільтрацію (1,5 м³/год) при робочому тиску 3,0-4,0 бар, але головна умова - забезпечення режиму зворотної промивки фільтра знезалізнення 1665.

Як розраховано в п. 2.3.1, потік на промивку $Q_{backwash} = 4,0$ м³/год при тиску не менше 3,0 бар.

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

Номінальна подача: 4,7 м³/год.

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.

2.4.4. Зведена специфікація основного обладнання

Результати підбору обладнання для модернізації відділення водопідготовки (продуктивністю 5000 л соку/змін) зведено у таблицю 2.12.

Таблиця 2.12

Специфікація основного технологічного обладнання

№	Найменування обладнання	Характеристики	Кількість	Призначення
1	Фільтр першої ступені	Дисковий, 130 мкм, 1"	1 шт.	Захист від піску
2	Фільтр другої ступені	Компресор AP-2, датчик потоку	1 компл.	Окиснення заліза
3	Система комплексної дії	Корпус 1665, ECOMIX (113 л), клапан ClackWS1.25	1 шт.	Видалення Fe, Mn
5	Установка пом'якшення	Корпус 1465, Катіоніт (50 л), ClackWS1 CI	1 шт.	Зниження жорсткості
6	Установка зворотного осмосу	Корпус BigBlue 20", картридж 5 мкм	1 шт.	Фінішна фільтрація
8	Насосна станція	Grundfos CM 5-4 з частотним приводом	1 шт.	Подача води
9	Ємність живильної води	V = 10 м ³ , харчова нерж. сталь (AISI 304)	1 шт.	Буфер для піків

Усе обране обладнання доступне на ринку України, стандартизоване, має сертифікати відповідності для харчової промисловості та забезпечує виконання технологічних вимог, обґрунтованих у Розділі 1.

					РОЗДІЛ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

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

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

Забезпечення безпечності харчової продукції на ТОВ «Манзана фуд» ґрунтується на впровадженні та постійному вдосконаленні системи управління, що базується на принципах НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points). Згідно з вимогами чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» № 771/97-ВР, розробка та застосування процедур НАССР є обов'язковими для всіх операторів ринку харчових продуктів.

Законодавча та нормативна база:

1. Наказ Мінагрополітики № 590 — регламентує вимоги щодо розробки та впровадження програм-передумов та процедур НАССР.
2. ДСТУ ISO 22000:2019 — міжнародний стандарт, що встановлює вимоги до систем менеджменту безпечності харчових продуктів.
3. «Контроль показників якості води на ТОВ „Манзана Фуд“ здійснюється відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 та сучасних методів аналізу, регламентованих ДСТУ ISO 6059 (для визначення жорсткості) та ДСТУ 4138 (для контролю залишкового хлору)».

На аналізованому підприємстві впроваджено превентивну модель, яка орієнтована на виявлення та нейтралізацію загроз безпосередньо в ході переробки сировини. Ключовим аспектом менеджменту виступає гармонізація внутрішніх процесів із вимогами міжнародного стандарту ДСТУ ISO 22000:2019, що дозволяє вибудувати надійну систему простежуваності та відповідальності на всіх ланках виробничого ланцюга.

Особлива увага в системі безпечності ТОВ «Манзана Фуд» приділяється управлінню якістю води, яка виконує подвійну роль: виступає критично важливою сировиною для відновлення соків та забезпечує функціонування котельного господарства як енергоносіє. Загальні підходи до стабільності виробництва передбачають детальний аналіз фізичних, хімічних та мікробіологічних факторів на кожному етапі водопідготовки, від первинного хлорування артезіанської води до фінальної стадії очищення. Методологія аналізу дозволяє об'єктивно оцінювати придатність води для харчових цілей. Створення безпечного середовища неможливе без базових програм-передумов, які охоплюють належну виробничу практику, санітарний стан приміщень, особисту гігієну персоналу та регулярне технічне

					РОЗДІЛ 3	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

обслуговування обладнання, що в сукупності мінімізує ймовірність випадкового забруднення продукції.

Специфіка сокового виробництва на ТОВ «Манзана Фуд» диктує необхідність виділення конкретних критичних точок контролю, пов'язаних із функціонуванням вугільних фільтрів та установок йонообмінного пом'якшення. На цих ділянках моніторинг залишкового хлору та солей жорсткості має вирішальне значення, адже будь-яке відхилення від норми загрожує не лише втратою органолептичних властивостей напоїв, а й технічними ризиками для пароварочних агрегатів через інтенсивне утворення накипу. Таким чином, інтегрована система водопідготовки забезпечує одночасний технічний контроль для підтримки енергоефективності та харчовий контроль для захисту здоров'я споживача. Перехід до автоматизованих систем управління процесами очищення, що розглядається в подальших підрозділах роботи, дозволяє трансформувати систему управління з реактивної у проактивну, нівелюючи помилки, спричинені людським фактором, та підтверджуючи відповідність підприємства високим європейським стандартам харчової галузі.

Загальні підходи до управління на підприємстві

Система управління безпечністю на «Манзана фуд» розглядає воду як один з найбільш критичних елементів. Оскільки підприємство спеціалізується на відновленні соків та виробництві концентратів, будь-яке відхилення в якості води (мікробіологічне чи хімічне) може призвести до невідповідності кінцевого продукту.

Основні принципи НАССР, що реалізуються в рамках третього розділу, включають:

1) Аналіз небезпечних факторів: На етапах водопідготовки (хлорування, сорбція на вугільних фільтрах, катіонування) ідентифіковано біологічні (бактерії), хімічні (залишковий хлор) та фізичні (іржа, осад) чинники.

2) Визначення ККТ (Критичних контрольних точок): Для «МАНЗАНА ФУД» критичними точками визначено вузол пом'якшення та вузол зворотного осмосу, де перевищення показників може пошкодити як обладнання.

3) Програми-передумови (PRP): Це фундамент системи безпечності, який включає гігієну персоналу, належне утримання територій та обладнання, а також чіткий контроль за якістю допоміжних матеріалів (реагентів для водопідготовки).

					РОЗДІЛ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		63

3.2. Аналіз небезпечних факторів та запобіжні заходи щодо їх появи у відділенні водопідготовки

В промисловості, комунальній енергетиці та сільському господарстві країни працюють тисячі парових та водогрійних котлів середніх та низьких параметрів. Їх надійна робота багато в чому визначається веденням раціонального водно-хімічного режиму. Вода володіє унікальною теплоємністю. У зв'язку з цим, та завдяки її відносній дешевизні, вода широко використовується в якості теплоносія, проте той факт, що вода не буває абсолютно чистою, тобто такою, що не містить ніяких домішок, створює низку проблем при експлуатації котельного обладнання, починаючи зі створення різних відкладень на поверхнях та закінчуючи корозійними процесами. Ті, в свою чергу, призводять до зниження ефективності роботи котлового обладнання, збільшення енерговитрат, прискорення зношування обладнання аж до повного дострокового виходу його з ладу. В силу цього, вимоги до води, що використовується для роботи котельного обладнання, є дуже високими. Вони встановлені «Правилами будови і безпечної експлуатації теплових і водогрійних котлів» або вимогами виробників котельного обладнання. Регламентується прозорість води, її жорсткість, вміст заліза і міді, кількість розчиненого у воді кисню, значення рН, вміст нафтопродуктів. Отримання води з необхідними характеристиками питання непросте і, найчастіше, багатоетапне.

Високий вміст заліза (зазвичай з марганцем), розчиненого у воді призводить, при його окисненні, до утворення шламу, що осідає на поверхнях. Разом з накипом ці відкладення призводять до зменшення діаметра труб, потовщення стінок котлів, забивають тонкоструменеві пристосування і фільтри, засмічують воду всередині котла. Вимоги до вмісту заліза в живильній воді для різних типів котлового обладнання різний і коливається, в основному, від 0,03 до 0,6 мг/дм³. Серйозну проблему створюють для котельного обладнання солі, розчинені у воді, особливо, солі кальцію і магнію, так звані солі жорсткості. Жорстка вода при нагріванні створює накип на всіх поверхнях, з якими вона стикається. Відомо, що кожен градус жорсткості збільшує вапняні відкладення на 18 г/м³. Як уже згадувалося, накип є основою всіх відкладень на поверхнях, що стикаються з гарячою водою. Чим більше накип, тим більше тепловтрати в системі в результаті порушення теплопередачі. Встановлено, що використання для підживлення води з жорсткістю 15 градусів, втрати енергії становлять близько 10%. Крім того, відбувається перегрів окремих ділянок котлів, що може привести до утворення тріщин на них. Через накип та інші відкладення знижується робочий перетин труб, що призводить до збільшення опору

					РОЗДІЛ 3	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

поток, підвищення тиску в котлі, вспінюванню води і викиду частини води разом із забрудненнями в пару. В результаті погіршується якість пари, що використовується. Найчастіше це неприпустимо. Підвищення тиску в котлі само по собі дуже небезпечно. Живильною водою називається суміш додаткової води і конденсату, що повертається. Котловою водою називається вода, що циркулює в контурі котла. При роботі котлоагрегату відбувається безперервне накопичення домішок в котельній воді внаслідок її упарювання і припливу солей з живильною водою. Ці домішки можуть забруднювати пару (солі кремнієвої кислоти розчиняються в парі при високому тиску, а потім відкладаються на стінках апаратів при зниженні тиску). Решта домішок в котельній воді викликають негативні наслідки, якщо не вжити відповідних заходів при переробці води. Попадання механічних домішок і солей карбонатної жорсткості викликають утворення в випарному контурі шламів і пухких сполук, які необхідно періодично видаляти. Теплопровідність накипу і шламу незначна в порівнянні з теплопровідністю металевих стінок. Тому збільшується термічний опір процесу теплопередачі від газів до води, що призводить до неприпустимого підвищення температури стінок труб і зниження їх механічної міцності. Збільшення термічного опору підвищує витрату палива. Найбільше накипоутворення відбувається в зоні високих температур (на вогневої стороні). Розчинені у воді гази (CO_2 і O_2) при високих температурах володіють великою корозійною активністю. Лужність води трохи знижує інтенсивність корозійних процесів, але зі збільшенням лужності збільшується вспінювання води в барабанах, і можливе винесення піни з паром. Присутність у воді органічних сполук також небажано. Висока окислюваність води ускладнює її обробку та видалення мінеральних солей, підвищує піноутворення.

Жорсткість води для харчових котлів має бути мінімальною. Попереджувальні дії в таблиці передбачають автоматизацію циклів регенерації, що мінімізує людський фактор.

Виконання цих попереджувальних дій гарантує відсутність накипу. Як зазначено в теоретичній частині, накип завтовшки лише 0,5 мм призводить до перевитрати палива на 1,5–2%, що суттєво для великого виробництва соків.

Критичні точки

Вимоги до води, що використовується для роботи котельного обладнання, є дуже високими. Вони встановлені «Правилами будови і безпечної експлуатації теплових і водогрійних котлів» або вимогами виробників котельного обладнання. Регламентується прозорість води, її жорсткість, вміст заліза і міді, кількість розчиненого у воді кисню, значення

					РОЗДІЛ 3	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

pH, вміст нафтопродуктів. Отримання води з необхідними характеристиками питання непросте і, найчастіше, багатоетапне.

Критична точка 1. Високий вміст заліза (зазвичай з марганцем), розчиненого у воді призводить, при його окисленні, до утворення шламу, що осідає на поверхнях. Разом з накипом ці відкладення призводять до зменшення діаметра труб, потовщення стінок котлів, забивають тонкоструменеві пристосування і фільтри, засмічують воду всередині котла. Вимоги до вмісту заліза в живильній воді для різних типів котлового обладнання різні і коливається, в основному, від 0,03 до 0,6 мг/дм³.

Критична точка 2. Твердість води. Серйозну проблему створюють для котельного обладнання солі, розчинені у воді, особливо, солі кальцію і магнію, так звані солі жорсткості. Жорстка вода при нагріванні створює накип на всіх поверхнях, з якими вона стикається. Відомо, що кожен градус жорсткості збільшує вапняні відкладення на 18 г/м³. Як уже згадувалося, накип є основою всіх відкладень на поверхнях, що стикаються з гарячою водою. Чим більше накип, тим більше тепловтрати в системі в результаті порушення теплопередачі. Встановлено, що використання для підживлення води з жорсткістю 15 градусів, втрати енергії становлять близько 10%. Крім того, відбувається перегрів окремих ділянок котлів, що може привести до утворення тріщин на них. Через накип та інші відкладення знижується робочий перетин труб, що призводить до збільшення опору потоку, підвищення тиску в котлі, вспінюванню води і викиду частини води разом із забрудненнями в пару. В результаті погіршується якість пари, що використовується. Найчастіше це неприпустимо. Підвищення тиску в котлі само по собі дуже небезпечно. Живильною водою називається суміш додаткової води і конденсату, що повертається. Котловою водою називається вода, що циркулює в контурі котла. При роботі котлоагрегату відбувається безперервне накопичення домішок в котельній воді внаслідок її упарювання і припливу солей з живильною водою. Ці домішки можуть забруднювати пару (солі кремнієвої кислоти розчиняються в парі при високому тиску, а потім відкладаються на стінках апаратів при зниженні тиску). Решта домішок в котельній воді викликають негативні наслідки, якщо не вжити відповідних заходів при переробці води. Попадання механічних домішок і солей карбонатної жорсткості викликають утворення в випарному контурі шламів і пухких сполук, які необхідно періодично видаляти. Теплопровідність накипу і шламу незначна в порівнянні з теплопровідністю металевих стінок. Тому збільшується термічний опір процесу теплопередачі від газів до води, що призводить до неприпустимого підвищення температури стінок труб і зниження їх механічної міцності. Збільшення термічного опору підвищує

					РОЗДІЛ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		66

витрату палива. Найбільше накіпоутворення відбувається в зоні високих температур (на вогневої стороні).

Критична точка 3. Розчинені у воді газу (CO_2 і O_2) при високих температурах володіють великою корозійною активністю. Лужність води трохи знижує інтенсивність корозійних процесів, але зі збільшенням лужності збільшується вспінювання води в барабанах, і можливе винесення піни з парою. Присутність у воді органічних сполук також небажано. Висока окислюваність води ускладнює її обробку та видалення мінеральних солей, підвищує піноутворення.

Отже, удосконалення вузла водопідготовки на підприємстві вимагає переходу до автоматизованих рішень, що дозволяють мінімізувати суб'єктивний вплив персоналу на якість очищення. Впровадження сучасних керуючих клапанів та датчиків у режимі реального часу забезпечує точне дозування реагентів та своєчасну регенерацію фільтрів залежно від фактичного об'єму спожитої води. Це не лише гарантує відповідність води суворим вимогам до харчової сировини, а й суттєво оптимізує витрати енергоносіїв у котельні. Завдяки відсутності твердих відкладень на поверхнях нагріву зростає коефіцієнт корисної дії обладнання та продовжується термін його безремонтної експлуатації. Таким чином, запропоновані заходи з модернізації та суворе дотримання програм НАССР формують цілісну систему, що поєднує технологічну ефективність «Манзана Фуд» з високим рівнем безпеки готової продукції для споживача.

					РОЗДІЛ 3	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

Сектор теплоенергетики (ТКЕ) є критично важливим для забезпечення національної безпеки та соціальної стабільності, що підтверджується віднесенням котелень до споживачів першої категорії згідно з ДБН В.2.5-39. Однак, функціонування цього сектору в Україні стикається зі значними викликами, пов'язаними із застарілими технологіями водопідготовки, що напряду впливає на економічну ефективність, екологічну стійкість та соціальні гарантії. У контексті Цілей Сталого Розвитку (ЦСР), особливо ЦСР 7, що стосується енергоефективності та чистої енергії, стратегія водозабезпечення котелень вимагає глибокого переосмислення, інтегруючи технічні вимоги до якості води із принципами ресурсозбереження та чистого виробництва.

4.1 Економічна ефективність розробки та її соціальне значення

Економічна ефективність функціонування теплосилового господарства визначається не лиш ціною палива та тарифами на вироблену енергію, але й операційними витратами, які значною мірою залежать від надійності та стану основного технологічного обладнання.

Ключовим чинником, що впливає на ці показники, є якість підготовленої води, оскільки вона безпосередньо запобігає або спричиняє деградацію систем.

Аналіз економічних втрат від неякісної водопідготовки та валідація інвестицій. Неякісна водопідготовка є прямим джерелом колосальних економічних втрат для підприємств ТКЕ. Основними механізмами цих втрат є накипоутворення, корозійні процеси та необхідність інтенсивного продування котлів.

Накипоутворення та енергоємність. Відкладення накипу на внутрішніх поверхнях теплообміну котлів, навіть мінімальні, значно знижують коефіцієнт теплопередачі, що призводить до необхідності спалювання більшої кількості палива для досягнення заданої теплової потужності. Це прямо суперечить національному завданню ЦСР 7, яке передбачає зниження енергоємності ВВП у два рази та зменшення втрат тепла в тепломережаху 1,7 раза. Технічна необхідність забезпечення високої якості води зростає пропорційно робочому тиску котлів. Для теплових електростанцій та великих котелень, що використовують котли високого (до 10 МПа) та надвисокого тиску (17–22 МПа), потрібна знесолена вода.

					РОЗДІЛ 4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		68

Відсутність знесолення призводить до швидкого виходу з ладу дорогих елементів котлів, таких як економайзери та пароперегрівачі.

Операційні втрати (ОРЕХ) та простой. Неякісна вода вимагає підвищеного продування котла для контролю концентрації солей, що, у свою чергу, призводить до значних втрат тепла і води, а також збільшує обсяг скидів. Крім того, накип та корозія зумовлюють аварійні зупинки, необхідність позапланових ремонтів та збільшують витрати на хімічні реагенти для колекційної обробки. Таким чином, інвестиції (CAPEX) у високотехнологічну водопідготовку, наприклад, впровадження мембранних систем, забезпечують зменшення операційних витрат у довгостроковій перспективі. Така модернізація є не просто витратною статтею, а критичним елементом *операційної стійкості* та інструментом досягнення мультиплікативного ефекту енергоефективності. Забезпечення стабільно високої якості води дозволяє мінімізувати продування та максимізувати повернення конденсату, що є прямою відповіддю на завдання зі зниження технологічних втрат.

Соціальне значення надійного водозабезпечення. Надійне функціонування котелень має не лише економічний, але й глибокий соціальний вимір. Будучи споживачами першої категорії, котельні зобов'язані забезпечувати безперебійне постачання тепла та гарячої води, відсутність яких у холодний період прямо загрожує життєдіяльності населення та роботи виробництв. Надійність системи безпосередньо залежить від її технічного стану, який, як показано, корелюється з якістю водопідготовки.

Фінансова дихотомія. Коли тарифи штучно стримуються, підприємства ТКЕ втрачають фінансову спроможність для проведення масштабної модернізації, зокрема інвестиційну дорогу, але необхідну інфраструктуру водопідготовки, таку як мембранні технології. Це призводить до виникнення так званої "пастки неефективності": соціальна політика, спрямована на підтримку низьких цін, фактично субсидує використання застарілих, реагентоємних методів водопідготовки. У довгостроковій перспективі це призводить до зростання технологічних втрат, підвищеної енергоємності (що суперечить ЦСР 7) та необхідності подальшої компенсації різниці в тарифах, створюючи замкнене коло залежності від державних субсидій та консервуючи неефективність.

Для виходу з цієї ситуації критично важливим є розробка механізмів цільового фінансування (наприклад, через державні фонди сталого розвитку), які б дозволили підприємствам модернізувати водопідготовку, забезпечуючи як надійність, так і ресурсоефективність.

					РОЗДІЛ 4	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4.2 Екологічні проблеми у виробництві та шляхи їх вирішення

Екологічний аспект водо забезпечення котелень є однією з найгостріших проблем сектору, що часто залишається недооціненою порівняно з енергетичними тарифами. Водопідготовка, що не відповідає сучасним екологічним стандартам, створює значне навантаження на водні екосистеми.

Екологічні вимоги, ресурсоощадне та чисте виробництво (RECP).

У контексті сталого розвитку, управління водними ресурсами ТКЕ має бути підпорядковане принципам ресурсоощадного та чистого виробництва (RECP). Це виходить за рамки простого дотримання нормативів на скид і передбачає системне зниження споживання ресурсів та мінімізацію забруднення на джерелі.

Інтеграція водного та енергетичного менеджменту.

Водозабезпечення котелень необхідно інтегрувати у загальну стратегію управління енергоресурсами, оскільки вода є не лише носієм тепла, але й фактором, що визначає енергетичну ефективність системи. Наприклад, оптимізовані схеми водопостачання та водоспоживання повинні включати підготовку води для повторного застосування, максимізуючи оборотне водопостачання. Це безпосередньо сприяє досягненню ЦСР 7 зі зниження втрат тепла та підвищення енергоефективності.

Водний слід ТКЕ. Екологічний слід котельні оцінюється не лише за обсягами забору прісної води, але й за хімічним складом скидів. Відповідно до принципів RECP, ключовим завданням є зменшення використання хімічних реагентів, що використовуються для підготовки та очищення води.

Екологічні ризики традиційних методів: проблема сольових стоків.

Традиційні методи пом'якшення води, які домінують у теплоенергетиці України, створюють значну екологічну проблему. Найбільш поширеними є іонообмінні методи, зокрема використання Na-катионітових фільтрів, які засновані на фільтруванні води крізь спеціальні матеріали, здатні обмінювати іони.

Механізм перенесення забруднення. Хоча іонообмін є ефективним для пом'якшення води, він вимагає регулярної регенерації фільтрувальних матеріалів за допомогою концентрованих розчинів (як правило, хлориду натрію). У результаті цього процесу відбувається скид великих обсягів концентрованих сольових розчинів (хлоридів, сульфатів, а також надлишку реагентів) у системи водовідведення або безпосередньо у водойми. Цей процес ілюструє проблему перенесення забруднення (Pollution Shifting): підприємство вирішує технічну проблему (накипоутворення в середині

					РОЗДІЛ 4	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

котла) за рахунок створення екологічної проблеми поза своїми межами (підвищена мінералізація водних об'єктів, порушення хімічного складу стічних вод). Використання термічних методів, які також застосовуються для пом'якшення (нагрівання води до температури вище 100 С° для осадження солей кальцію та магнію), хоча й є безреагентним, має неприйнятно високу енергоємність, що прямо суперечить цілям енергоефективності.

Таким чином, традиційні реагентомі методи створюють екологічний ризик, який робить їх неприйнятними в контексті стратегії сталого розвитку та РЕСР. Необхідна повна відмова від методів, що генерують значні обсяги сольових стоків, на користь ресурсозберігаючих.

Шляхи вирішення: Впровадження інноваційних технологій (Мембранна фільтрація та РЕСР). Ключовим шляхом вирішення екологічних проблем та забезпечення високої якості води, необхідної для роботи сучасного теплоенергетичного обладнання, є перехід на безреагентні, або малореагентні, технології водопідготовки, зокрема мембранну фільтрацію (зворотний осмос, електродеіонізація).

Технологічна перевага мембран. Мембранні системи дозволяють одночасно досягти декількох критичних цілей:

- **Висока якість води:** Вони здатні вилучати з води домішки органічного та

Механічного типу, регулювати кислотність і кількість солей, а також проводити знезараження, зводячи вміст мікроорганізмів до мінімуму. Це забезпечує необхідне знесолення води для котлів високого та надвисокого тиску.

- **Мінімізація хімічного сліду:** Головна перевага мембранних технологій полягає у мінімізації або повній відмові від хімічних реагентів, що кардинально вирішує проблему сольових стоків, властиву іонообмінним методам.

- **Стимулювання циркулярної економіки:** Правильно організована водопідготовка, заснована на мембранах, дозволяє підготувати воду для повторного застосування. Це є основою для ефективного оборотного водопостачання, знижуючи загальний забір прісної води та зменшуючи обсяги скидів.

- **Економічна та екологічна відповідність.** У світлі національних завдань ЦСР 7 та високих технічних вимог до знесолення, мембранні технології перестають бути лише опцією, а стають *технологічним дефолтом*. Це єдине комплексне рішення, яке забезпечує високу якість підготовки (економічна ефективність) та мінімальний екологічний вплив (сталість).

- **Виклики впровадження.** Головними перешкодами для

					РОЗДІЛ 4	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

широкого впровадження мембранних систем залишаються висока початков апаратність (CAPEX) та енерговитрати на насосне обладнання. Проте, ці витрати повинні бути оцінені не лише з точки зору початкової інвестиції, а й у контексті зниження довгострокових експлуатаційних витрат (OPEX), що включають економію палива, зниження витрат на реагенти та уникнення екологічних штрафів.

Порівняльна характеристика методів водопідготовки для ТКЕ.

Для ілюстрації економічних та екологічних переваг інноваційних систем над традиційними методами, що досі широко використовуються, доцільно порівняти ключові аспекти їх функціонування.

Таблиця 4.1

Порівняльна характеристика методів водопідготовки для ТКЕ

Критерій	Традиційний Іонообмін (Na-катионіти)	Мембранні Технології (Зворотний Осмос)
Якість підготовленої води	Пом'якшення (видалення Ca, Mg), недостатнє для знесолення високого тиску.	Надчиста, знесоленавода (критично для котлів 10+МПа).
Використання хімічних реагентів	Високе (солі для регенерації).	Мінімальне або відсутнє.
Екологічний вплив (Скиди)	Значні обсяги концентрованих сольових стоків.	Виробництво концентрату, обсяг стоків значно менший/простіше оброблюваний.
Вплив на енергоефективність	Опосередковано позитивний; вимагає додаткових заходів (продування).	Прямий позитивний (максимальний ККД, мінімум накипу); відповідає ЦСР 7.
Сприяння RECP / Циркулярній Економії	Низьке, обмежені можливості повторного використання води.	Високе, ідеальна основа для оборотного водопостачання.
CAPEX/OPEX	Низький CAPEX, високий OPEX (паливо, реагенти, ремонт).	Високий CAPEX, значно нижчий OPEX (паливо, Мінімум реагентів).

Висновки

Аналіз економічних, соціальних та екологічних аспектів водо забезпечення котелень в Україні демонструє необхідність стратегічного переходу від мінімально необхідних норм (забезпечення надійності, категорія І споживачів) до цільової ресурсоефективності, що відповідає завданням ЦСР 7.

1. **Економічна стійкість через якість води.** Якість водопідготовки є критичним фактором, що визначає енергоємність теплосилового господарства. Інвестиції у технології знесолення води, необхідні для захисту високотискового обладнання, є прямим інструментом досягнення національних цілей зі зниження втрат тепла та підвищення загальної енергоефективності.

2. **Конфлікт соціального захисту та модернізації.** Політика соціального стримування тарифів, хоча й необхідна для захисту населення, створює фінансову дихотомію, яка фактично консервує технологічну неефективність та екологічні ризики (залишаючи підприємства в залежності від реагентоемних методів).

3. **Технологічна необхідність переходу до РЕСР.** Традиційний іонообмін створює неприйнятне екологічне навантаження через сольові стоки. Мембранні технології є єдиним сучасним рішенням, яке дозволяє одночасно забезпечити необхідну якість води та дотриматися принципів ресурсоощадного та чистого виробництва (РЕСР), мінімізуючи хімічний слід та максимізуючи повторне використання води.

Рекомендації:

1. **Реформування фінансування модернізації:** Необхідно розробити цільові державні чи міжнародні програми фінансування (наприклад, пільгові кредити або субсидії на CAPEX), які будуть спрямовані виключно на впровадження безреагентних технологій водо підготовки (мембранних систем) у ТКЕ. Це дозволить розірвати зв'язок між соціально чутливими тарифами та інвестиційною потребою в екологічній модернізації.

2. **Оновлення нормативної бази:** Регуляторні вимоги (ДБН) повинні бути доповнені критеріями ресурсоефективності, які вимагатимуть від підприємств досягнення певного відсотка повторного використання води та обмеження обсягу сольових скидів, згідно з принципами РЕСР.

3. **Інтегрований менеджмент:** Слід впроваджувати інтегровану систему управління водними та енергетичними ресурсами на підприємствах ТКЕ, де оптимізація водо підготовки розглядається як прямий важіль для зниження технологічних втрат тепла та підвищення ККД.

					РОЗДІЛ 4	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

У магістерській кваліфікаційній роботі щодо удосконалення технології підготовки води для теплосилового господарства на основі проведених аналітичних та експериментальних досліджень, інженерних розрахунків зроблено такі висновки:

1. За результатами визначення якості артезіанської води (свердловина ТОВ «Манзана фуд» м. Бородянка, Київська обл.) виявлено, що вода має стабільний сольовий склад, але містить підвищену кількість загального заліза (0,67 мг/дм³).

2. Експериментально підтверджено високу ефективність безреагентного каталітичного методу знезалізнення з використанням завантаження ЕСОМІХ. Встановлено, що при дозі завантаження 60 ум. од. досягається зниження концентрації заліза до 0,05 мг/дм³, що повністю задовольняє технологічні вимоги. Розроблено математичні моделі, які описують залежність залишкового вмісту заліза від параметрів процесу, що дозволило оптимізувати технологічний режим фільтрування.

3. Обґрунтовано та розроблено удосконалену апаратурно-технологічну схему підготовки води, яка включає стадії: Механічна фільтрація першої ступені → Механічна фільтрація другої ступені → Знезалізнення та комплексне очищення → Пом'якшення → Додавання антискалтанту → Зворотній осмос → Корегування та підтримування рівня рН → Хімічна деаерація.

4. Проведено продуктивний розрахунок та визначено необхідну продуктивність станції водопідготовки - 1,5 м³/год. Здійснено підбір основного технологічного обладнання, зокрема фільтрів знезалізнення та сорбції, установки пом'якшення, що забезпечує енергоефективність та надійність системи.

5. Розроблено систему управління безпечністю води на основі принципів НАССР згідно з вимогами ISO 22000. Ідентифіковано небезпечні фактори хімічної природи. Визначено три критичні контрольні точки (ККТ): вузол знезалізнення (контроль заліза), вузол пом'якшення (контроль жорсткості) та вузол деаерації (контроль кисню). Розроблено план моніторингу та коригувальних дій, що мінімізує ризики випуску небезпечної продукції.

					ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		74

Рекомендації виробництву:

Можливість впровадити розроблену схему водопідготовки для теплосилового господарства при реконструкції або будівництві нових цехів з виробництва харчової продукції.

Можливість забезпечити суворий контроль визначених ККТ згідно з розробленим планом НАССР для гарантування стабільної якості води для парових котлів.

					ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		75

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондаренко, В.І. Технології водопідготовки та очищення води для енергетичних установок. – Київ: Наукова думка, 2020. – 320 с.
2. Герасименко, О.М., Ковальчук, П.В. Енергетичне та водне забезпечення котелень: сучасні методи та рішення. – Харків: ХНУ, 2019. – 256 с.
3. Державні будівельні норми України (ДБН В.2.5-20-2001). Теплопостачання населених пунктів. – Київ, 2001.
4. Коваленко, В.П. Очищення промислових стоків і води для теплоелектроенергетики. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2018. – 288 с.
5. Міністерство енергетики України. Розпорядження щодо модернізації котелень та енергоефективності. – Київ, 2021.
6. Пархоменко, С.В. Системи водопідготовки котлів: методи та обладнання. – Дніпро: Промислова книга, 2020. – 312 с.
7. Соловійов, І.Г., Ткаченко, А.О. Екологічні аспекти водопостачання енергетичних об'єктів. – Київ: Енергетика України, 2019. – 224 с.
8. Федоренко, В.М. Раціональне використання води у промислових котельнях. – Одеса: Одеський національний університет, 2018. – 198 с.
9. ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use. – Geneva: International Organization for Standardization, 2015.
10. WHO Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization, 2017.
11. Yildiz, F., & Ozdemir, T. Water treatment technologies in thermal power plants: a review. Journal of Water Process Engineering, 2020, 35, 101163.
12. Smith, R., & Wang, L. Sustainable water management in energy production. Energy Reports, 2021, 7, 213–224.
13. Kumar, A., & Singh, P. Membrane and ion-exchange technologies for boiler feed water. Desalination and Water Treatment, 2019, 160, 1–15.
14. European Commission. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants. – Brussels, 2017.
15. World Bank. Water Use Efficiency in Energy Sector. – Washington, 2018.
16. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. [Чинний від 2010-05-12]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 42с. (Державні санітарні норми та правила).

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

17. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. [Чинний 2015-02-01]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 25 с.
18. Про питну воду та питне водопостачання: Закон України від 10.01.2002р.
19. №2918-III. Офіційний вісник України. 2002. 10 січн. (№ 2918). С. 45.
20. <https://www.idahofallsidaho.gov/410/Cleaning-Water>
21. Основи проектування водопідготовки ТЕЦ і котелень харчових підприємств: підруч. / Ю.Г.Поржезінський. – Київ, НУХТ, 2008
22. Загальні технології харчових виробництв: підруч. / В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, М.М. Калакура, Л.Ф. Романенко, Л.М. Хомічак, О.О. Василенко, І.В. Мельник, Л.М. Мельник. Київ: «Університет Україна», 2010. 814 с.41.
23. Водопостачання промислових підприємств: посібник / В.О.Орлов; Л.Л.Литвиненко; А.М.Орлова. Київ. “Знання” 2014
24. Disc Filter Advantages And Disadvantages <https://www.waterandwastewater.com/disc-filter-advantages-and-disadvantages/>
25. Disk Filters Wastewater Treatment: Efficient Solution for Clean Water <https://www.waterandwastewater.com/disk-filters-wastewater-treatment/>
26. What are the disc filter advantages and disadvantages in irrigation systems? <https://dfshoutec.com/what-are-the-disc-filter-advantages-and-disadvantages-in-irrigation-systems/>
27. When To Use a Disc Filter vs a Screen Filter <https://www.vuflow.com/blog/when-to-use-a-disc-filter-vs-a-screen-filter>
28. C. Zhang, E. Ji, B. Wang, and Z. Yang, “Experimental Research on Filtration Effect of Mesh Filters in Dewatering of Silt Foundation,” IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 455, no. 1, Mar. 2020, doi:10.1088/1755-1315/455/1/012063
29. Bag Filters in Water Treatment: A Comprehensive Guide <https://lyfiltration.com/bag-filters-in-water-treatment-a-comprehensive-guide>

					СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		77

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

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

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

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

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

ISBN 978-966-612-358-2

© NUFT, 2025

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

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

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

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

ISBN 978-966-612-358-2

© НУХТ, 2025

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

5. Застосування ефективних засобів у водопідготовці для парових котлів

Ярослав Бариш, Ірина Крапивницька

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Очищення води для парових котлів має велике значення для забезпечення ефективної та безпечної роботи котельної системи. Водопідготовка допомагає запобігти корозії, утворенню накипу та забруднення котлової води, що може призвести до зниження ефективності котла, збільшення витрат на технічне обслуговування і навіть до катастрофічних наслідків.

Матеріали та методи. Матеріалом дослідження використовували воду з артезіанської свердловини, живильну воду, хімічні засоби для водопідготовки парових котлів ІН-ЕКО 308; ІН-ЕКО 326 (Литва). Для визначення показників якості води застосовували загальноприйняті методи.

Результати та обговорення. Вода для живлення парових котлів, яка не пройшла попередню підготовку, може завдати істотної шкоди котлоагрегату і зменшити безаварійний час роботи.

Підготовка води визначається, виходячи з аналізу води. Системи підготовки води знижують зношування деталей котлоагрегату, зменшують вплив корозії на котлову сорочку, доводять до мінімуму кількість хімічних промивок та знижують кількість використовуваних хімікатів, тим самим, подовжують експлуатаційний термін роботи котлоагрегату. Знаходження у воді котла солей кальцію і магнію, розчиненого кисню, компонентів вугільної кислоти, можуть стати причиною утворення сольових відкладень, корозії внутрішніх частин котлоагрегату.

Проведено визначення якості води артезіанської свердловини ТОВ «Манзана фуд» (Київська обл.) за показниками: рН, лужність, жорсткість, розчинений кисень, а також живильної води. До живильної води пред'являється низка вимог. Підживлювальна вода повинна мати високу якість. Воду слід очищати від домішок, таких як зважені тверді речовини, тверді розчинені речовини і розчинені гази. Звичайні процеси очищення включають відстоювання, фільтрацію та деаерацію. Ці дані допомагають визначити відповідні хімічні засоби для обробки води та їх дозування.

Хімічна обробка включає додавання в воду хімікатів для контролю рН, запобігання утворенню накипу та інгібування корозії. Зазвичай хімічні речовини включають засоби, що підвищують лужність, інгібітори накипу, поглиначі кисню та інгібітори корозії. Для хімічної обробки були використані засоби АТ «Inzinerine Ekologija» (Литва) під торговою маркою ІН-ЕКО: ІН-ЕКО 308 – інгібітор корозії та накипу та ІН-ЕКО 326 – поглинач кисню. Накип знижує ефективність теплопередачі та призводить до перегріву та пошкодження котла. Інгібітори накипу та пом'якшувачі води використовуються для запобігання утворенню накипу за рахунок зниження жорсткості води. Розчинений кисень у воді котла може спричинити корозію компонентів котла.

Підтримання рівня рН у воді котла має важливе значення. Зазвичай рН слід підтримувати від 10 до 11, щоб звести до мінімуму корозію. Для регулювання та підтримки рН використовуються підсилювачі лужності, такі як гідроксид натрію (каустична сода).

Висновок. Інгібітори корозії та накипу, поглиначі кисню є сучасними засобами у процесі підготовки води для парових котелень, забезпечують ефективну роботу системи водопідготовки та безпечну роботу котлоагрегатів.