

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Допущений до захисту
В.о. завідувача кафедри, к.т.н.,
доцент Валерій ГРАНЯК

(Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

“ ___ ” _____ 2023 р.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
МЕМБРАННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ФІЛЬТРУВАННЯ ВОДИ**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

Виконав: студент групи 71-ЕІ-маг-3
Тарнавський Валентин Сергійович

Керівник: PhD, ст. викл.
Бурлака Сергій Андрійович

Вінниця – 2023

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електроенергетики, Інженерно-технологічний факультет
електротехніки та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. завідувача кафедри
к.т.н., доцент Валерій ГРАНЯК

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту Тарнавському Валентину Сергійовичу

на тему

«Підвищення ефективності застосування мембранних технологій для
фільтрування води»

затверджену Наказом від «__» _____ 2023 року №

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники та навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних за попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Об'єм, стор.	Термін підготовки	Підпис керівника
Анотація		1	Березень 2023 року	
Вступ		4	Березень 2023 року	
Розділ 1	Аналіз відомих методів та технологій очищення води	24	Квітень 2023 року	
Розділ 2	Теоретичні засади мембранних процесів очищення води	33	Квітень 2023 року	
Розділ 3	Експериментальні дослідження очищення води	19	Травень 2023 року	
Розділ 4	Результати експериментальних досліджень	11	Серпень 2023 року	
Висновки		4	Жовтень 2023 року	
Список використаної літератури		8	Квітень 2023 року - листопад 2023 р.	

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту «__» _____ 2023 р.

Завдання видано «__» _____ 2023 р.

Завдання прийняв до виконання _____ Тарнавський В.С.

Керівник _____ С.А. Бурлака PhD, ст. викл.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ.....	10
1.1 Загальні відомості про процес фільтрації	10
1.2 Аналіз та хімічний склад води	14
1.3 Основи мембранних технологій очищення води	21
2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ.....	23
2.1 Класифікація мембранних методів очищення	23
2.2 Переваги та недоліки використання мембранної фільтрації	24
2.3 Універсальні мембранні системи очищення питної води	27
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ	30
3.1 Визначення хімічного складу золи ячменю	30
3.2. Технологічна сутність фільтрування води	32
3.3. Опис роботи фільтр-преса	38
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
4.1 Розрахунок фільтр-преса	42
4.2. Порівняльний аналіз фільтрів для очищення води	45
4.2.1 Дискові фільтри типу ФД	51
4.2.2 ВАКУУМ-ФІЛЬТРИ	55
4.3 Очищення від забруднень методом електрокоагуляції	60
4.4 Електрокоагуляція як технологічний процес	61
4.5 Дослідження параметрів електрокоагуляційної установки	71
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

АНОТАЦІЯ

Тарнавський В.С. Підвищення ефективності застосування мембранних технологій для фільтрування води.

Рукопис.

Магістерська робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня

«Магістр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, 2023 р.

Дипломна робота присвячена питанню підвищення ефективності використання мембранних технологій для фільтрування води. Мембранні технології стали ключовими в сфері очищення та забезпечення водопостачання в сучасному світі. У роботі досліджується поточний стан використання мембранних технологій, їх переваги та обмеження. Основна увага акцентується на шляхах підвищення ефективності застосування мембрани для фільтрування води, включаючи оптимізацію процесів, вдосконалення матеріалів мембран та врахування різноманітних факторів, що впливають на результати фільтрації. Дослідження включає аналіз сучасних наукових розробок та інженерних рішень, спрямованих на підвищення якості та продуктивності мембранних систем. Результати цього дослідження можуть бути корисні для вдосконалення процесів очищення води та забезпечення доступу до якісної питної води для всього населення.

Метою дослідження є підвищення ефективності та продуктивності застосування мембранних технологій для фільтрування води. У роботі розглядаються різні аспекти оптимізації процесів фільтрації, вибір оптимальних матеріалів мембран, а також вплив різних факторів на якість та продуктивність системи.

Ключові слова: мембранні технології, фільтрування води, очищення води, водопостачання, якість води, продуктивність мембран, оптимізація процесів.

ВСТУП

Неконтрольоване скидання промислових, сільськогосподарських та побутових відходів призвело до значного погіршення якості води, що йде на господарсько-питні потреби. У воді з'явилися такі токсичні речовини, як пестициди, гербіциди, феноли, нітрити, важкі метали (ртуть, кадмій, свинець та ін.). Технології, що застосовуються на муніципальних водопідготовчих підприємствах, не дозволяють повністю видалити ці забруднення при водопідготовці.

Близько 40 років тому почала розвиватися принципово інша технологія очищення води - мембранна технологія. Вона заснована на пропусненні води під тиском через напівпроникну мембрану та поділ води на два потоки: фільтрат (очищена вода) і концентрат (концентрований розчин домішок). Мембранна фільтрація є незамінною для позбавлення води від мікробів. Принцип методу мембранної фільтрації - концентрування присутніх в аналізованій пробі мікроорганізмів на поверхні мембранного фільтра з розміром пір 0,45-0,65 мкм шляхом пропускання проби через фільтр. Після фільтрації проби, фільтр із затриманими мікроорганізмами поміщають на живильне середовище та інкубують у відповідних умовах.

Мембранні фільтри є фільтрами, що утримують частинки на поверхні, що означає відсутність утримування частинок на внутрішній тканині фільтра. Завдяки рівномірному та однорідному розподілу пір на поверхні легко визначити максимальний розмір частинок, які можуть пройти через фільтр, так що можна говорити про абсолютний рівень фільтрування. Ці фільтри не змінюють природу фільтрату і майже адсорбують рідину всередині себе.

Слід пам'ятати, що з ефективності очищення мембранні системи немає собі рівних: вона сягає майже 100% по кожному з видів забруднень. Досить сказати, що тільки перелік домішок, що видаляються, займає не одну сторінку. Через дрібні пори напівпроникної тонкоплівкової мембрани, що мають розмір порядку 0,0001 мікрона, здатні просочитися під тиском тільки молекули води

та кисню, а всі домішки, що залишаються по інший бік мембрани, зливаються в дренаж.

Мета роботи полягає в забезпеченні доступу до якісної та екологічно чистої води шляхом оптимізації процесів мембранного фільтрування, що має важливе значення для забезпечення водної безпеки та збереження водних ресурсів.

Конкретні цілі роботи включають:

1. Аналіз сучасних досягнень у галузі мембранних технологій для фільтрування води.
2. Вивчення впливу різних факторів на ефективність мембранного фільтрування, таких як типи мембран, тиск, концентрація розчину, інші параметри.
3. Оцінка впливу вибору матеріалів мембран на якість фільтрації та тривалість служби мембран.
4. Розробка та експериментальне тестування удосконалених систем мембранного фільтрування в реальних умовах.
5. Оцінка результатів дослідження та розробка рекомендацій щодо покращення систем фільтрації води з використанням мембранних технологій.

Об'єкт дослідження: Мембранні технології для фільтрування води та їх застосування.

Предмет дослідження: Процеси та параметри, що впливають на ефективність мембранного фільтрування води, включаючи вибір типів мембран, тиск, концентрацію розчину, властивості матеріалів мембран, інші параметри та умови фільтрації.

Наукова новизна роботи полягає в:

1. Дослідженні та аналізі сучасних досягнень у галузі мембранних технологій для фільтрування води.
2. Розробці та експериментальному тестуванні удосконалених систем мембранного фільтрування в реальних умовах, враховуючи різні фактори впливу.

3. Оцінці впливу вибору матеріалів мембран на якість фільтрації та тривалість служби мембран.

4. Розробці рекомендацій щодо покращення систем фільтрації води з використанням мембранних технологій на основі отриманих результатів дослідження.

Робота вирішує актуальну проблему покращення якості та продуктивності водоочищення за допомогою мембранних технологій, що є важливим кроком у забезпеченні водної безпеки та раціонального використання водних ресурсів.

Методи дослідження. Аналіз та огляд наукових джерел, наукових статей, технічних звітів та публікацій, що стосуються мембранних технологій для фільтрування води, щоб оцінити сучасний стан галузі та існуючі досягнення. Проведення лабораторних досліджень для вивчення властивостей різних видів мембран, їх пористості, гідрофобності та інших характеристик, які впливають на процес фільтрації води. Використання комп'ютерних програм для математичного моделювання процесів фільтрації води з використанням мембран, зокрема для визначення оптимальних параметрів фільтрації. Проведення досліджень на реальних об'єктах, де впроваджуються мембранні технології для фільтрування води, з метою оцінки їхньої ефективності та впливу на якість очищення води. Обробка та аналіз результатів лабораторних, комп'ютерних та польових досліджень для визначення ефективності мембранних технологій та розробки рекомендацій.

1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

1.1 Загальні відомості про процес фільтрації

Стрімко зростаюча потреба у воді та обмежені ресурси джерел води у вигляді річок, озер та підземних вод, з одного боку, та подорожчання підготовки питної та технічної води – з іншого, призводять до необхідності створення та використання нових технологій обробки води, які дозволяють швидко, ефективно та економічно вигідно очищати води, а також отримувати питну та індустріальну воду із величезних запасів морської води. В останні 10-15 років широке застосування знаходять мембранні технології обробки води, які при підготовці питної води дозволяють надійно очищати вихідну воду від домішок, що викликають хвороби, при обробці стічних муніципальних вод отримувати воду, придатну для використання в промислових цілях, а при обробці індустріальних стічних вод вод одержувати воду, придатну для повторного використання. Крім того, за допомогою мембран можна досить ефективно видалити солі з морської води (тобто зробити знесолення води), що відкриває величезні перспективи отримання питної та індустріальної води практично з невичерпного джерела [1].

Зростання потреб у воді зумовлюють необхідність динамічного розвитку водного сектора світової економіки. Прогнозується загальний обсяг інвестицій у водний сектор до 2010 року близько 800 млрд. дол. США. Передбачається, що обсяг продажів обладнання у світовій індустрії очищення води зросте з 23 млрд. дол. США у 2003 р. до 33 млрд. дол. США у 2010 р., при цьому частка Європи становитиме 35%. Зростання потреб у мембранних матеріалах наведено у табл.1.

Таблиця 1. 1. Зростання потреб у мембранних матеріалах

Вид мембрани	Потреба, млн. дол.			Щорічний приріст, %	
	1998 р.	2003 р.	2008 р.	03/98	08/03

Усі мембрани	1190	1785	2675	8,4	8,4
Мікрофільтрація	626	860	1175	6,6	6,4
Ультрафільтрація	197	329	530	10,8	10,0
Зворотний осмос	234	390	620	10,8	9,7
Інші	133	206	350	23,9	21,1

Слід зазначити, що приріст потреби у застосуванні мембран мікрофільтрації/ультрафільтрації (МФ/УФ) в області очищення муніципальних та стічних вод оцінюється у %. Якщо у 2001 р. в обладнанні фільтрації води та стічних вод, що оцінюється у 30 млрд. дол. США, частка мембранного обладнання становила 1%, то за прогнозом на 2010 р. частка мембранного обладнання буде близько 22% від загальної вартості обладнання фільтрації, яке оцінюється у 54 млрд. дол. США [2].

На розвиток та застосування мембранних технологій у водному секторі впливають такі фактори (стимули): довкілля (зростання населення, обмежені джерела води, забруднення води); охорона здоров'я; міжнародні та європейські норми та вимоги щодо обробки сирі води та стічних вод; цільові програми ООН, Світового банку та Європейського банку реконструкції та розвитку; комерціалізація (приватизація водогосподарств. державне стимулювання реалізації проектів, інтеграція підприємств із обробки води); конкуренція (завоювання ринку, прагнення розробити стандарти у створенні засобів обробки води, зниження цін); стандарти (уніфікація мембран, обладнання та комплектуючих); розвиток східного (Східна Європа, СНД, Китай) та африканського ринків; реконструкція водогосподарств [3].

До стримуючих факторів розвитку мембранних технологій можна віднести: бюджетні обмеження; інфраструктуру, що склалася, і традиційну технологію роботи; недотримання законів, норм і вимог щодо обробки води; слабкий приплив приватних інвестицій у Східній Європі та країнах СНД; бюрократизм та корупцію; консерватизм менеджерів та проектувальників.

Фахівцям, які безпосередньо працюють у харчовій галузі, у своїй роботі доводиться постійно стикатися з проблемами якості вихідної води як для

кінцевого продукту, так і для технологічних потреб усього виробництва. Дані проблеми особливо актуальні там, де вода є основною частиною виробленого продукту, і від її якості залежить місце, яке займе продукт на ринку [4].

Вимоги до якості води регламентуються кожної галузі промисловості напоїв нормативними документами. На підставі рекомендацій та вимог даних нормативних документів та передбачуваних обсягів виробництва можна взяти комплекс заходів, який дозволить досягти поставлених на виробництві завдань. Великі підприємства, як правило, самі мають технічну і матеріальну можливість правильно поставити завдання і успішно втілити їх у життя [5]. Середні та дрібні виробники в основній своїй масі такої можливості не мають. Однак, незважаючи на явну різницю в потенційних можливостях, будь-якому підприємству необхідно мати достовірну інформацію про стан справ у даній галузі, про застосовувані в даний час технології та обладнання.

Грунтуючись на власному досвіді розробки, впровадження та експлуатації промислових систем водопідготовки, можна сказати, що фірма, яка проектує та виробляє системи водопідготовки для забезпечення сучасних технологічних вимог для харчових виробництв, має бути інжиніринговою компанією, яка має у своєму арсеналі: методи проектування та розрахунку блоків та вузлів ; алгоритми керування ними у складі системи водопідготовки; методи розроблення правил експлуатації систем водопідготовки з урахуванням конкретних умов роботи підприємства [6].

Наведені вище методи повинні бути однаково застосовні при проектуванні та виробництві систем як великої продуктивності, так і малої.

Компанія, яка бере на себе відповідальність за розробку систем водопідготовки для харчової промисловості, і в першу чергу для виробництва напоїв, повинна дотримуватись наступних принципів:

Система водопідготовки має повністю забезпечувати очищеною водою всі технологічні потреби виробництва, відповідати заданій продуктивності протягом терміну служби;

в системах водопідготовки необхідно застосовувати тільки сертифіковані матеріали, вузли та агрегати тільки промислового, в окремих випадках комерційного (але ніяк не побутового) дизайну;

технологічні процеси, що застосовуються, повинні бути такими, щоб зберігати після водопідготовки природні (тобто природні) переваги очищеної води.

обробку води із застосуванням, наприклад, хімреагентів проводити тільки в крайньому випадку, якщо немає цього альтернативи;

технологічні лінії водопідготовки (особливо складові її частини, які визначають стабільність роботи споруди) доцільно максимально автоматизувати, особливо у випадках, коли необхідно зменшити чи виключити втручання оператора;

конструкція лінії водопідготовки повинна передбачати обов'язковий (а часто безперервний) контроль основних параметрів (на кожному блоці системи): перепаду тиску, витрати та вироблення очищеної води, часу експлуатації, а також солевмісту, рН очищеної води та деяких інших параметрів, які потребують конкретного виду виробництва;

система водопідготовки має забезпечувати можливість регулювання мікроелементного складу очищеної води;

видаткові матеріали та інгредієнти, необхідні для проведення регламентних робіт, повинні бути обрані під конкретні умови експлуатації системи водопідготовки, а їх склади повинні бути зрозумілі для обслуговуючого встановлення персоналу;

супровідна технічна та експлуатаційна документація має бути виконана відповідно до вимог ДСТУ, містити обсяг даних, достатній для запуску систем водопідготовки в роботу та подальшої її правильної експлуатації;

остаточний вибір складу лінії водопідготовки та її конструкції має визначатися на основі мінімальної технологічної необхідності та економічних можливостей замовника [7]. При цьому часто доцільно закладати в конструкцію ліній водопідготовки потенційну можливість її подальшої

модернізації (після запуску виробництва замовником і накопичений інвестиційний потенціал) з метою розширення технологічних можливостей і відповідно підвищення рівня якості продукції, що виробляється [8].

Грунтуючись на вищевикладеній концепції, співробітники інжинірингового центру розробили та впровадили на діючі виробництва широкий модельний ряд установок, що дозволяє привести якість вихідної води до вимог споживачів: освітлювальні та сорбційні установки - по 1 3697-002-48147451-2004, що застосовуються в техніках вода відрізняється високою каламутністю, підвищеним вмістом механічних та органічних суспензій, заліза, марганцю, та для усунення стороннього присмаку, запаху та кольоровості; іонообмінні установки – по 1 3697-003-48147451 – 2004, призначені для зниження лужності, пом'якшення, видалення нітратів, солей важких металів тощо; установки мембранного фільтрування - за ТУ 4859-00 48147451-2004, призначені як для зниження механічних, зважених та колоїдних речовин, так і для зниження мінералізації, видалення солей жорсткості, двовалентних аніонів, більшості солей, включень нітрато-фторидів і т.п.

1.2 Аналіз та хімічний склад води

Відомо, що сольовий склад води дуже впливає на характер вироблюваного пива, і для отримання окремих сортів слід було б підбирати воду певного складу. Так як зазвичай на browарнях є одне джерело водопостачання, то намагаються при виготовленні різних сортів пива шляхом відповідних заходів видалити небажані солі або навіть ввести нові [8].

Так як вода є середовищем, в якому протікають всі технологічні процеси, то солі води не можуть не впливати на перебіг цих процесів, які в основному є біохімічними, що вимагають певних умов зовнішнього середовища, необхідних для нормальної поведінки ферментів та життєдіяльності дріжджів [9].

У природних водах переважно містяться такі електроліти: солі NaCl, CaCl₂, CaSO₄, MgSO₄, Ca (HCO₃)₂, CaCO₃, Na₃PO₄ тощо; луку NaOH, Ca (OH)₂, KOH; кислоти HCl, H₂SO₄, H₃PO₄, H₂CO₃.

Оскільки вміст електролітів невеликий, молекули їх у воді майже повністю дисоційовані на іони стані. Завжди при дисоціації є однакова кількість катіонів та аніонів. Є сильні електроліти, які повністю розпадаються на іони, і слабкі, що розпадаються іони лише частково [10].

Катіони води: H⁺, Ca⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Fe²⁺ і Fe³⁺, Al³⁺, Mn²⁺, NH₄,
аніони: ВІН⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, SiO₂²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻ та ін.

Іони H⁺ та ВІН⁻ завжди знаходяться у воді, але самі не впливають на зміну кислотності (pH). Ca⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ є у будь-якій природній воді, причому Ca⁺ у вищій концентрації, ніж Mg²⁺. У різних концентраціях знаходяться Na⁺, Cl⁻ і SO₄²⁻. До⁺ дуже рідко у високій концентрації. Солі крем'яної кислоти можуть бути у двох станах - у вигляді іонів та в недисоційованому стані; в останньому випадку наявність кремнієвої кислоти часто зумовлює помутніння води. Залізо у воді зазвичай міститься у вигляді солей двовалентного заліза (Fe²⁺) і головним чином у вигляді кислого вуглекислого заліза [Fe (HCO₃)₂] супроводжуючись іноді невеликими концентраціями солей алюмінію і марганцю [11].

Визначаються кількості (не сліди) NH₄ і NO₂⁻, як і солі фосфорної кислоти, зустрічаються у воді у разі сильного бактеріального забруднення. Це показник гниття органічних азотистих речовин; аміак спочатку окислюється в азотисту кислоту (її солі), а потім азотну. Наявність солей азотної кислоти за відсутності азотистої перестав бути показником бактеріального забруднення.

З газів у воді знаходяться вуглекислота, кисень, сліди сірководню (наявність H₂S також вказує на процеси розкладання органічних речовин). Вільна СО₂ має корозійні властивості [12].

Сольовий склад води, змінюючи кислотність затору і пивного сусла, впливає біохімічні процеси пивоваріння і цим якість готового продукту. Тому до якості води в пивоварінні висуваються більш високі вимоги, ніж до хорошої

питної води. Для покращення її технологічних якостей при виробництві світлих сортів пива допускається застосування харчової молочної кислоти та кухонної солі, вільної від шкідливих домішок гіпсу [13].

Всі технологічні процеси приготування пива протікають у слабокислому середовищі, так як у лужному середовищі створюються несприятливі умови для протікання ферментативних процесів при оцукрювання. Тому лужна вода, що містить велику кількість карбонатів і бікарбонатів, непридатна для пивоваріння. Для цієї мети необхідна вода з невеликим вмістом сірчано-кислих та хлористих солей. Підвищена концентрація цих солей погіршує смак пива; жорсткість води впливає також і його колір. Практикою встановлено, що там, де для приготування пива використовується м'яка вода, виходить світле пиво з ніжною хмелевою гіркотою та ароматом; застосування жорсткої води дає темне пиво з сильнішою та грубішою хмелевою гіркотою. У зв'язку з цим для виробництва світлих сортів пива - Жигулівського, Ризького, Московського, Ленінградського - вживають м'яку воду або середньої жорсткості. Жорстка вода може бути використана для отримання світлих сортів пива тільки після її попереднього пом'якшення або підкислення молочною кислотою під час затирання [14].

Для виробництва темних сортів пива - Українського, Березневого, Ленінградського темного, Оксамитного - може бути використана і жорстка - вода без будь-якої обробки, так як темний солод має велику кислотність і містить велику кількість фосфатів і амінокислот, що мають гарну буферну дію і повністю компенсують негативну дію карбонатів води.

Для замочування солодового зерна у пивоварінні найбільш придатна вода з низьким вмістом хлоридів та сульфатів [15]. Хлориди кальцію, магнію та особливо натрію уповільнюють процес проростання; гіпс, вступаючи в обмінну реакцію з дубильними речовинами зерна, знижує їхню розчинність. Крім того, кальцієві солі утворюють плівки в оболонці зерна та ускладнюють процес замочування. Разом з тим кальцієві солі, особливо карбонати, сприяють вилугування гірких речовин і покращують смак солоду. З'єднання заліза, що

містяться у воді, дають опади, а з дубильними речовинами зерна вони утворюють малорозчинні з'єднання бурого кольору [16].

Фахівці Чехословаччини вважають, що склад води, яка застосовується для замочування ячменю, не істотно впливає на якість солоду; тому для цієї мети можуть застосовуватися води з різним вмістом солі. Основною вимогою до води у разі є відсутність механічних домішок і запаху. Не можна застосовувати для цієї мети воду, що містить велику кількість органічних домішок, сполук заліза та марганцю, а також мікроорганізмів. Наявність у воді заліза і марганцю не допускається тому, що в замкових чанах, особливо із застосуванням аерації, на оболонках зерен осідають гідрати оксидів цих металів, внаслідок чого колір солоду, вирощеного з такого зерна, стає бурим. Вплив інших солей, що містяться у воді, на процес замочування і на якість солоду вивчено ще мало, припускають, що при не надто високому вмісті солі не впливають на фізіологічні процеси, що протікають при замочці та проростанні зерна [16, 17]. Це положення пояснюють тим, що насіннева оболонка ячмінного зерна має властивість напівпроникної перегородки, яка пропускає в ендосперм зерна лише воду, а солі, що містяться в ній, вона затримує.

Фахівці Чехословаччини віддають перевагу м'яким водам, що мають нейтральну або злегка кислу реакцію (рН від 6 до 7). При замочуванні на таких водах солод виходить світлого забарвлення, має чистий аромат і дає пиво бездоганного смаку.

Бікарбонат кальцію, що міститься у воді, осаджує дубильні речовини оболонок зерна; з гіркими речовинами він утворює розчинні сполуки, завдяки чому полегшується і прискорюється їх вилугування. Виходячи з цього для виробництва солоду типу чеського застосовують при замочуванні м'яку воду, а для солоду типу баварського - воду з невисоким вмістом бікарбонатів [18].

Вода, що застосовується у процесі варіння пивного суслу, є основною складовою готового пива; від її властивостей значною мірою залежить і якість пива. Для виробництва світлого пльзеньського пива повинна застосовуватися

м'яка вода з незначною лужністю, бідна на гіпс. Така вода особливо придатна для виробництва пива з сильною, яскраво вираженою хмелевою гіркотою та гострим смаком. Для виробництва темного, слабо зброженого солодкуватого пива типу мюнхенського придатна вода середньої жорсткості (5-5,5 ммоль/дм³) з переважним вмістом бікарбонатів кальцію та магнію та помірним вмістом гіпсу. На дуже твердій (15 ммоль/дм³) дортмундській воді з переважаючою так званою некарбонатною жорсткістю готують світле пиво з високим вмістом алкоголю, середньою гіркотою та високим ступенем зброжування. Віденська вода з високою жорсткістю, але з переважанням бікарбонатів кальцію та магнію застосовується для отримання помірно хмільного пива середньої кольоровості [19].

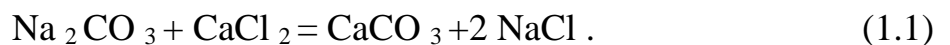
Властивості – води є лише одним із факторів, що визначають якість пива; Важливе значення мають також склад вихідної сировини та особливості технологічного процесу виробництва.

Цікаві дані про витрати води на пивоварних заводах Чехословаччини. Значна кількість води витрачається у про табірних цехах на миття технологічного устаткування, тобто. бродильних чанів табірних ємностей, бочок, розливальних машин, змішувачів, трубопроводів, шлангів та дрібного інвентарю, а також на миття фільтраційних серветок та фільтраційної маси [20]. Багато води витрачається на охолодження суслу в зрошувальних холодильниках. Мийна вода, що залишається на стінках посуду, поєднується з суслим або з готовим продуктом; тому щоб уникнути інфікування і псування продуктів вона повинна бути біологічно чистою, мати хороший смак і не мати запаху. Сольовий склад мийної води немає істотного значення.

Із загальної кількості потрібної води та частина її, яка використовується у виробництві та для живлення парових котлів, піддається очищенню. Для очищення води, що використовується для виробничих та енергетичних потреб, бажано застосовувати однакові методи, щоб мати для цієї мети одну загальну водопідготовчу установку [21]. У ряді випадків, однак, не виключена можливість та доцільність застосування двофазного очищення води. У цьому

першій фазі обробки, тобто. коагуляції, вапнуванню та фільтруванню, піддається вся оброблювана вода, а другій фазі - глибокому пом'якшенню - піддається лише поживна вода парових котлів. Наприклад, застосовують катіонітове пом'якшення води після вапнування та фільтрування. Глибокозм'якшена цим методом вода непридатна для технології пивоваріння. Тому на тих установках, де всю воду піддають катіонуванню, для варіння суслу використовують суміш пом'якшеної води з сирію в такій пропорції, щоб отримати кінцеву жорсткість води близько 2 ммоль/дм³ [22].

Бікарбонатну лужність також нейтралізують кислотами. Однак органами Санітарного нагляду заборонено використання цих цілей мінеральних кислот; допускається нейтралізація лише молочною кислотою. Воду, що містить соду, можна "виправляти" також хлористим кальцієм:



При цьому кухонна сіль не створює ускладнень.

Кондиції на воду, що застосовується для пивоваріння в США практично ті ж, що на воду, яку використовують підприємства СРСР і Чехословаччини; під час підготовки води деяких установках США застосовують електролітичне отримання коагулятора. Вапновану воду пропускають, як завжди, через піщані фільтри. Перед надходженням води на ці фільтри до неї додають гідроксид алюмінію, що отримується шляхом електролізу у спеціальній батареї. Після обробки вапном вода поділяється на два потоки: основний потік надходить на піщаний фільтр, а частина прямує в батарею, де через воду пропускається електричний струм. При цьому алюмінієвий анод батареї утворює тонку суспензію гідроксиду алюмінію, яка рециркулює через батарею, підтримуючись у зваженому стані, для цього є спеціальний насос. На катоді батареї виділяється водень [23]. З рециркуляційної лінії батареї особливим насосом подається суспензія в основний потік води, що надходить на фільтри, При цьому на поверхні піску утворюється плівка з високою абсорбуючою здатністю. Через певні періоди роботи фільтр промивається звичайним способом зворотним струмом води.

Застосування електролітичного коагулятора забезпечує (за літературними даними) високий рівень освітлення води; при випробуваннях таких установок було досягнуто видалення води до 93% зважених речовин. Витрата електроенергії – близько 0,005 кВт-год на 1 т води; витрата алюмінію – близько 1,1 г/т. Висловлюються припущення, що при збільшенні кількості коагулятора можна досягти 100% видалення з води суспензій. Описаний метод передбачається використовувати для освітлення пивного суслу та зброженого пива [24].

На пивоварних підприємствах Канади для видалення з води бактерій та органічних речовин застосовують хлорування. Для звільнення води від неприємного запаху смаку кольору її фільтрують через активоване вугілля. Залізо та марганець видаляють аерацією з подальшим фільтруванням воли. Якщо у вихідній воді мала концентрація сульфату кальцію, його вводять до вмісту 4-5 ммоль/дм³. Лужність води має перевищувати, за нормами канадських пивоварів, 0,5 ммоль/дм³. Для зниження лужності застосовують вапнування. У деяких випадках визнано економічно доцільним повністю видаляти із води всі солі, тобто. деіонізувати її, а потім додавати у необхідній кількості необхідні речовини. Воду для миття пляшок і бочок пом'якшують, тому що жорстка вода залишає на стінках судин під час їх сушіння та пастеризації білу плівку вуглекислого кальцію [25].

Основною сировиною для приготування пива є ячмінний солод (ячмінь, пророслий, а потім висушений у спеціально створюваних та регульованих умовах).

Вміст мінеральних речовин у ячмені коливається в межах 2,4-3,3% і залежить від ряду факторів, серед яких особливо важливе значення мають хімічний склад ґрунту, його кислотність та вологість [26].

Головна частина золи складається з калію, фосфатів і кремнієвої кислоти, решта елементів знаходиться у значно менших кількостях.

За літературними даними, зола ячменю має наступний склад (у%):

Таблиця 1.2 Аналіз складу золі ячменю

З'єднання	Вміст у золі ячменю (у %)
P ₂ O ₅	35,10
SO ₃	1,80
SiO ₂	25,91
Cl	1,02
K ₂ O	20,92
Na ₂ O	2,89
CaO	2,64
MgO	8,83
Fe ₂ O ₃	1,19

Основи мембранних технологій очищення води

Якщо по різні сторони напівпроникної мембрани знаходяться солевмісні розчини з різною концентрацією, молекули води переміщатимуться через мембрану із слабо концентрованого розчину більш концентрований, викликаючи в останньому підвищення рівня рідини. Через явище осмосу процес проникнення води через мембрану спостерігається навіть у тому випадку, коли обидва розчини знаходяться під однаковим зовнішнім тиском. Було встановлено, що цей процес триває до тих пір, поки між розчинами не встановиться певна різниця в тиску, так званий осмотичний тиск — сила, під дією якої вода проходить через мембрану [27]. У 60-ті роки ХХ ст. було виявлено, що якщо штучно до концентрованого розчину прикласти тиск, більший за осмотичний, то протікатиме зворотний процес: молекули води переходитимуть з концентрованого розчину в розведений. Цей процес називається «зворотним осмосом». У процесі зворотного осмосу вода і розчинені у ній речовини поділяються на молекулярному рівні, у своїй з одного боку мембрани накопичується практично ідеально чиста вода, проте забруднення залишаються з іншого боку [28]. Тоді вчені дійшли висновку, що явище зворотного осмосу можна використовувати для очищення води від різних домішок, тому що зворотний осмос забезпечує набагато більший ступінь очищення, ніж більшість традиційних методів фільтрації, заснованих на фільтрації механічних частинок та адсорбції ряду речовин за допомогою

активованого вугілля . Крім того, метод зворотного осмосу набагато простіше і дешевше в експлуатації, порівняно з іонообмінними системами. Спочатку зворотний осмос застосовувався для опріснення морської води. Поступово стали виготовлятися мембрани з різним діаметром пір, які забезпечують різну чистоту води на виході.

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ МЕМБРАННИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

2.1 Класифікація мембранних методів очищення

Мембранні процеси можна класифікувати за розмірами частинок, що затримуються, на наступні типи:

мікрофільтраційні (MF)

ультрафільтраційні (UF)

нанофільтраційні (NF)

зворотньоосмотичні (RO).

При переході від мікрофільтрації до зворотного осмосу розмір пор мембрани зменшується і, отже, зменшується мінімальний розмір частинок, що затримуються. При цьому чим менше розмір пор мембрани, тим більший опір вона надає потоку і тим більший тиск потрібний для процесу фільтрації [29].

Мікрофільтраційні мембрани з розміром пор 0,1-1,0 мкм затримують дрібні суспензії та колоїдні частинки, що визначаються як каламутність. Як правило, вони використовуються, коли є необхідність у грубому очищенні води або для попередньої підготовки води перед більш глибоким очищенням.

Ультрафільтраційні мембрани з розміром пір від 0,01 до 0,1 мкм видаляють великі органічні молекули (молекулярна вага більше 10 000), колоїдні частинки, бактерії та віруси, не затримуючи при цьому розчинені солі. Такі мембрани застосовуються в промисловості та в побуті та забезпечують стабільно високу якість очищення від перерахованих вище домішок, не змінюючи при цьому мінеральний склад води [30].

Нанофільтраційні мембрани характеризуються розміром пор від 0,001 до 0,01 мкм. Вони затримують органічні сполуки з молекулярною масою понад 300 та пропускають 15-90 % солей залежно від структури мембрани.

Назад осмотичні мембрани містять найвужчі пори, і тому є селективними [31]. Вони затримують усі бактерії та віруси, більшу частину розчинених солей та органічних речовин (у тому числі залізо та гумусові сполуки, що надають воді кольоровість та патогенні речовини), пропускаючи

лише молекули води невеликих органічних сполук та легких мінеральних солей. У середньому RO мембрани затримують 97-99% всіх розчинених речовин, пропускаючи лише молекули води, розчинених газів та легких мінеральних солей [32]. Такі мембрани використовуються в багатьох галузях промисловості, де є необхідність отримання води високої якості (розлив води, виробництво алкогольних і безалкогольних напоїв, харчова промисловість, фармацевтика, електронна промисловість тощо). Використання двоступінчастого зворотного осмосу (вода двічі пропускається через зворотноосмотичні мембрани) дозволяє отримати дистильовану та демінералізовану воду. Такі системи є економічно вигідною альтернативою дистилляторам-випарникам та використовуються на багатьох виробництвах (гальваніка, електроніка тощо). В останні роки розпочався новий бум у мембранній технології [33]. Мембранні установки стали дедалі більше використовувати у побуті. Це стало можливим завдяки науковим та технологічним досягненням: мембранні апарати стали дешевшими, зросла питома продуктивність та знизився робочий тиск. Системи зворотного осмосу дозволяють отримати чисту воду, що задовольняє СанПіН «Питна вода» та європейським стандартам якості для питного водокористування, а також усім вимогам для використання у побутовій техніці, системі опалення та сантехніці.

Переваги та недоліки використання мембранної фільтрації

Метод мембранної фільтрації має такі переваги:

- 1) Кількісне визначення
- 2) Висока точність
- 3) Дослідження проб великих обсягів
- 4) Виключення впливу інгібіторів зростання
- 5) Економія поживних середовищ
- 6) Економія часу
- 7) Документування результату

Метод мембранної фільтрації вирішує всі недоліки очищення води від мікробів:

Якщо у зразку води, що досліджується, очікується низький вміст мікроорганізмів, можна взяти великий обсяг проби. При фільтрації на мембрані затримуються усі мікроби [34].

1. Щоб унеможливити вплив природних бактеріостатиків, мембрану після фільтрації проби можна промити фізрозчином або дистильованою водою.

2. Процес фільтрації займає небагато часу (при використанні установки на 47 мм і фільтрі 0,45 мкм – швидкість фільтрації при 90% вакуумі 400-600 мл/хв. залежно від походження фільтра).

3. Обладнання компактне, не вимагає великого робочого місця

Установка вакуумної фільтрації для аналізу рідких проб виконана з нержавіючої сталі, що робить її довговічною, простою у використанні, дозволяє проводити обробку полум'ям.

Для роботи також потрібні мембранні фільтри та живильні середовища.

Поживні середовища можна готувати самостійно, потім потрібен додатковий час, персонал, устаткування [35].

Але зручніше та вигідніше використовувати поживні картонні підкладки (ПКП).

ПКП – це диск із сорбуючого матеріалу, просочений селективним живильним середовищем, а потім висушений у спеціальних умовах і стерильно упакований у пластикову чашку Петрі. Активація живильного середовища проводиться перед використанням шляхом змочування підкладки стерильною водою. У комплекті з підкладками постачаються стерильні мембранні фільтри.

Матеріал мембранних фільтрів – нітрат целюлози. Як показала багаторічна практика, цей матеріал забезпечує оптимальні умови зростання затриманих мікроорганізмів, за винятком отримання помилкового негативного результату.

Процес виготовлення ПКП стандартизований та сертифікований за міжнародними стандартами ISO та GMP. Це означає, що, використовуючи ПКП, Ви застраховані від впливу людського фактора на результат аналізу, коли при приготуванні живильного середовища не витримано строго рецептуру, що призводить до створення незадовільних умов для зростання мікроорганізмів. Або коли до стерилізованого середовища випадково вноситься забруднення, що забезпечує помилковий позитивний результат [36].

Мембранний фільтр складається з декількох шарів, які з'єднані разом та обмотані навколо пластикової трубки. Матеріал мембрани напівпроникний. Вода продавлюється через напівпроникну мембрану, яка відкидає навіть низькомолекулярні сполуки. Заміна мембранного фільтра може знадобитися у випадку, коли установка буде виробляти помітно менше води або змінити її смак. Зазвичай термін експлуатації мембранного фільтра при правильній експлуатації та своєчасній заміні фільтрів попереднього очищення – 2 – 3 роки. Мембранні системи мають і низку інших переваг. По-перше, забруднення не накопичуються всередині мембрани, а постійно зливаються в дренаж, що виключає можливість їх потрапляння в очищену воду. Завдяки такій технології навіть за значного погіршення параметрів вихідної води якість очищеної води залишається стабільно високою. Може лише знизитися продуктивність, що споживач дізнається по лічильникам, вбудованим у систему [37]. І тут мембрану необхідно промити спеціальними реагентами. Такі промивання проводять регулярно (приблизно 4 рази на рік) спеціалістами сервісної служби. Одночасно виконується контроль роботи установки. Інша перевага – відсутність хімічних скидів та реагентів, що забезпечує екологічну безпеку. Мембранні системи компактні та чудово вписуються в інтер'єр. Вони прості в експлуатації і не потребують уваги з боку користувача.

Однак мембранні системи очищення води досить дорогі. Але, враховуючи те, що при використанні «накопичувальних» систем швидше за все знадобиться кілька установок різної дії, то їхня загальна вартість теж обійдеться недешево. А якщо говорити про експлуатаційні витрати, то для

мембранних систем вони значно менші [37].

Мембранна технологія активно розвивається. Установки постійно вдосконалюються. Сучасні системи практично повністю автоматизовані, оснащені системою блокування у разі перебоїв у подачі електроенергії та захистом від «сухого ходу». Мембранна фільтрація набуває все більшої популярності в побутовому використанні завдяки надійності, компактності, зручності в експлуатації і, звичайно ж, стабільно високій якості одержуваної води. Багато хто стверджує, що тільки завдяки зворотному осмосу впізнали справжній колір чистої води.

Найбільше визнання отримали зворотноосмотичні системи завдяки унікальній якості води, що досягається після фільтрації. Явище проходження води через плівку з малоконцентрованого розчину більш концентрований розчин було відкрито ще XVIII в. Це явище отримало назву осмосу, а плівка, що пропускає воду, названа мембраною [38]. Явище осмосу є основою обміну речовин всіх живих організмів. Завдяки йому у кожен живу клітину надходять поживні речовини і, навпаки, виводяться шлаки. Явище осмосу спостерігається, коли два соляні розчини з різними концентраціями розділені напівпроникною мембраною. Ця мембрана пропускає молекули та іони певного розміру, але є бар'єром для речовин з молекулами більшого розміру. Таким чином, молекули води здатні проникати через мембрану, а молекули розчинених у воді солей немає [39].

Такі мембрани ефективно справляються з низькомолекулярними гуміновими сполуками, які надають воді жовтуватий відтінок та погіршують її смакові властивості, які дуже важко видалити іншими методами. З використанням мембранних зворотноосмотичних систем можна отримати чисту воду. Така вода не тільки безпечна для здоров'я, але і зберігає білість дорогої сантехніки, не виводить з ладу побутову техніку та систему опалення, і просто тішить око [40].

Універсальні мембранні системи очищення питної води

Напівпроникна полімерна плівка діє подібно до стінок клітин живих організмів, пропускаючи через дрібні пори лише частинки, порівняні з молекулами води. Композитна поліамідна зворотньоосмотична мембрана затримує практично всі забруднення, у тому числі бактерії та віруси. Для того, щоб забруднення не осідали на мембрані і не закупорювали пори, вода тече з високою швидкістю вздовж поверхні мембрани, змиваючи забруднення в каналізацію [41]. Система проста в обслуговуванні та легко монтується під кухонною раковиною або поруч із нею та забезпечена окремим краном.

У базову комплектацію системи входять:

1. Попередній фільтр механічної очистки (5 мкм).
2. Попередній фільтр із гранульованим вугіллям
3. Додатковий фільтр із пресованим вугіллям.
4. Корпус із зворотньоосмотичною мембраною.
5. Фінішний фільтр
6. Автоматичний клапан вимикання води.
7. Накопичувальний бак з краном.
8. Муфта підключення до лінії холодної води.
9. Муфта підключення до каналізації.
10. Кран чистої води.

Змінні компоненти системи очищення питної води.

1) Картриджі механічного очищення забезпечують очищення води від механічних домішок (пісок, іржа тощо), що дозволяє захистити мембрану від пошкодження та забруднення. Мінімальний розмір домішок, що затримуються - 5 мкм [42]. Картриджі виготовлені з термічно пов'язаного поліпропіленового мікрОВОлокна і мають змінну щільність упаковки, що збільшується від поверхні до центру, що значно підвищує брудоемність картриджів. Пропускна здатність – 1100 л/год (при втраті тиску 0,1 бар). Ресурс картриджа - до 6 місяців (залежно від витрати та якості води).

2) Картридж та з пресованим активованим вугіллям забезпечують ефективне очищення води від хлору, органічних та хлорорганічних сполук

(феноли, хлорфеноли, миючі речовини тощо). Картриджі складаються із пресованого активованого вугілля, покритого поліпропіленовою сіткою, що захищає вугілля від механічних забруднень. У мембранній системі встановлюється до мембранного модуля захисту мембрани від руйнівного впливу хлору. Ефективність очищення від хлору вища, ніж у картриджів з гранульованим вугіллям і становить не менше 95% (при вмісті хлору 2 мг/л та витраті води 170 л/год). Пропускна здатність – 420 л/год (при втраті тиску 0,2 бар). Ресурс картриджів за хлором - до 6 місяців (залежно від витрати та якості води).

3) Картриджі з гранульованим активованим вугіллям виготовлені із шкаралупи кокосового горіха. Забезпечують очищення води від хлору, хлорорганічних та органічних сполук (феноли, хлорфеноли, миючі речовини тощо) [43]. У мембранній зворотньоосмотичній системі встановлюється до мембранного модуля для захисту мембрани від руйнівної дії хлору. Пропускна спроможність – 300 л/год. Ресурс складає до 6 місяців.

4) Фінішний вугільний фільтр – використовується для доочищення води від низькомолекулярних органічних сполук, які можуть проникнути через зворотньоосмотичну мембрану або потрапити в чисту воду з гумової груші бачка та викликати неприємний запах та смак, що встановлюється за допомогою спеціальних кріплень на корпус мембрани. Є нерозбірним пластиковим корпусом з активованим вугіллям, який після вироблення ресурсу замінюється повністю. Пропускна здатність – 120 л/год . Ресурс – 3500/5300 літрів .

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Визначення хімічного складу золи ячменю

Окремі іони (70-90%) знаходяться у зв'язаному стані з органічними сполуками.

Фосфорна кислота входить до складу фітину, фосфатидів, нуклеїнових кислот та ін.

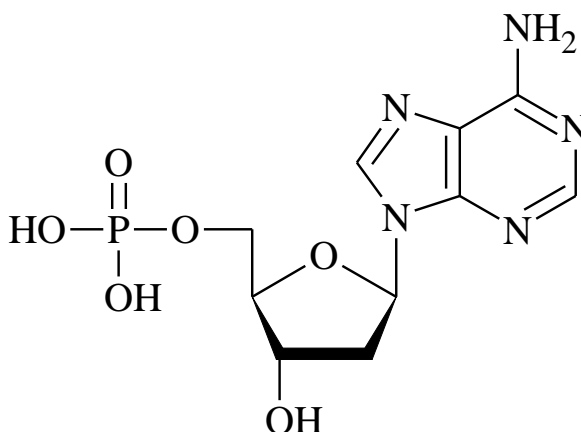


Рис. 3.1 Дезоксирибонуклеотид

Амонієві фосфати є сумішшю амонієвих солей різних фосфатидних кислот, що є продуктами взаємодії ортофосфорної кислоти з одним, двома або трьома залишками ацетилгліцеринів [44]. Загальна формула фосфатидів амонієвих представлена нижче.

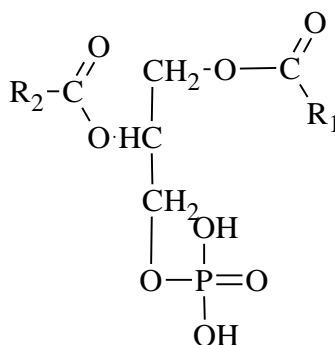


Рис. 3.2 Формула амонієвих фосфатидів

З органічних сполук звільнення фосфорної кислоти відбувається шляхом ферментативного гідролізу. З'єднання фосфорної кислоти мають

велике значення у створенні буферності сусла та пива, причому в зоні рН 7,07-5,67 діють буферні системи, утворені неорганічними фосфатами, а в зоні рН 5,67-4,27-фосфорні сполуки, що входять до складу фітіна.

Крем'яна кислота знаходиться головним чином в оболонці ячменю у зв'язаному стані з крохмалем (амілозою).

Кремнієва кислота побудована з тетраедричних структурних ланок (у кожній такій ланці атом кремнію знаходиться в центрі тетраедра, а по вершинах розташовані атоми кисню) [45].

Структурні ланки, об'єднуючись у ланцюги, утворюють більш стійкі полікремнієві кислоти:

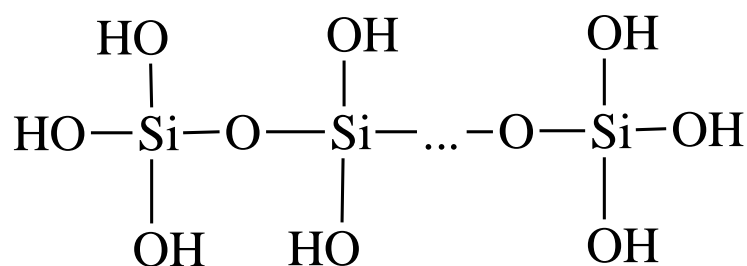


Рис. 3.3. Полікремнієві кислоти

Склад такої сполуки можна виразити формулою $(\text{H}_2\text{SiO}_3)_n$. Однак зазвичай кремнієву кислоту зображують формулою H_2SiO_3 . H_2SiO_3 -кислота дуже слабка, у воді мало розчинна.

При нагріванні легко розпадається аналогічно вугільній кислоті:

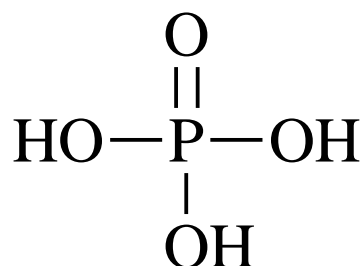


H_2SiO_3 -метакремнієва кислота; H_4SiO_4 -ортокремнієва кислота; $\text{H}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ -двометакремнієва кислота.

А.В. Андрющенко встановила, що з мікроелементів у ячмені у значній кількості (більше 11 мг на 100 г) містяться Fe, Zn, Сг, Са, Mn, Sn, Pb, Ni, Li, Al, Ag, Со, які, безперечно, мають велике значення у технології пивоваріння [46].

Фосфати є не лише основними складовими мінеральних речовин та їх сполук; їхня присутність у ячмінному зерні відіграє істотну роль в утворенні найважливіших органічних сполук (наприклад, фітину, нуклеїнових кислот,

коензимів, білкових речовин тощо). З цих сполук фосфати вивільняються при солодоращенні та пивоварінні.



Фосфат

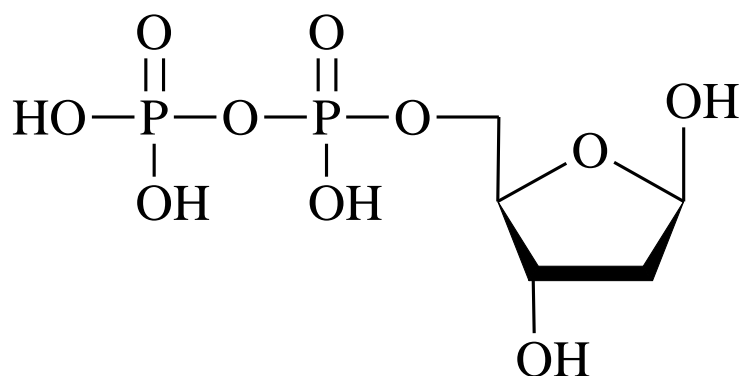


Рис. 3.4 2-Дезоксирибозо-5-дифосфат

Присутність фосфатів відіграє велику роль у багатьох технологічних процесах. Так, без фосфатів не може проходити спиртове бродіння, оскільки процеси, що протікають при цьому, хімічно "зав'язані" на фосфорну кислоту. Особливо багато силікатів знаходиться в оболонці ячмінного зерна, а також у крохмалі. Вони колоїдно-розчинні та виявляються у кожному помутнінні пива. Для приготування пива мають значення солі як мікроелементи, наприклад, солі цинку для бродіння [47]. Більшість солей потрапляє у пиво з ячменю. Середнє пиво (12%-не) містить близько 1600 мг мінеральних речовин та їх оксидів на літр. З них близько 400 мг надходить із води, а близько 1200 мг - із солоду (причому всі карбонати надходять у пиво з води).

2. Технологічна сутність фільтрування води

При русі води через сітки, тканини, пористі матеріали досягається витяг з неї завислих речовин. Процес здійснюється або на поверхні, або в глибині

матеріалу, що фільтрує. Поверхнєве фільтрування відбувається під час руху води через об'ємні елементи з пористих матеріалів значної товщини (патронні фільтри та фільтри з пористої кераміки); сітчасті або тканинні перегородки (фільтрування під тиском або вакуумом, мікрофільтрування); жорсткі проникні каркаси з попередньо нанесеним шаром, що фільтрує (намивні фільтри трубчастої, рамної або барабанної конструкції) [48].

Залежно від властивостей застосовуваних фільтруючих основ і домішок, що витягуються з води, процес фільтрування складається з наступних трьох явищ: відкладення, фіксації і відриву. Механізм відкладення буває двох видів: механічне затримання домішок, що витягуються, і відкладення зважених частинок у порах [49]. При механічному проціджуванні з води витягуються всі частинки, що перевищують розміри пор фільтруючої основи або пор, що формуються затриманими частинками, які самі утворюють шар, що фільтрує. При цьому чим менше розміри пор фільтруючої основи, тим більшим буде досягнутий ефект.

Фільтрування через пористу основу може супроводжуватися відкладеннями затриманих домішок на її поверхні або всередині.

Відкладення зважених речовин у порах фільтруючої основи відбувається, якщо їх розмір менший за розмір пор і траєкторія руху частинок призводить до їх контакту з поверхнею порових каналів [50]. Цьому сприяють: дифузія з допомогою броунівського руху; пряме зіткнення; інерція частинок; прилипання за рахунок ван-дер-ваальсових сил; осадження під впливом гравітаційних сил; обертальний рух під впливом гідродинамічних сил.

Фіксування частинок домішок води на поверхні та в порах фільтруючого матеріалу обумовлено малими швидкостями руху рідини, силами когезії та адсорбції.

При вилученні з води домішок води фільтруванням відбувається зменшення порового простору матеріалу, що фільтрує, внаслідок осадження частинок. Це спричиняє збільшення швидкості потоку та зміна його режиму: від ламінарного до турбулентного. У цьому випадку затримані частинки

домішок частково відриватимуться і переміщатимуться потоком глибше в пори матеріалу, що фільтрує, і навіть виноситися з фільтратом.

Вибір поверхневого чи об'ємного фільтрування обумовлений необхідною якістю фільтрату, властивостями води та її забруднень, а також економічними міркуваннями. Той чи інший вид фільтрування пов'язаний з певними капітальними та експлуатаційними витратами, які, у свою чергу, визначаються попередньою обробкою води, способами промивання апаратів, ступенем автоматизації процесу та способів контролю за ним.

Поверхнєве фільтрування може здійснюватися на тонких сітчастих перегородках, на пористих об'ємних елементах з твердих матеріалів або на жорстких каркасах з попередньо нанесеним фільтруючим шаром.

Фільтрування через сітчасті перегородки здійснюють на відкритих чи напірних апаратах (фільтрах). При цьому розрізняють три види фільтрування: макрофільтрування, при якому витягають з води частинки крупністю більше 150 мкм, мікрофільтрування - дістають частинки розміром 1...150 мкм і ультра-фільтрування - дістають частинки розміром 0,004...0,4 мкм [51].

Шляхом макрофільтрування (макропроціджування) через металеві перфоровані пластини або металеву дротяну сітку з розміром отворів більше 0,3 мм (барабанні сітки) отримують грубодисперсні домішки, плаваючі домішки, комахи, трави, водорості, гілки і т.п., що мають розміри 2 до кількох міліметрів. Макрофільтрування здійснюють на обертових макроситах і ситах із укріпленим скребком, що працюють з низькими втратами напору, і на нерухомих або обертових самоочисних ситах і механічних фільтрах, що працюють під тиском. Крупні макросита, що застосовуються в процесі підготовки питної води і води для зрошення, являють собою або горизонтально розташовані барабани, або сита, що обертаються, з безперервної сітки. Їх подача варіюється від кількох літрів до кубічних метрів за секунду.

Барабанні сітки (БС), що розміщуються на водозаборі або майданчику очисних споруд, до подачі у воду реагентів використовують для грубого

проціджування води. Розмір осередків сітки із нержавіючої сталі або полімерів $0,5 \times 0,5$ мм. Робоча сітка розміщується між підтримуючими сітками розміром отворів 10×10 мм. Інтенсивність фільтрування на БС приймають 25...62 л/с на 1 м^2 змоченої площі макросітки, так як барабан лише на $2/3$ діаметра занурений у воду. Витрата води на промивання барабанних сіток, що подається під тиском 0,2 МПа, становить до 0,5% добової витрати. Втрати напору макросітці становлять до 0,1 м.

Схема роботи апарату така. З бічного каналу вихідна вода через перфоровану частину співвісно розташованого порожнистого валу вводиться всередину барабана, що обертається, фільтрується через сітку і проникає в камеру, а далі через вікна відводиться в канал фільтрату. При засміченні сітки та досягненні максимального перепаду рівнів води автоматично включається промивний пристрій, який промиває смугу сітки на верхній барабані, що утворює [52]. Промивна вода збирається воронками і по глухій частині порожнистого валу відводиться за межі апарату.

Обертове сито являє собою ряд фільтрувальних полотен, що чергуються, виконаний з плетених металевих бронзових або сталевих прутів діаметром 0,25...1 мм, змонтованих на жорсткому каркасі з розміром осередків 0,3...3 мм. Добре сита становить 50...60%. Швидкість фільтрування стосовно площі сита, зануреної у воду, становить 0,35...0,4 м/с. Переважно фільтрувати оброблювану воду зсередини назовні, що полегшує промивання сітки та видалення затриманих домішок. Втрати тиску 0,2...0,5 м. вод. ст.

Для вилучення з води великих плаваючих частинок рекомендуються сита як нерухомої сталевий пластини з отворами 2...5 мм. Лікувані домішки видаляються скребком або щіткою, укріпленої на кінці ланцюга (для прямого похилого сита), або пристроєм, що обертається (для круглих сит); та скидаються до збірки. Плоскі сита доцільно розташовувати в каналах, що підводять, шириною до 2,5 м, втрати напору до 0,5 м. вод. ст.

Нерухомі або самоочисні сита, що обертаються, з розміром отворів 0,25...2 мм використовують для вилучення з води відносно великих суспензій.

Зазвичай нерухомі сита складаються з ґрат, виготовлених з тонких прутів, розташованих під змінним кутом і змонтованих в жорсткій рамі. Пруття може бути круглого, прямокутного чи трикутного перерізу. Вода, що обробляється, подається у верхню частину сита, а осад безперервно видаляється з поверхні сита спеціальним пристроєм [53].

Сита, що обертаються, складаються з циліндричної решітки з горизонтальною віссю обертання. Ґрати утворюються сталевими прутами трапецеїдального профілю. Сито повільно обертається із лінійною швидкістю 0,1...0,3 м/с. Домішки, що затримуються, залишаються на решітці і знімаються з неї нерухомим скребком. Обертів та нерухомі сита розраховані на подачу води до 1 тис. м³/год, допустимі втрати напору 2 м вод. ст.

За кордоном для глибокого освітлення води широко використовують механічні напірні фільтри: циклонні, що обертаються зі знімними фільтрувальними елементами з порцеляни або сталі (розмір отворів 0,1...1,6 мм), та автоматичні фільтри з безліччю фільтрувальних трубок з отворами 125 мкм та більше і промивним пристроєм, що обертається [54].

Основна мета мікрофільтрування - видалення планктону, що міститься у поверхневих водах. При цьому, звичайно, видаляються зважені частинки великого розміру і частинки рослинної тварини, що містяться у воді. Залежно від зміни витрат води та здатності частинок, що містяться в ній, забивати фільтрувальні сітки використовують різні пристрої для регулювання швидкості обертання барабана та один або кілька рядів промивних форсунок.

Оптимальні результати ефективності мікрофільтрування досягаються шляхом підтримки більш менш постійних витрат напору, обумовлених частковим забиванням сіток затриманими частинками. Ефективність роботи установки обмежена декількома факторами: промита фільтрувальна сітка не забезпечує належного затримання на початку фільтроцикла та ступінь очищення при цьому визначається лише розмірами осередків; планктон ніколи не видаляється повністю. Він може знову розмножуватися, якщо підвищиться температура води; яйця деяких нижчих ракоподібних можуть легко проходити

через фільтрувальну сітку та розвиватися, внаслідок чого в наступних резервуарах можуть бути виявлені видимі неозброєним оком організми; через небезпеку корозії фільтрувальної сітки або її підкладки не можна застосовувати попереднє хлорування води перед мікрофільтрами; поверхня мікрофільтрів має бути досить велика, щоб забезпечити видалення великої кількості планктону, що розвивається у певні періоди року. Якщо вона мала, то в періоди інтенсивного розвитку планктону та під час паводків продуктивність водоочисного комплексу може значно знизитися [55].

Металеві або пластмасові фільтрувальні сітки в більшості випадків мають розміри осередків від 20 до 40 мкм та у виняткових випадках 10 мкм. Чим менший розмір осередків, тим більше має бути площа поверхні мікрофільтра. Так, при розмірі осередків 35 мкм швидкість фільтрування повинна бути не більше 35 м/год у розрахунку на загальну площу поверхні мікрофільтра (50 м/год у перерахуванні на занурену поверхню мікрофільтра), а в розрахунку на пікову концентрацію завислих речовин – 10 м/год. .

Ефективність зниження вмісту завислих речовин у результаті мікрофільтрування становить 50...80%, у середньому близько 65%. Для порівняння відзначимо, що добре працюючий відстійник забезпечує зниження вмісту завислих речовин на 80...90% без попереднього хлорування та на 95...99% з попереднім хлоруванням.

Мікрофільтри (МФ) конструктивно нічим не відрізняються від барабанних сит, за винятком розмірів сітки, натягнутої по утворює барабана. Швидкість обертання барабана МФ приймається 0,1...0,5 м/с. Барабани МФ занурюють у воду діаметра $\frac{2}{3}$ камеру, яка призначена для збору фільтрату.

Інтенсивність фільтрування призначається в межах 10...25 л/(с·м²) корисної площі мікросітки, зануреної у воду [56].

Дослідження В.Ф. Соколова, Я.Я. Кару показали, що мікрофільтри затримують до 75% діатомових та до 95% синьо-зелених водоростей, і до 100% затримується зоопланктон. Мікрофільтри доцільно використовувати при вмісті фітопланктону більше 1000 клітин 1 см³ вихідної води.

3. Опис роботи фільтр-преса

Основним робочим органом будь-якого фільтра є перегородка, що фільтрує. Остання може бути одинарною з різних тканин - бязь, бельтинг, лавсан, нейлон і спеціальний капрон, керамічні та металеві матеріали - або складатися з двох шарів - один шар тканини та інший шар осаду із зважених ущільнених частинок. Ущільнений шар, або осад, що утворюється в більшості випадків при фільтруванні полідисперсних суспензій, частинки суспензії яких тиксотропні, є основним робочим органом фільтра.

У процесі фільтрування товщина шару осаду та його гідравлічний опір збільшуються. Виходячи з цього, процес фільтрування ведуть двома способами: при постійному тиску середовища, що фільтрується, що надходить на процес (при цьому зменшується швидкість фільтрування); при постійній швидкості фільтрування та змінному зростаючому тиску.

Існують різні конструкції фільтрів, що працюють періодично та безперервно. У харчовій промисловості використовуються переважно фільтри періодичної дії. Найбільш поширений у харчовій промисловості фільтр-прес, який використовується для тонкого очищення води [57].

Фільтр-прес П Р 19,5 - 565×60/13С призначений для тонкого очищення води і складається з станини 1, на якій змонтовані задня упорна плита 2, передня натискна плита 3 і 4 плити встановлені на два горизонтальних стрижня 5.

Насос 6, що нагнітає воду в канал 7, наводиться в рух електродвигуном 8. Натискна плита 3 переміщається гвинтом 9 за допомогою маховика 10. Ущільнення плит 4 виробляється гвинтом 9 за допомогою важеля 11 або механічним приводом. Зібрані в пакет плити з розміщеними між ними пластинами, що фільтрують, щільно стискаються. При цьому фільтрують пластини ділять зазор між двома плитами на дві частини, що досягається завдяки ребристій поверхні плит. Тому розрізняють парні та непарні відсіки. Якщо вихідна вода надходить у парний відсік, очищена вода виходитиме з непарного відсіку.

Кожна плита має по два фасонні припливи з отворами. Ці припливи розташовані у двох кутах парних плит з одного боку, у непарних плитах – з протилежного боку. Таким чином, при зборі плит у пакет створюються два канали в парних і два канали в непарних плитах, з'єднаних з порожнинами, утвореними кожною парою плит з розділюючою їх фільтруючою пластиною [58].

При роботі фільтра вода, що фільтрується, нагнітається в канали парних плит, потім через отвори в них надходить у відсіки для вихідної води і під тиском проходить через фільтруючі пластини, при цьому частинки суспензій затримуються, а очищена вода потрапляє у відсіки для кінцевої очищеної води, потім по двох каналах непарних пластин виходить із фільтра до збірки для очищеної води.

Таблиця 3.1 . **Технічна характеристика фільтр-преса**

Продуктивність, дав/год	950
Площа поверхні, що фільтрує, м ²	20,5
Максимальний тиск фільтрування, МПа	0,95
Потужність, кВт	5,5
Габаритні розміри, мм	2950x1090x1240
маса, кг	1575

Пластинчастий (камерний) фільтр-прес складається з ряду рифлених плит, поміщених між задньою наполегливою та передньою натискною плитами. Плити своїми ручками упираються на поздовжні опорні балки. Плити відлиті із силуміну, поверхню покривають захисним шаром.

Фільтруючим елементом камерних фільтрів є фільтрувальний картон, розміщений між плитами. Ущільнення між плитами створюють затискаючи набір плит за допомогою ручного затиску. Набір плит у затиснутому стані утворює ряд камер, кожна з яких розділена на дві половини матеріалом, що фільтрує [59].

У верхньому та нижньому кутах кожної плити є два припливи з отворами для отримання після збирання загальних каналів, повідомлених з рифленими порожнинами з обох боків плити. Товщина припливу дорівнює

двом товщинам тіла плити. При збиранні фільтр-преса плити укладають так, щоб припливи сусідніх плит розташовувалися по різні боки фільтр-преса. У зібраному фільтр-пресі утворюються чотири загальні канали; по двох із них - верхньому і нижньому - з одного боку фільтр-преса подається неочищена вода, по двох інших, розташованим на протилежному боці, - відводиться очищена вода.

Контактні (привалювальні) поверхні плит ущільнені фільтрувальним матеріалом, а каналів – спеціальними гумовими прокладками.

Вода в фільтр-пресі фільтрується через пористу перегородку і шар осаду, що поступово накопичується. Подачу неочищеної води перегородку здійснюють під тиском насосом, встановленим на рамі фільтр-преса.

Неочищена вода, проходячи каналами через отвір у нижній частині плит, розподіляється по напірних камерах, продавлюється через фільтр-картон, надходить у канали для очищеної води, а звідти у відповідний водопровід і збірник.

Для збирання крапель води, що просочуються через фільтрувальний картон, під набором плит змонтовано піддон.

Фільтр-прес має необхідну запірну арматуру. Контроль за роботою фільтр-преса ведуть за допомогою пробно-спускових краників, ліхтарів та манометрів. Апарат забезпечений чотирма домкратами для стійкості при стаціонарній роботі.

При підготовці до роботи на спеціальному столі збирають фільтрувальні секції, потім надягають їх на порожнистий вал і закріплюють затискною гайкою. Дно закривають і затягують за допомогою рим-болтів. Для герметизації під днище підкладають гумову прокладку. Після цього можна розпочати процес [58].

Після того, як перепад тиску на фільтрі досягне 0,18 МПа, процес фільтрації припиняють і приступають до миття фільтра. Для цього воду із внутрішньої порожнини випускають через нижній кран, з'єднують корпус фільтра з компресором і повітряним тиском відфільтровують залишок води до

рівня порожнистого валу. Залишок води нижче рівня порожнистого валу витісняють стисненим повітрям через корковий кран, розміщений у нижній частині днища, що знімається. Корпус фільтру заповнюють наполовину водою. Включають електродвигун, з'єднаний з редуктором, і чохла, що обертаються в чистій проточній воді протягом 30-40 хвилин, повністю промиваються. Після промивання подачу води припиняють і залишок її з корпусу зливають через той же кран у днище. Потім включають компресор, який через порожнистий вал подає протягом 20-30 хвилин у чохла повітря для просушування.

При використанні таких фільтрів як намивні між плитами закладаються спеціальні рами з рідкими перегородками або без них, призначені для збільшення простору перед фільтраційною пластиною; для намивного шару [59].

Як фільтруючі пластини в пластинчастих фільтрах застосовують картон марок Т і Ш. Продуктивність картону марки Т на 25-30% вище, ніж картону марки Ш. Для стерилізуючої фільтрації служать вітчизняні пластини СФ, з недавнього часу вітчизняна промисловість випускає також пластини КТФ-1, КТФ-2, КОФ-3.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розрахунок фільтр-преса

Визначити необхідну кількість фільтр-пресів для тонкого очищення $Q = 4 \text{ м}^3/\text{год}$ водної суспензії, товщину осаду в рамі фільтра, а також тривалість фільтрування та промивання, якщо тиск $p = 3,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$, питомий опір осаду $\rho_{oc} = 0,9 \cdot 10^{12} \text{ м/кг}$, щільність фільтрованої водної суспензії $\rho_{\phi} = 1050 \text{ кг/м}^3$, щільність сухого осаду $\rho_{oc} = 2500 \text{ кг/м}^3$ динамічний коефіцієнт в'язкості фільтрованої води $\mu = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$, концентрація сухої речовини у водній суспензії $z_1 = 0,1 \text{ кг/кг}$ і в осаді $z_2 = 0,9 \text{ кг/кг}$, число шарів осаду, що одночасно промиваються $n_c = 2$, початкова концентрація розчинної речовини в промивній рідині $\beta_n = 5 \%$ і кінцева $\beta_k = 0,1\%$, константа промивання $k_{пр} = 3$, опір перегородки, що фільтрує $R = 1,065 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1}$, площа поверхні фільтрування $F_{\phi} = 50 \text{ м}^2$, допоміжний час $\tau_E = 0,5 \text{ ч}$. Кількість твердої фази осаду:

$$m_{oc} = \frac{\rho_{\phi}}{\frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_2}} \quad (4.1)$$

де ρ_{ϕ} - щільність водної суспензії, що фільтрується, кг/м^3 ;

c_1 - концентрація сухої речовини у водній суспензії, кг/кг ;

c_2 - Концентрація сухої речовини в осаді, кг/кг .

$$m_{oc} = \frac{1050}{\frac{1}{0,1} - \frac{1}{0,9}} = 118 \text{ кг/м}^3$$

Об'єм вологого осаду в 1 м^3 фільтрату:

$$V_1 = \frac{m_{oc}}{\rho_{oc} \cdot c_2} \quad (4.2)$$

де m_{oc} - кількість твердої фази осаду кг/м^3 ;

ρ_{oc} - щільність сухого осаду кг/м^3 ;

c_2 - Концентрація сухої речовини в осаді, кг/кг .

$$V_1 = \frac{118}{2500 \cdot 0,9} = 0,052 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Константи рівнянь фільтрування та промивання:

$$b_1 = \frac{\mu \cdot \rho_{oc} \cdot m_{oc}}{2 \cdot p \cdot 3600} \quad (4.3)$$

де μ - динамічний коефіцієнт в'язкості води, що фільтрується, Па·с;

r_{oc} - питомий опір осаду М/кг;

m_{oc} - кількість твердої фази осаду кг/м³;

p - Тиск, Па.

$$b_1 = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9 \cdot 10^{12}}{2 \cdot 3,5 \cdot 10^4 \cdot 3600} = 526 \text{ Ч/м}^2$$
$$A = \frac{k_{np}}{\ln\left(\frac{\beta_n}{\beta_k}\right)} \quad (4.4)$$

де β_n - початкова концентрація розчинної речовини у промивній рідині,
%;

β_k - і кінцева концентрація розчинної речовини у промивній рідині, %;

k_{np} -Константа промивання.

$$A = \frac{3}{\ln\left(\frac{5}{0,1}\right)} = 0,77$$
$$b_2 = \mu \cdot r_{oc} \cdot m_{oc} \cdot V_1 \cdot n_c^2 \cdot (A \cdot p \cdot 3600) \quad (4.5)$$

де μ - динамічний коефіцієнт в'язкості води, що фільтрується, Па·с;

r_{oc} - питомий опір осаду М/кг;

m_{oc} - кількість твердої фази осаду кг/м³;

n_c -число шарів осаду, що одночасно промиваються; p -Тиск, Па

$$b_2 = 1,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9 \cdot 10^{12} \cdot 118 \cdot 2^2 \cdot (0,77 \cdot 3,5 \cdot 3600) = 284,6 \text{ Ч/м}^2$$
$$k_1 = b_1 + b_2 \quad (4.6)$$

де b_1 - b_2 константи рівнянь фільтрування.

$$k_1 = 526,8 + 284,6 = 811,4 \text{ Ч/м}^2$$
$$k_2 = 2b_1 + b_2 \quad (4.7)$$

де b_1 - b_2 константи рівнянь фільтрування.

$$k_2 = 2 \cdot 526,8 + 284,6 = 1338,2 \text{ Ч/м}^2$$

Умовний об'єм фільтрату, що відповідає опору фільтруючої перегородки:

$$V_0 = \frac{R}{r_{oc} \cdot m_{oc}} \quad (4.8)$$

де R - опір фільтруючої перегородки, м^{-1} ; $r_{\text{ос}}$ - питомий опір осаду $\text{м}^2/\text{кг}$;
 $m_{\text{ос}}$ - Кількість твердої фази осаду, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$V_0 = 1,065 \cdot \frac{10^{10}}{0,9 \cdot 10^{12} \cdot 118} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{м}^2$$

Максимальна продуктивність фільтр-преса при тонкому очищенні води:

$$Q_{\text{max}} = \frac{F_{\phi}}{2\sqrt{k_1 \cdot \tau_B \cdot k_2 \cdot V_0}} \quad (4.9)$$

де F_{ϕ} - Площа поверхні фільтрування;

k_1 і k_2 - константи рівнянь промивання;

τ_B - Допоміжний час;

V_0 - умовний обсяг фільтрату, що відповідає опору фільтруючої перегородки

$$Q_{\text{max}} = \frac{50}{2\sqrt{811,4 \cdot 0,5 \cdot 1338,8 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}} = 1,237 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Необхідна кількість фільтр-пресів:

$$n = \frac{Q}{Q_{\text{max}}} \quad (4.10)$$

де Q - продуктивність фільтр-преса при тонкому очищенні води $\text{м}^3 / \text{ч}$;

Q_{max} - максимальна продуктивність фільтр-преса при тонкому очищенні води $\text{м}^3 / \text{ч}$;

$$n = \frac{4}{1,237} = 3,24 \approx 4$$

Мінімальна продуктивність циклу роботи фільтра:

$$\tau_{\text{ц min}} = 2\tau_B + k_2 \cdot V_0 \cdot \sqrt{\frac{\tau_B}{k_1}} \quad (4.11)$$

де V_0 - умовний обсяг фільтрату, що відповідає опору фільтруючої перегородки;

k_2 - Константа рівнянь промивання;

τ_B - Допоміжний час.

$$\tau_{ц \min} = 2 \cdot 0,5 + 1338,2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{0,5}{811,4}} = 1,003 \text{ ч}$$

Мінімальний питомий об'єм фільтрату, отриманий під час фільтрації:

$$V_{\min} = \sqrt{\frac{\tau_B}{k_1}} \quad (4.12)$$

де τ_B -допоміжний час; k_1 -Константа рівнянь промивання.

$$V_{\min} = \sqrt{\frac{0,5}{811,4}} = 0,025 \text{ м}^3/\text{м}^2$$

Тривалість фільтрації:

$$\tau = \tau_B \cdot \frac{b_1}{k_1} \quad (4.13)$$

де τ_B -допоміжний час;

k_1 -Константа рівнянь промивання; і

b_1 - Константи рівнянь фільтрування.

$$\tau = 0,5 \cdot \frac{526,8}{811,4} = 0,325 \text{ ч}$$

Тривалість промивання:

$$\tau = \tau_B \cdot \frac{b_2}{k_1} \quad (4.14)$$

де τ_B -допоміжний час;

k_1 -Константа рівнянь промивання; і

b_2 - Константи рівнянь фільтрування.

$$\tau = 0,5 \cdot \frac{284,6}{811,4} = 0,175 \text{ ч}$$

Товщина осаду в рамі фільтра:

$$\delta = 2V_1 \cdot V_{\min} \quad (4.15)$$

де V_{\min} -мінімальний питомий обсяг фільтрату, отриманий за час фільтрації;

V_1 -Об'єм вологого осаду в 1 м³ фільтрату.

$$\delta = 2 \cdot 0,052 \cdot 0,025 = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

. Порівняльний аналіз фільтрів для очищення води

Патронні фільтри знаходять широке застосування для контрольної фільтрації соку I сатурації, фільтрації соку II сатурації, фільтрації сиропу з клерівкою та для відокремлення від рафінадних сиропів нерозчинних домішок [60].

Відомі конструкції патронних фільтрів з тканинною, дротяною опорною поверхнею фільтруючих елементів та фільтрів з керамічними фільтруючими елементами. Останні виявилися недосконалими в експлуатації внаслідок забруднення пір фільтруючих елементів та частої складної регенерації їх за допомогою кислотних розчинів. До недоліків керамічних фільтрів відноситься також крихкість елементів, що фільтрують, що вимагає ретельного складання і розбирання їх. Найбільшого поширення у промисловості знайшли патронні фільтри з дротяною опорною поверхнею фільтруючих елементів типу ПФ-10 та ПФ-20.

Принцип дії всіх фільтрів однаковий. Відрізняються вони один від одного конструкцією фільтруючих елементів (патронів) та встановленням їх у корпусі фільтра. Всі вони є фільтрами періодичної дії, що працюють під тиском, що мають невеликий гідравлічний опір і високу швидкість фільтрації, що досягає соків до $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ і для сиропів - до $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Типовими фільтрами для фільтрації продуктів цукробурякового та рафінадного виробництв прийняті фільтри з дротяною поверхнею фільтрації типу ПФ-10 та ПФ-20 [61].

Патронний фільтр ПФ-20 (рис.1) складається з циліндричного корпусу 9, конічного днища 15, опуклої кришки 4, на якій встановлені рим-болти 3, і плити 7, в якій закріплюються патрони 10 притисками 22. У нижній частині патрони встановлюються в отвори решітки 12.

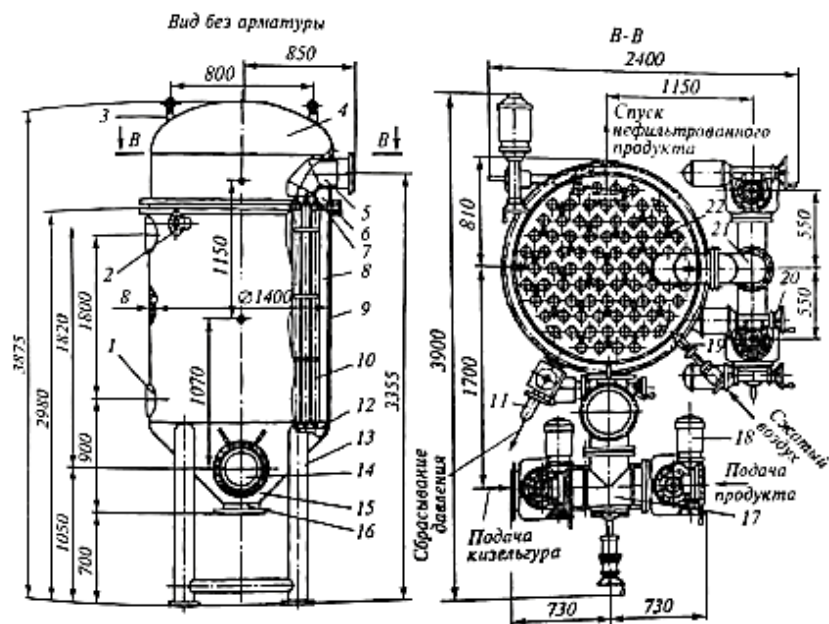


Рис. 4. 1. Патронний фільтр ПФ-20

Плита встановлюється за допомогою ущільнень між фланцями циліндричного корпусу та опуклої кришки та утворює дві камери фільтра. У нижню камеру 8 за допомогою колектора 17, приєднаного до патрубку 14, підводяться кизельгурна суспензія, продукт, що фільтрується, і промивна вода. З камери через 6 колектор 21, приєднаний до патрубку 5, відводяться рідка фаза кизельгурної суспензії, фільтрат і промою [62]. Крім того, для підведення повітря у верхню камеру встановлений вентиль 19, а в нижню - патрубков 2. Скидання повітря з нижньої камери здійснюється через трубу 11. Для спостереження за станом внутрішньої частини нижньої камери встановлено оглядове скло 1. Видалення промитого осаду здійснюється через патрубков 16. Фільтр встановлений на трубчастому каркасі 13. Для управління процесом фільтрації є засувки з електродвигунами 18 і маховиками 20.

Повний цикл роботи фільтрів включає наступні стадії намівання кизельгура, повернення перших каламутних порцій фільтрованого продукту, фільтрація, витіснення нефільтрованого продукту, промивання осаду і видалення осаду. В експлуатації фільтри повністю автоматизовані.

На цукрорафінадних заводах патронні фільтри використовують для відокремлення осаду від розчинів рафінадного виробництва.

Фільтруючий патрон ПФ-20 (рис.2) складається з трьох фільтруючих елементів 4 і опорного патрубку 2, які за допомогою стяжки 3, шайби 5, 7 планки і гайок 6 скріплюються жорстко. Патрони в зібраному стані встановлюються в отвори плити 7 і затискаються притиском 9, якою встановлюються на шпильці 8.

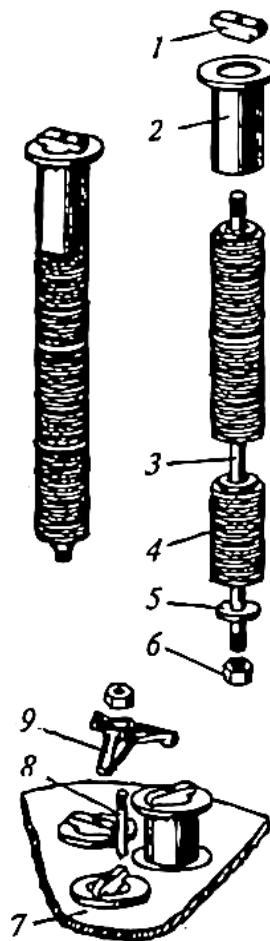


Рис. 4. 2. Патрон фільтрувальний ПФ-20

Щоб патрони не відхилялися від вертикальної осі, нижня частина стяжки кожного патрона встановлюється в отвір дротяного каркаса, розташованого в низу циліндричного корпусу фільтра [63].

Фільтруючий елемент патрона представлений на рис.3. Каркас елемента виготовляється з нержавіючої сталі і складається з нижньої 2 і верхньої б

втулок, до яких приварені куточки 5. Для жорсткості каркаса куточки приварені до 3 кільцям розташованим по висоті на відстані 40 мм один від одного.

Опорним шаром для кизельгура і осаду є дротяна 4 щільна поверхня каркасу елементів. Утворюється вона шляхом нарізування канавок на гострих виступах куточків з кроком 0,8 мм, а потім навивкою дроту з нержавіючої сталі діаметром 0,7 мм.

При вищевказаних розмірах кроку різьблення та дроту розмір щілин дорівнює 0,1 мм. Загальна площа поверхні фільтрації одного патрона становить $0,241 \text{ м}^2$. Для збереження паралельності та вертикальності труб хвостовики 17 набойів встановлюються в отвори решітки 16, виготовленої з нержавіючої дроту. Грати кріпляться до хвостовиків патронів за допомогою додаткових гайок.

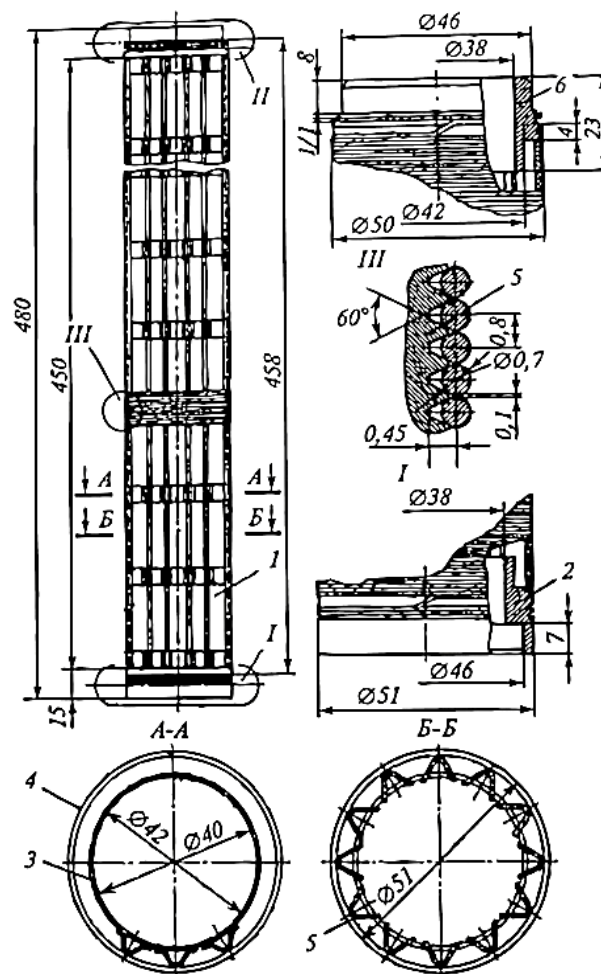


Рис. 4.3. Фільтруючий елемент патрона

Плита затискається між фланцями 3 і корпусу 6 2 фільтра і кришки за допомогою болтів. Ущільнення між верхньою та нижньою частиною фільтра створюється прокладками 4 та 7. Фільтрований сік спрямовується всередину патрона і виходить із верхньої частини.

Патронні фільтри встановлюються на підлозі другого поверху поблизу стіни з таким розрахунком, щоб здійснювати кріплення трубопроводів на стіні. Проходи між фільтрами та стіною повинні бути не менше 1500 мм. Над батареєю фільтрів рекомендується встановлювати монорейку з пристроєм для зняття кришок та плит з фільтруючими елементами [63].

Для монтажу та демонтажу фільтруючих елементів у плитах фільтрів необхідно мати спеціальні підставки заввишки не менше 1800 мм.

Збірник нефільтрованого соку перед фільтрами необхідно забезпечити поплавцевим пристроєм для вказівки рівня соку в ньому. На трубопроводі, що підводить сік у фільтр, встановити витратомір, з лічильником. Корпус фільтра та трубопроводу повинні бути ізольовані.

Після монтажу фільтрів вся установка має бути випробувана гідравлічним тиском 0,4 МПа.

У процесі фільтрації не можна допускати з'єднання шару осаду, що утворився на окремих фільтруючих елементах, так як при промиванні осаду зворотним струмом рідини через великий опір можуть руйнуватися елементи, що фільтрують [64].

Необхідно стежити за тиском у комунікаціях, що підводять нефільтрований продукт у фільтр, який має бути постійним. У разі коливань тиску продукту, що надходить, шар осаду на фільтруючих елементах може давати тріщини, що негативно позначається на якості фільтрату або осад буде сповзати з поверхні фільтруючих елементів.

При експлуатації фільтрів з керамічною поверхнею фільтрації необхідно для розведення кізельгуру застосовувати чисту воду, а також не допускати попадання олії на кераміку. Забруднена вода та масло закупорюють пори керамічних елементів, і фільтр швидко виходить з ладу.

У процесі експлуатації часто можуть бути такі ненормальності: виходить мутний фільтрат або значно підвищується тиск у фільтрі. У першому випадку найчастіше пошкоджена поверхня фільтрації окремих патронів. Необхідно зупинити фільтр, зняти верхню кришку та за допомогою шланга подавати у патрони воду. Патрони, у яких вода проходить дуже швидко, мають пошкоджену поверхню, їх необхідно замінити [65].

Патронні фільтри мають значні недоліки: вимагають постійного тиску в період нанесення допоміжного шару, що фільтрує, застосування стисненого повітря для підтримки осаду в період спуску нефільтрованого соку перед промиванням осаду, подачі повітря всередину фільтруючих елементів при видаленні осаду.

Дискові фільтри типу ФД

Дискові фільтри типу ФД є фільтрами періодичної дії, де фільтрація проводиться під тиском. Поверхня фільтрації являє собою диски, встановлені на підлозі валу, що обертається. Промитий осад видаляється гідравлічним способом. Застосовуються вони фільтрації соку I і II сатурації.

Порівняно з фільтр-пресами вони мають такі переваги: полегшують умови праці, скорочують витрати робочої сили, зменшують витрату фільтрувальної тканини та забезпечують отримання чистого фільтрату, що не потребує контрольної фільтрації [66].

У вітчизняній цукровій промисловості застосовуються дискові фільтри типів ФД-80, ФД-100 та ФД-150.

Дисковий фільтр ФД-100 (рис.4) складається з наступних основних вузлів: корпусу фільтра 24, трубувала 7, фільтруючих елементів, приймача соку 28, соплового пристрою 23, лопатевого упала 12 для видалення осаду, приводу 11, трубувала та приводу 18 лопа, кронштейна конічного 2, відвідної труби з контрольного елемента 4, трубки колекторної 5, люків 6, днища 8, сальникових ущільнень 9, черв'ячної передачі 10, вирізів 13, стійки 14, рами

16, штуцера 12, труби 21, затиску 22, збірника 25, опори 26, відвідної трубки 27, труби витяжний 29.

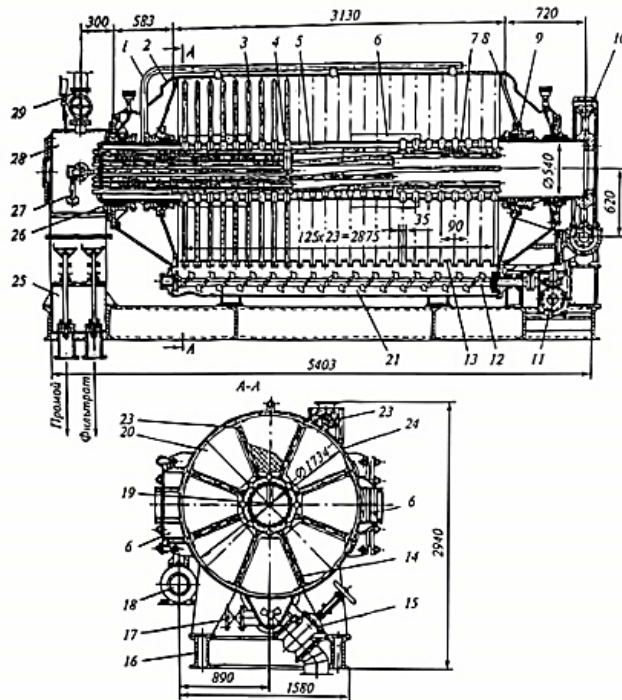


Рис.4. 4. Дисківий фільтр ФД-100

На корпусі фільтра у верхній частині розташована труба 1 для циркуляції нефільтрованого соку, на якій встановлений запобіжний вентиль 15. По цій трубі також підводиться стиснене повітря всередину фільтрату для витіснення соку перед промиванням осаду.

Цикл фільтрації на даному фільтрі складається з наступних операцій: фільтрації соку через елементи дисків 3 з відкладенням осаду на поверхні елементів знецукровування осаду з отриманням промою, видалення осаду та фільтра за допомогою струменів води.

При використанні фільтра для фільтрації соку I сатурації застосовуються методичне промивання осаду та гідравлічне видалення його з поверхні елементів, що фільтрують.

На деяких цукрових заводах дисківі фільтри використовуються для фільтрації соку II сатурації. У цьому випадку правила обслуговування фільтрів залишаються такими ж, але необхідно врахувати наступне при їх встановленні.

Робота фільтрів ведеться без промивання осаду, а останній після гідравлічного змиву сопловими пристроями за допомогою фільтрованого соку I або II сатурації прямує на переддефекацію через насос рециркуляційного соку. Тому при встановленні фільтрів необхідно передбачити комунікації для підведення соку та відведення змитого осаду, а комунікації аміачної води та стиснутого повітря до фільтрів не підводяться [67].

Фільтруючий елемент (рис.5) складається з жолобчастого каркаса 5, тришарової сітки 4, що є опорною основою для полотна 11. У нижній частині каркаса вварений штуцер 7, який встановлюється в конусному отворі втулки 6, трубувала 9. Таким чином, внутрішня 3 з'єднується з колекторною трубою 10 для відведення фільтрату. Штуцер має ущільнення 8.

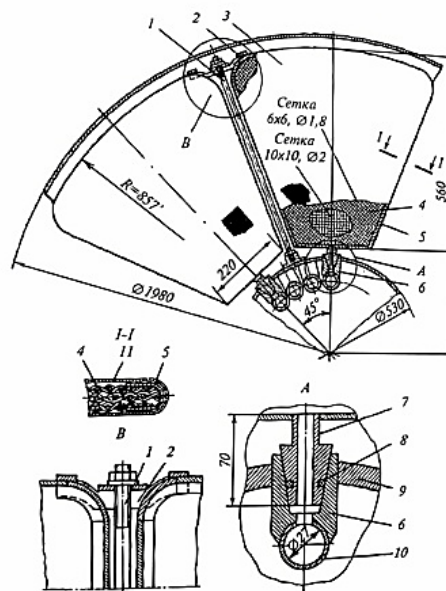


Рис. 4. 5. Фільтруючий елемент дискового фільтра

Елемент зміцнюється на трубовалі 9 за допомогою радіально розташованих шпильок. Шпильки загвинчені одним кінцем у приварені майданчики до трубовалу, а іншим кінцем з'єднані з дугоподібними жолобчастими накладками 2, які за допомогою гайок притискають елементи до валу.

На елементи надягає фільтрувальна тканина в один шар. Як тканина застосовується паперове полотно типу бельтинг або тонка капронова тканина масою не менше 400 г/м^2 .

З фільтрувальної тканини задалегідь зшиваються мішки подвійним швом за розмірами рамки з урахуванням усадки тканини, але одна сторона мішка залишається незащитою. Потім елемент вставляється у вивернутий мішок, і бічна сторона його зашивається подвійним швом, а штуцер, що виступає, щільно обшивається і обмотується тасьмою [68].

При монтажі фільтрів необхідно дотримуватися наступного:

а) фільтруючі елементи на трубовалі повинні бути встановлені перпендикулярно до осі валу з однаковими проміжками між суміжними дисками. Биття елементів в окремих дисках не допускається понад 3...4 мм;

б) осі сопел соплової труби повинні бути паралельні площині дисків і знаходитись на однаковій відстані від поверхні суміжних дисків;

в) площа сита в пастці для води, що надходить у сопла, повинна бути не менше 1 м^2 а отвори в ситі повинні мати діаметр 1,5 ... 2,0 мм;

г) для ручної змивки залишків осаду з фільтруючих елементів необхідно мати брандспойт з насадкою діаметром 12 мм.

У період експлуатації фільтрів необхідно виконувати наступне:

а) один раз на зміну проводити огляд фільтра з відкриттям люків. При виявленні частини осаду після видалення його на окремих дисках його необхідно змити за допомогою ручного брандспойта;

б) перевірити стан форсунок соплової труби. Для цього необхідно повернути соплову трубу на 90° за рукоятку, відкрити пробки на корпусі соплової труби і через лючки перевірити стан отворів отворів сопел, у разі необхідності почистити їх. Якщо перевірка сопел проводиться при заповненому фільтрі, перед перевіркою необхідно зняти тиск із фільтра;

в) якщо з окремої колекторної трубки виходить каламутний сік, необхідно зупинити фільтр, зняти тиск із фільтра та заглушити трубку. При черговій зупинці фільтра змив осаду перевіряють стан елементів, підключених

до цієї колекторної трубки. При перевірці на кінець трубки, що виходить у приймач соку, надягають насадку зі шлангом, кінець якого приєднують до водяної комунікації з тиском не більше 0,15 МПа. Оглядаючи цю секцію через люк корпусу фільтра, можна легко визначити пошкоджений фільтруючий елемент за величиною струменя води, що виходить з нього;

г) при тривалих інтервалах між змивом осаду чергових фільтрів необхідно насос змивної води та зупиняти компресор;

д) періодично, у міру засмічення фільтрувальної тканини, її необхідно регенерувати, використовуючи при цьому кислотну установку для випарної станції.

Перед регенерацією нутроші фільтра слід ретельно промити гарячою водою, а елементи очистити щітками. Після регенерації внутрішню частину фільтра та тканину елементів промити водою.

ВАКУУМ-ФІЛЬТРИ

Незалежно від того, яке обладнання застосовується для згущення осаду соку I сатурації, від осаду відокремлюється рідка фаза і осад промивається. має перевищувати 0,045...0,048 МПа. Таким чином, перепад тиску, при якому здійснюється фільтрація на вакуум-фільтрах, у 4...5 разів менший, ніж на фільтрах Циклічної дії. Тому товщина шару осаду на барабанах фільтрів допускається не більше 10...12 мм, а для швидкого зростання товщини шару осаду на фільтруючій поверхні фільтра суспензія, що надходить на фільтрацію, повинна містити сухих речовин не менше 20% [69].

Застосовуються вакуум-фільтри камерного типу та безкамерні.

На Рис.6, а показана принципова схема роботи камерного вакуум-фільтра. У корпус фільтра 7 подається згущена суспензія соку I сатурації, в яку занурений барабан, що обертається 2. Поверхня барабана розділена на окремі секції перегородками 3. Кожна секція трубками 5 з'єднана з рухомою головкою 6 фільтра. Головка має отвори, кількість яких відповідає барабану.

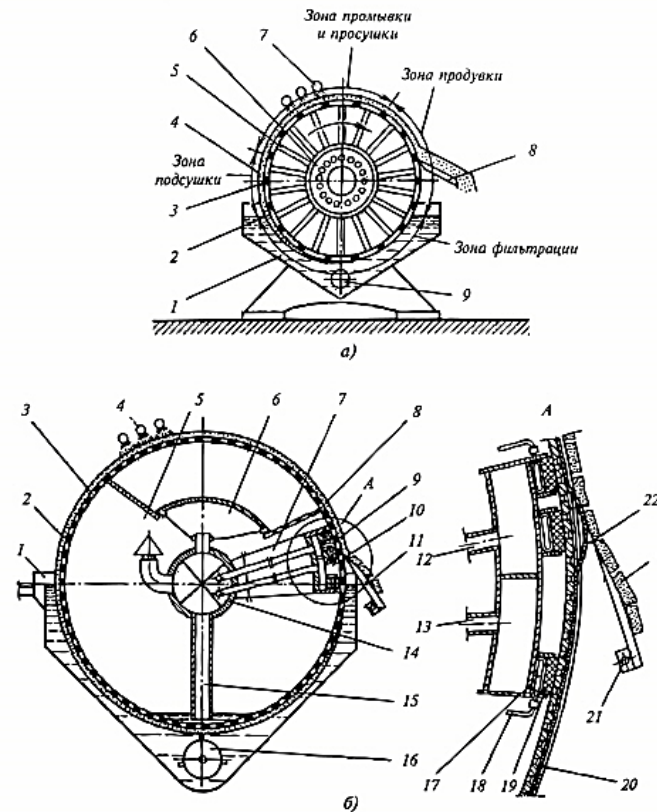


Рис. 4. 6. Схеми вакуум-фільтрів: а - камерного; б - безкамерного

Секції покриваються опорною поверхнею, яку накладається полотно. Полотно натягується і закріплюється дротом із нержавіючої сталі діаметром 2...3 мм за допомогою спеціальних пристроїв.

Зверху над барабаном вакуум-фільтра розташовані форсунки 7 для промивання осаду 4. Для видалення осаду з барабана вакуум-фільтра встановлений ніж 8. У корпусі фільтра є мішалка 9 для змочування осаду.

Для відведення фільтрованого соку, промивання та підведення стисненого повітря, для віддування осаду від полотна до рухомої головки притискається нерухома головка.

На Рис.6 б показана принципова схема безкамерного вакуум-фільтра. За конструкцією він значно простіше камерного фільтра, так як барабан його не має окремих камер, відсутні також розподільні головки.

Перфорований барабан фільтра 3 закритий бічними кришками, і поверхня його за допомогою гумового ущільнення 19 ділиться на дві зони: зону 5, що знаходиться під розрідженням, і зону 7, в якій діє тиск. У зоні розрідження відбуваються фільтрація суспензії, промивання та підсушування осаду. Промою відводиться зі збірки, утвореного стінками 8. У зоні тиску здійснюються віддування осаду за допомогою повітря, що надходить по трубі 12, і регенерація тканини за допомогою пари іди рідини, що надходять по трубі 13.

Барабан фільтра встановлюється на нерухомій порожнистій осі 14 за допомогою підшипників у корпусі 1. Порожниста вісь 14 з'єднана трубою 15 з нижньою частиною барабана, фільтра, куди по пристрої 16 подається сік. Для відведення продуктів фільтрації, а також підведення повітря для віддування осаду 2 та рідини для регенерації тканини 22 порожниста вісь ділиться на секції. У деяких конструкціях фільтрів для цієї мети порожнистій осі встановлюються спеціальні труби. По верхній секції порожнистій осі відводиться промою, який збирається у збірнику 6. Ліва секція з'єднана з вакуум - ресивером, через нижню секцію відводиться сік, що відфільтровується. Через праву секцію порожнистій осі підводять повітря для віддування осаду і пар або рідина для регенерації тканини [69].

Барабан обтягується фільтрувальною тканиною, яка закріплюється дротом 20. Обертання барабана здійснюється від приводу через шестерню, прикріплену до передньої кришки барабана. Поверхня барабана фільтра занурена в суспензію на 50...60%.

Осад промивається за допомогою форсунок 4, віддується повітрям, що надходить через щілину 9, і видаляється ножом 11, що має цапфу 21 для здійснення установки. Через щілину 10 проводиться регенерація тканини парою чи рідиною.

Гумові ущільнення притискаються до внутрішньої поверхні барабана за допомогою порожнистих гумових подушок 17, які підводиться вода по гнучких шлангах 18. Тиск води повинен становити 0,5...0,6 МПа.

Так як гумові ущільнення постійно притискаються до внутрішньої поверхні барабана і працюють на стирання, барабан всередині повинен бути гладким. Практика експлуатації вакуум-фільтрів даного типу показує, що ущільнення швидко зношуються. Застосування ротаційних пристроїв ущільнювачів з синтетичних матеріалів, мабуть, може усунути цей недолік. Камерний вакуум-фільтр БШУ-40-3-10 (рис.7) складається з наступних вузлів: приводу барабана фільтра I , розподільчих головок II і VI, барабана III, промивного пристрою VII, мішалки для змочування осаду IV і мішалки приводу V.

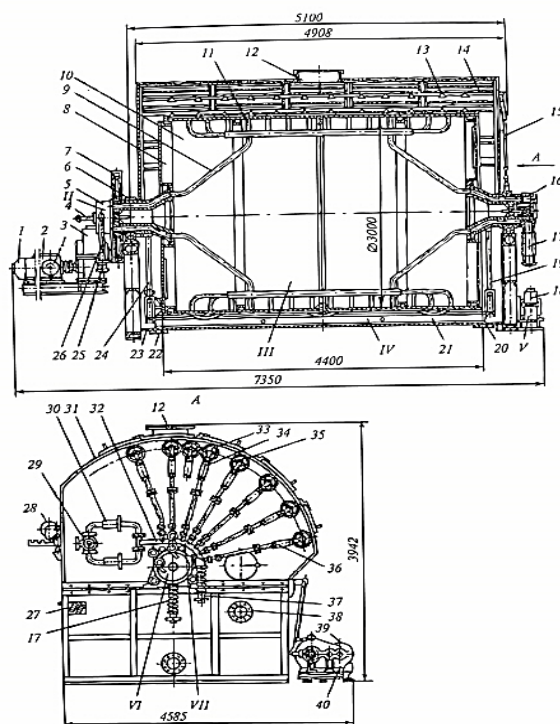


Рис. 4.7. Камерний вакуум-фільтр БШУ-40-3-10

Крім того, його склад входять електродвигун 1, варіатор 2, редуктор 3, патрубок 4 для стисненого повітря, ліва 5 і права 16 розподільні головки, підшипник 6, шестерня 7, передня кришка 8, підводять труби 9, барабан 10, колекторні труби , патрубок 12, форсунка 13, труби 14 для промивання осаду, штанга 15, штуцер 17 для відведення фільтрату, редуктор 18, штанги 19 і 24, спускні штуцера 20 і 22, мішалка 22 , 23 промоя, пристрій 27 для кріплення ножа, пристрій 28 для намотування дроту на барабан, кран 29, фільтр 30,

кожух 31, розподільник 32, горизонтальні труби 33 і 35, труби радіальні 34 і 36, штуцер 38 для підведення суспензії [70].

Порівнявши розглянуті вище різні типи фільтрів для очищення води, я дійшов висновку, що перед ними фільтр-прес для тонкого очищення води має як переваги, так і недоліки. До переваг можна віднести малі розміри апарату, високий ступінь очищення води, можливість безперервної та періодичної роботи. До недоліків - складна конструкція фільтр-пресу і, як наслідок, важке обслуговування. Також необхідно проводити промивання та чищення фільтра від накопиченого осаду після кожного циклу фільтрації.

4.3 Очищення від забруднень методом електрокоагуляції

Очищення води методом електрокоагуляції засноване на електролізі з використанням металевих (сталевих або алюмінієвих) анодів, що піддаються електролітичному розчиненню під впливом електричного поля. Метод електрокоагуляції технологічно досить простий і ефективний його використовують для видалення з води неорганічних і органічних забруднень - важких металів, хроматів, фосфатів, тонко диспергованих домішок, емульгованих масел, жирів і масел і нафтопродуктів, органічних суспензій і т.д.

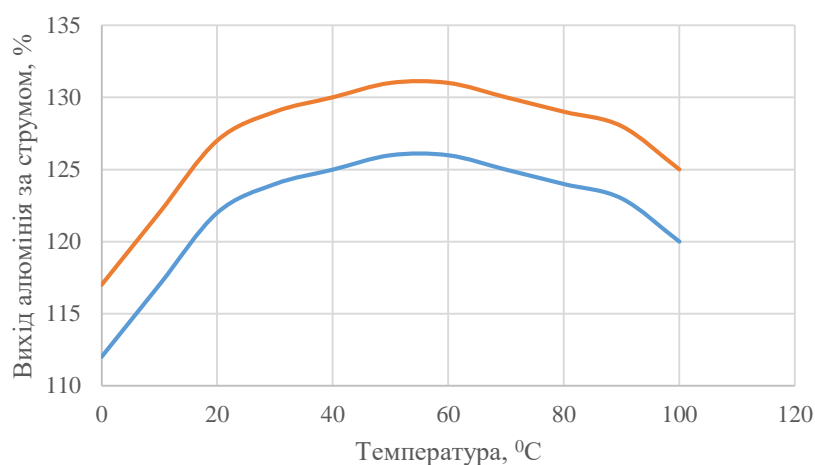


Рис. 4.7 Залежність виходу алюмінію електричним струмом від температури оброблюваної води.

На рисунку 2 представлена схема руху води міжелектродними каналами.

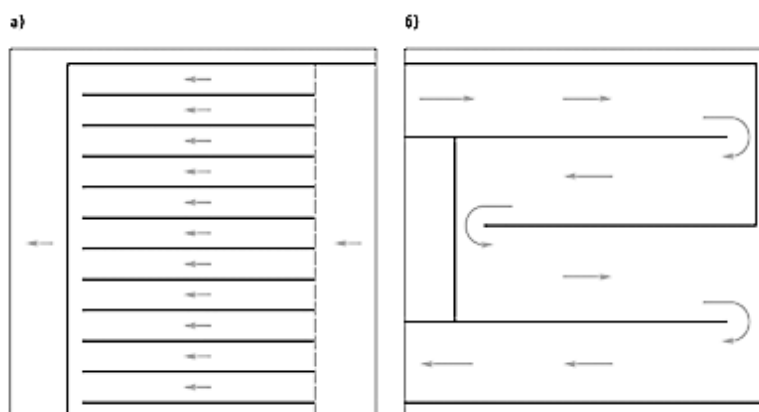


Рис. 4.8 Схема руху води міжелектродними каналами (а – паралельне, б – лабіринтне)

Сама собою електрокоагуляція всіх питань не вирішує, але відіграє ключову роль при комплексному підході до очищення води.

Перед електрокоагуляцією через насос-дозатор до загального потоку подається окислювач, витрати якого незначні, при цьому відбувається первинне окислення різних забруднень.

Вторинне окислення відбувається безпосередньо в електрокоагуляторі. У процесі електрокоагуляції, що проводиться при змінному тиску, з'являються дуже дрібні, буквально мікроскопічні бульбашки, що заповнюють весь міжелектродний простір. Оскільки процес окислення відбувається дифузійно – через стінку бульбашки, їх малий розмір і розмаїття багаторазово інтенсифікують названий процес, оскільки, у разі, основним є величина сумарної поверхні розділу фаз.

Третинне окислення відбувається у відстійниках, де триває процес дегазації, але як залишкове явище. Продукти окислення, що утворилися, досить погано осаджуються при традиційних технологіях, але при коагулюванні відбувається інтенсивне пластівництво і виділення продуктів окислення в осад спільно з отриманими пластівцями. Потім вода подається на освітлення (фільтрація через зернисте завантаження). Після чого за допомогою послідовного використання сорбенту та катіоніту відбувається видалення з води залишкових забруднень. На виході очищена вода піддається ультрафіолетовому опроміненню.

У випадках значного біозабруднення вихідної води на вході очисної системи передбачено наявність другого насоса-дозатора, призначеного для введення додаткового окисного агента. Даний насос підключається при необхідності, якщо у вихідній воді спостерігається значне збільшення концентрацій забруднюючих речовин.

4.4 Електрокоагуляція як технологічний процес

Електрокоагуляція - коагуляція (осідання) високодисперсних колоїдних частинок і суспензій у вигляді гідроксидів металів (алюміній, залізо), що

генеруються електричним струмом за рахунок розчинення металу анода (алюмінієвого або залізного) і впливу постійного електричного струму, що викликає електролітичну дисоціацію розчинених у воді також селективна взаємодія іонів, що утворюються з утворенням і випаданням в осад у вигляді нерозчинних гелів. Внаслідок розчинення анодів вода збагачується відповідними катіонами металів, що утворюють потім у нейтральному та слаболужному середовищі гідроксидом алюмінію або гідрозакисом заліза, яке під впливом розчиненого у воді кисню переходить у гідроокис заліза. Гідроокиси металів мають підвищену коагуляційну активність і сорбційну здатність, що забезпечує ефективну коагуляцію дисперсних домішок за участю продуктів електролізу.

Поряд із електрокоагуляцією при накладенні електричного поля відбувається також: електроліз води; поляризація колоїдних частинок; рух заряджених частинок у електричному полі (електрофорез); окисно-відновні процеси; хімічні реакції між іонами Al^{3+} або Fe^{2+} , що утворюються при електролітичному розчиненні металевих анодів і деякими іонами, що містяться у воді (S^{2-} , PO_4^{3-}); взаємодія продуктів електролізу один з одним; флотація твердих частинок бульбашками газоподібного водню, що виділяється на катоді; сорбція іонів і молекул розчинених домішок на поверхні гідроксидів заліза та алюмінію, що мають значну сорбційну здатність.

Розрізняють електростатичну, електрохімічну та гальванічну коагуляцію. Електростатична коагуляція протікає за рахунок поляризації колоїдних частинок під впливом зовнішнього електричного поля і злипання диполів, що утворилися. При цьому можливе застосування як постійного поля, так і пульсуючого і знакозмінного. Для електростатичної коагуляції потрібні дуже великі напруженості електричного поля близько 10–30 кВ/м, тому цей метод у водообробці стічних вод використовується мало. Різновидом електростатичної можна вважати електроконтактну коагуляцію, що виникає при фільтруванні води в електричному полі. В цьому випадку можлива часткова поляризація гідратованих іонів та колоїдних частинок під дією

електричного поля з подальшою коагуляцією диполів. Однак, необхідні для коагуляції колоїдних частинок напруженості електричного поля дуже великі, і цей спосіб застосовується, в основному, для очищення знесолених вод.

Електрохімічна коагуляція протікає за рахунок електролізу води та зміни значення рН та окисно-відновного потенціалу в обсязі води поблизу електродів. Електроліз проводиться з нерозчинними електродами при електричному напрузі на електродах, що перевищує потенціал розкладання води (1,22).

Гальванічна електрокоагуляція протікає за рахунок електрохімічного розчинення у воді металевих електродів. Як матеріал електродів використовують алюміній або сталь.

Механізм електрокоагуляції послідовно включає наступні стадії: електрофоретичне концентрування (спрямований рух заряджених частинок домішок і концентрування їх у поверхні електродів); розчинення електрода та утворення гідроксидів металів; поляризаційна коагуляція дисперсних частинок; упаковка первинних агрегатів у міру накопичення частинок гідроксиду; флокуляційна коагуляція; флотація агрегатів, що утворилися бульбашками газів.

На процес електрокоагуляції впливає матеріал електродів, відстань між ними, швидкість руху стічної води між електродами, її температура та сольовий склад, напруга, сила та щільність електричного струму. З підвищенням концентрації завислих речовин більше 100 мг/л ефективність електрокоагуляції знижується. Зі зменшенням відстані між електродами витрата енергії на анодне розчинення металу зменшується. Теоретична витрата електроенергії для розчинення 1 г заліза становить 2,9 Вт * год, а 1 г алюмінію - 2 Вт * год.

Ступінь використання металу електродів становить 50-90% і залежить від конструкції коагуляторів, матеріалу анода та складу води, що обробляється.

Електрокоагуляцію рекомендується проводити в нейтральному або

слаболужному середовищі, що містить не менше 20% хлористих солей (від загального солемісту) і не більше 75% гідрокарбонатів і сульфатів, що викликають пасивацію електродів, при щільності електричного струму не більше 10 А/м² відстані між електрод перевищувати 20 мм, а швидкості руху води – не менше 0,5 м/с.

За наявності у воді великих кількостей катіонів Ca²⁺ і Mg²⁺ і неможливості додавання до неї хлоридів як катодний матеріал слід використовувати нержавіючу сталь і не змінювати полярність електродів. Тривалість електрообробки води визначається властивостями забруднень і в середньому може змінюватись у межах однієї-п'яти хвилин. Враховуючи малу відстань між електродами та можливість засмічення електродного простору, стічні води перед електрокоагуляцією доцільно піддавати механічній сорбції від диспергованих забруднень.

На малюнку 3 представлені схеми електрокоагуляційних установок, а малюнку 4 показана схема електрокоагулятора-флотатора.

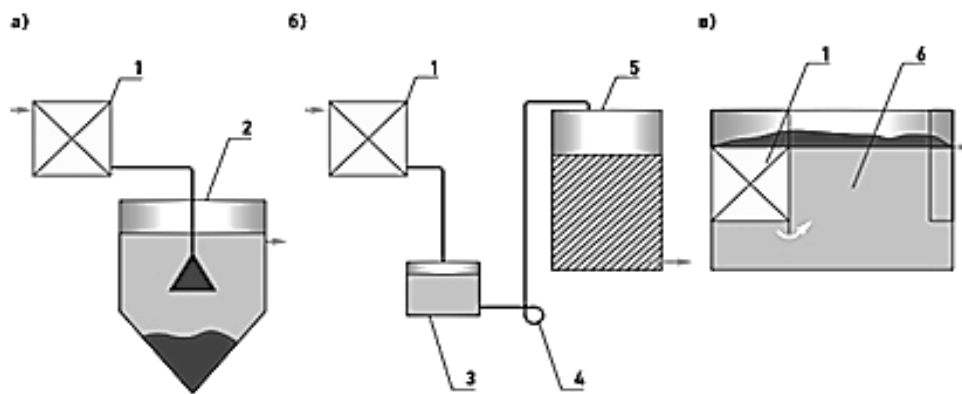


Рис. 4.9 Схеми електрокоагуляційних установок (а – з подальшим відстоюванням, б – з подальшим фільтруванням, в – з подальшою флотацією; 1 – електродна камера, 2 – відстійник, 3 – проміжний бак, 4 – насос, 5 – фільтр, 6 – флотаційна камера)

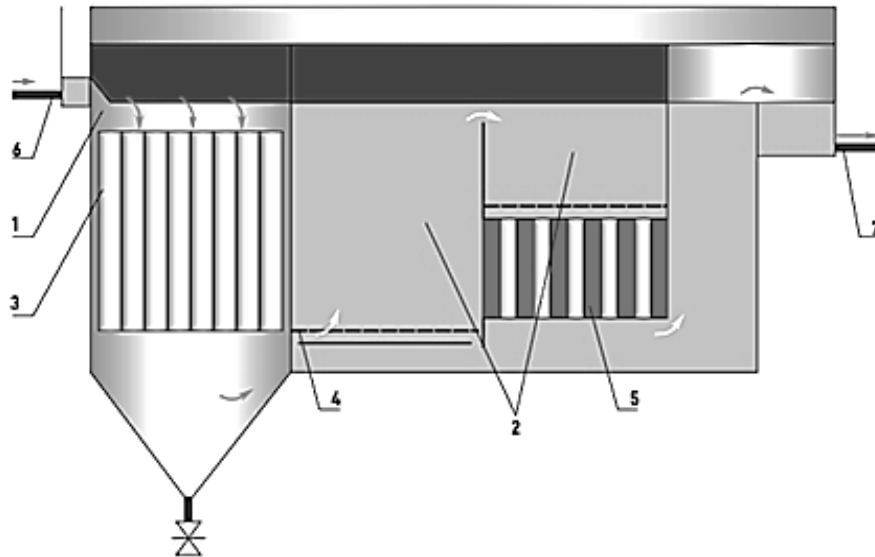


Рис. 4.10 Схема електрокоагулятора-флотатора (1 – камера електрокоагуляції, 2 – камера електрофлотації, 3 – електрокоагулятор, 4 – електроди для електрофлотації (графітовий анод та сітчастий катод), 5 – електрофлотатор, 6 – стічна вода, 7 – очищена вода)

Головною лімітуючою стадією електрокоагуляції є утворення катіонів металів - результат електрохімічного розчинення металевих анодів відповідно до рівняння:



де M - символ металу; n - його валентність.

На алюмінієвих анодах протікає наступна реакція:



а на анодах із сталі йде реакція:

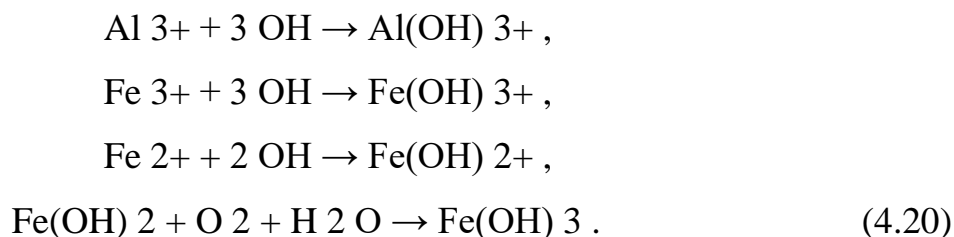


при цьому частина катіонів заліза окислюється під дією розчиненого у воді кисню у анода до тривалентного заліза (III):



Другий етап коагуляції зводиться до хімічної гідратації катіонів металів, що утворюються, утворенні нерозчинних гідроксидів металів, їх випаданні в осад (кристалізації) з подальшим формуванням пластівців, здатних флокулювати грубодисперсні домішки води. Відповідні хімічні реакції

відбуваються у міжелектродному просторі та включають кілька етапів:



Внаслідок надходження у воду необхідної кількості катіонів заліза або алюмінію за рахунок наведених вище реакцій виникає та сама ситуація, що і при обробці води коагулянтами: солями заліза або алюмінію. Однак на відміну від застосування сольових коагулянтів при електрокоагуляції вода не збагачується сульфатами або хлоридами, вміст яких в очищеній воді лімітується як при скиданні її у водоймища, так і при повторному використанні в системах промислового водопостачання. Освіта у воді багатовалентних катіонів знижує стійкість негативно заряджених колоїдів, оскільки зменшується товщина дифузійного шару колоїдної частинки та знижується її потенціал. Стійкість (стабільність) колоїдів зумовлена взаємодією міжмолекулярних сил взаємного тяжіння та відштовхування, що виникають на межі зіткнення подвійних електричних шарів (ДЕС) частинок, що зблизилися:

$$\Delta U = U_1 - U_2, \quad (4.21)$$

де U_1 і U_2 - відповідно сили відштовхування та тяжіння.

Якщо $\Delta U \geq 0$, укрупнення частинок неможливе, якщо $\Delta U \leq 0$ — станеться злипання частинок, тобто коагуляція.

В електричному полі створюються особливо сприятливі умови для коагуляції, чому сприяє додатково виникає сила диполь-дипольного впливу U_3 , що зменшує ДЕС і поляризує колоїдні частинки:

$$\Delta U = U_1 - U_2 - U_3. \quad (4.22)$$

Процес коагуляції в електрокоагуляторах протікає значно інтенсивніше, ніж при реагентній коагуляції, що пояснюється позитивним впливом електрофорезу на взаємне укрупнення зародків частинок гідроксидів металів і перемішуванням води бульбашками водню, що виділяються на катодах.

Сприятливі умови електрокоагуляції дозволяють зменшити дози металу, необхідні для очищення порівняно з дозами при реагентній коагуляції на 10–20% і більше.

Крім використання електрокоагуляції для дестабілізації колоїдів та флокуляції грубодисперсних домішок, цей метод застосовується у схемах очищення води від катіонів важких металів. Це стає можливим у результаті підвищення значення рН води (від 2,3 до 10,4) при електролізі, коли метали переходять у стан нерозчинних гідроксидів і осідають разом з гідроксидами заліза. Значення рН залежить від концентрації осадженого іона. Великі значення рН відносяться до менших концентрацій. Якщо при електролізі підвищення рН виявляється недостатнім, необхідно збільшити водневий показник води перед електролізер шляхом підключування за рахунок додавання в оброблювану воду лугу.

Електрохімічне розчинення металів включає анодне розчинення за рахунок зовнішнього електричного струму та хімічне розчинення анодів та катодів. Тому на практиці вихід металів G електричним струмом може виявитися більшим за теоретично розрахований за формулою, що визначається законами Фарадея, і може становити 120–130% від теоретичного виходу:

$$G = AI \operatorname{cur} \tau, \quad (4.23)$$

де A - електрохімічний еквівалент елемента:

$$A = M/(26,8z) \text{ г}/(\text{А*год}); \quad (4.24)$$

z - валентність; $I \operatorname{cur}$ - сила струму, A ; τ - час обробки, год.

Основними чинниками, що впливають електрохімічне розчинення анода, є: температура, сила і щільність електричного струму, значення рН, сольовий склад води, відстань між електродами, швидкість руху води між електродами, концентрація зважених речовин. Підвищення температури води при електрокоагуляції збільшує вихід металу струму, оскільки при цьому інтенсифікуються хімічні реакції, у тому числі розчинення металів. Однак, позитивний вплив зростання температур спостерігається тільки до досягнення

деякого температурного максимуму (60-80 ° C), а подальше підвищення температури знижує вихід металу. Це пояснюється зростаючою інтенсивністю пасивації алюмінієвого анода за рахунок ущільнення та набухання колоїдального гідроксиду алюмінію в його мікропорах.

Істотний вплив на співвідношенні кількості металу, що розчиняється електрохімічним та хімічним шляхом, надає значення рН. При рН = 6-8 внаслідок електрохімічного процесу розчиняється до 90% алюмінієвих анодів. Хімічний спосіб розчиняється близько 70% металу при рН=6–8, у тому числі 50% при розчиненні катода. Сумарний вихід алюмінію електричним струмом зростає в слабкислому і особливо лужному середовищі, досягаючи 150-200%. Вплив водневого показника процес розчинення електродів пов'язані з розчиненням пасивуючих відкладень.

Вплив аніонного складу водного середовища на розчинення анодів переважно зумовлено умовами пасивації. Ефективним депасивантом є аніон хлору (анодна поляризація). Вершини трикутної діаграми відповідають 100% вмісту трьох основних аніонів: хлор (Cl^-) – , сульфат (SO_4^{2-}) – та гідрокарбонат (HCO_3^-) – аніону. Зі зменшенням відсоткового вмісту хлоріону у водному середовищі вихід алюмінію струмом зменшується.

На процес хімічного розчинення катода впливає катіонний склад водного середовища. Діаграма, що ілюструє вплив основних катіонів - натрію, кальцію та магнію на хімічне розчинення алюмінієвого катода наведено на рис. 3. Катіони натрію надають депасивну дію на катод. Навпаки, катіони магнію і особливо кальцій, посилюють пасивацію катода (рис. 3). Іншим фактором, що позитивно впливає на вихід катіонів металів, є щільність електричного струму, A/m^2 :

$$\tau = I/F_{\text{ел}} . \quad (4.25)$$

де I - величина електричного струму при електролізі, А; $F_{\text{ел}}$ - Площа анода або катода, m^2 .

Оптимальними приймаються щільності електричного струму: для алюмінієвих електродів, катодна щільність - $t_{\text{до}} = 10-35 \text{ A}/\text{m}^2$, анодна - $t_{\text{а}} =$

20-150 А / м² , а для залізних електродів $t_a = t_{до} = 10-100$ А/м² .

При щільності струму понад 200 А/м² розчинення електродів супроводжується помітною електрофлотацією та посиленням пасивації електродів. Періодичне перемикання полюсів сприяє депасивації електродів, що інтенсифікує їхнє хімічне розчинення. Експериментально встановлено, що максимальний вихід алюмінію струмом досягається при перемиканні полюсів через кожні 15 хвилин, тобто чотири рази на годину. На вихід металу струмом впливає і схема з'єднання електродів, при цьому найбільший вихід - при монополярному з'єднанні.

Електрокоагуляція здійснюється у спеціальних генеруючих катіони металу (найчастіше алюмінію та заліза) електричних приладах - електрокоагуляторах (рисунок 3-4). Основний елемент електрокоагулятора - електродна камера зі змінним набором сталевих або алюмінієвих (дюралюмінієвих) електродів полярності, що чергується, в зазорах між якими (шириною 5-20 мм) протікає оброблена вода зі швидкістю не менше 0,5 м / с. Як і в електролізерах, в електрокоагуляторах електроди можуть розташовуватися горизонтально або вертикально із зазором 10-16 мм, що залежить від умов розміщення та монтажу, а також від витрат води, що обробляється. У електрокоагуляторах з меншими щільностями електричного струму через незначне піноутворення можна приймати ширину міжелектродних каналів менше 15 мм, і при обґрунтуванні не передбачати пристроїв для видалення піни. При великих щільності електричного струму ширина міжелектродних каналів повинна прийматися не менше 15-20 мм. Для видалення скупчень піни в каналах передбачаються різні пристрої, зокрема продування стисненим повітрям.

Аноди та катоди виконуються у вигляді пластин з алюмінію, його сплавів, що не містять мідь, або сталі. Підключення пластин до джерела струму може бути паралельним чи послідовним. У першому випадку всі електроди діють як монополярні, у другому проміжні пластини працюють біполярно. Послідовне підключення дозволяє працювати при менших

значеннях електричного струму. Поряд із пластинчастими іноді використовують засипні електроди зі сталевий стружки. Незважаючи на деякі переваги (велика поверхня, низька вартість), засипні електроди застосовуються рідко, оскільки засмічуються гідроксидами металів і погано регенеруються. Вибір матеріалу для електродів залежить від технологічних особливостей очищення.

Якщо коагуляції можна застосувати і алюміній і залізо, вибір матеріалу обґрунтовується техніко-економічними міркуваннями. Для коагуляції потрібні більші дози заліза, ніж алюмінію, але розчинення 1 р заліза витрачається менше електроенергії. Теоретично, при витраті електроенергії 26,8 А/год на розчин переходить близько 9 г металевий алюмінію або 28 г заліза.

При низькій щільності струму необхідно збільшити необхідну тривалість перебування води, що обробляється в міжелектродному просторі, адже розчинення анодів і пластівцеутворення протікають незначно. Збільшення тривалості перебування води досягається за рахунок збільшення довжини міжелектродних каналів послідовним розміщенням електродних блоків у процесі руху води або за рахунок її рециркуляції. Для подовження міжелектродних каналів їх часто виконують не за паралельною, а за послідовною (лабіринтною) схемою (рисунок 3б).

Оскільки в результаті об'ємних електрохімічних процесів у міжелектродному просторі формуються пластівці гідроксидів металів, для їх видалення встановлюють блок наступного очищення (відстійник, фільтр великої брудоемності, флотатор), показаний на малюнку 4. Електрокоагулятори, що працюють при низькій щільності електричного струму (менше $18-2 \text{ м}^2$), доцільно застосовувати за схемами на малюнках 4а і 4б, спільно з відстійниками та фільтрами більшої брудоемності. При вищих щільності електричного струму рекомендується застосовувати схему з флотатором (рисунок 4в).

Блоки, які з електрокоагулятора і флотаційної камери, називаються

електрофлоотокоагуляторами (ЕКФ). Компонування ЕКФ може передбачати розміщення електрокоагулятора в межах флоатаційної камери і окремо. Типова конструкція, наприклад, ЕКФ має прямокутну форму і складається з трьох відсіків: у першому відсіку розміщується електрокоагулятор, у другому електрофлотатор, третій відсік є відстійною камерою. Електроди, що розміщуються у третій секції, служать для знезараження води.

Конструкцію електрокоагулятора слід виконувати з урахуванням умов заміни електродів у разі їх розчинення для очищення та депасивації. З метою інтенсифікації процесу електрокоагуляції може використовуватися конструкція віброелектрокоагулятора. Застосування вібраційних коливань середнього діапазону частот практично виключає пасивацію електродів, знімає дифузійні обмеження у всьому робочому обсязі, полегшує видалення газів і осадів, що утворюються періодично через спеціальний клапан без зупинки апарата.

4.5 Дослідження параметрів електрокоагуляційної установки

Завдання було виконано шляхом розміщення електродних блоків електрокоагулятора зі спеціально підтвердженою біполярною схемою, що відрізняється від класичного розташування електродів у біполярному з'єднанні, яке зображено на рис. 4.11. Ця конструкція має важливу особливість - обов'язкове повне перекриття електродами поперечного перетину апарату. Цим способом усувається можливість так званого "непродуктивного перетікання" електричного струму між електродами, які не становлять біполярну пару.

Для встановлення зв'язку між електричним опором міжелектродного простору для біполярних електродів та втратою потенціалів на них, ми провели контрольний експеримент.

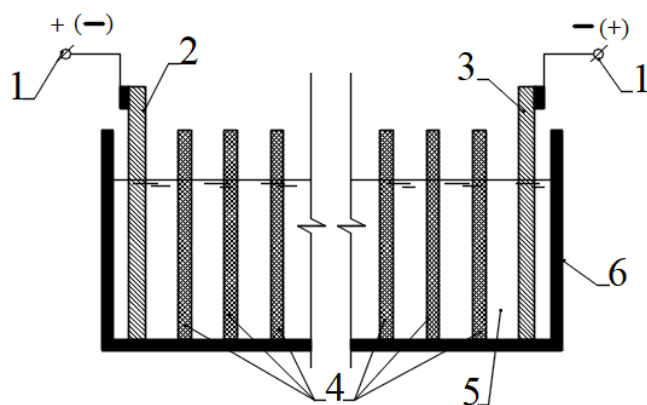


Рис. 4.11. Класичне біполярне розташування електродів електрокоагулятора
 1 – клеми джерела електричного струму; 2, 3 – струмопідвідні електроди; 4 –
 біполярні електроди; 5 – оброблювана рідина; 6 – корпус

Також, було заплановано визначити ступінь стійкості сили струму в мережі електрокоагулятора протягом години, а також перевірити наявність явища пасивації електродів. Схему цього експерименту можна знайти на рисунку 4.12, а схему електроживлення на рисунку 4.13. Для розташування біполярних електродів були використані скляні кювети з різним об'ємом води, що дозволило нам отримувати різний електричний опір води між електродами в різних кюветах (рис. 5).

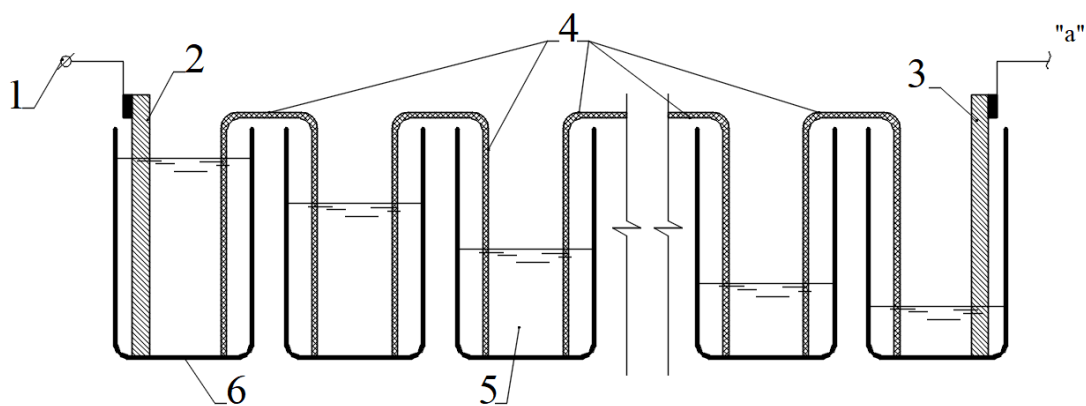


Рис. 4.12. Принципова технологічна схема експерименту 1 - клема джерела електричного струму $U = 220 \text{ В}$; 2, 3 – струмопідвідні електроди; 4 – біполярні електроди; 5 – водопровідна вода; 6 – кювети з різним об'ємом води; «а» - див. рис.3

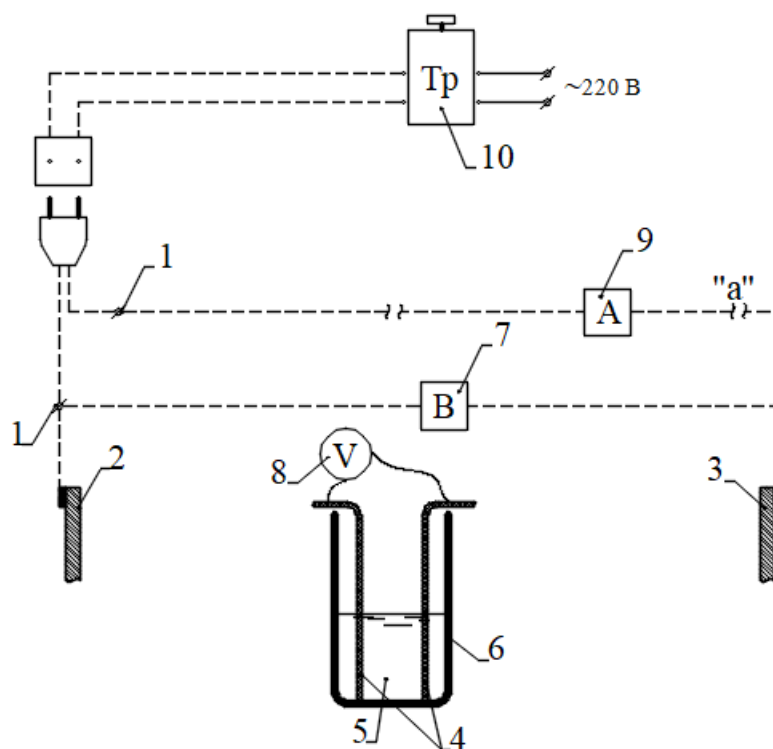


Рис. 4.13. Схема електрозабезпечення експерименту 1 – клемі; 2, 3 – струмопідвідні електроди; 4 – біполярні електроди; 5 – вода; 6 – кювета; 7 – вольтметр загальномережевий; 8 – мобільний вольтметр; 9 – амперметр; 10 – автотрансформатор

В якості електродів (4) використовувалися зігнуті фрагменти алюмінієвої проволочи діаметром 2,2 мм, як показано на схемі. Вони були занурені своїми кінцями в сусідні кювети, створюючи неперервний послідовний електричний ланцюг між струмопідвідними електродними (2, 3). Ця конфігурація гарантувала сталу величину струму в експериментальній мережі під час кожного окремого дослідження. Вольтметр (7) вимірював загальну напругу на струмопідвідних електродних, а мобільний вольтметр (8) визначав напругу на парах електродів в окремих кюветах.

Було проведено 4 серії дослідів позначених як "А," "Б," "В," та "Г." У перших трьох серіях на струмопідвідні електроди (2, 3) подавалася різна напруга: серія "А" мала $U_{заг} = 170$ В, серія "Б" - $U_{заг} = 185$ В, тоді як серія "В" - $U_{заг} = 200$ В. Загалом було використано 10 послідовно розташованих кювет. У кожен наступну кювету (починаючи від електрода 2) додавався менший

об'єм води від $W = 45$ до 18 см^3 , що забезпечувало поступове зменшення висоти рідини кулі h в кожній наступній кюветі від 59 до 24 мм . Біполярні електроди (4) були погружені в кожну пару сусідніх кювет таким чином, щоб вони торкалися дна ємності. Це забезпечувало повну відповідність між довжиною погруженої в воду частини електрода та висотою рідини кулі в кюветі h . Ця умова, в свою чергу, впливала на послідовне збільшення електричного опору міжелектродного прошарку води від першої до десятої кювети. Оскільки загальна напруга подавалася на струмопідвідні електроди, а кожна кювета була відокремлена від попередньої і наступної шляхом шкірної кювети, то величина сили електричного струму, який проходив через кожну пару електродів у кожній кюветі I_i , залишалася однаковою для цієї мережі. Іншими словами, $I_i = I_{заг}$.

Згідно з законом Ома, для кожної пари електродів в окремій кюветі зберігалось класичне співвідношення між напругою на цій парі електродів U_i , електричним опором прошарку рідини між цими електродами R_i та силою електричного струму, що проходив через воду в кюветі I_i : $I_i = U_i / R_i$. Таким чином, змінювалася лише величина напруги U_i на кожній парі біполярних електродів у загальній мережі.

Дані, отримані в результаті цього експерименту, представлені у таблиці 4.1 і на рисунку 4.14.

Таблиця 4.1. Результати контрольного експерименту

№ кювети	Об'єм води, $W, \text{ см}^3$	Висота кулі води, $h, \text{ мм}$	Напруга на електродах в кюветах, $U_i, \text{ У}$ по серіях		
			"А"	«Б»	«В»
1	2	3	4	5	6
1	45	59	11,6	12,7	13,7
2	42	53	12,9	14,3	15,0
3	40	50	14,3	15,0	17,5
4	37	47	15,0	16,3	18,2
5	34	44	15,9	17,8	19,7
6	30	38	17,2	19,2	20,5
7	28	35	18,7	20,5	21,7
8	24	30	20,3	21,8	23,1
9	21	27	21,1	23,0	25,1
10	18	23	23,0	24,4	26,3

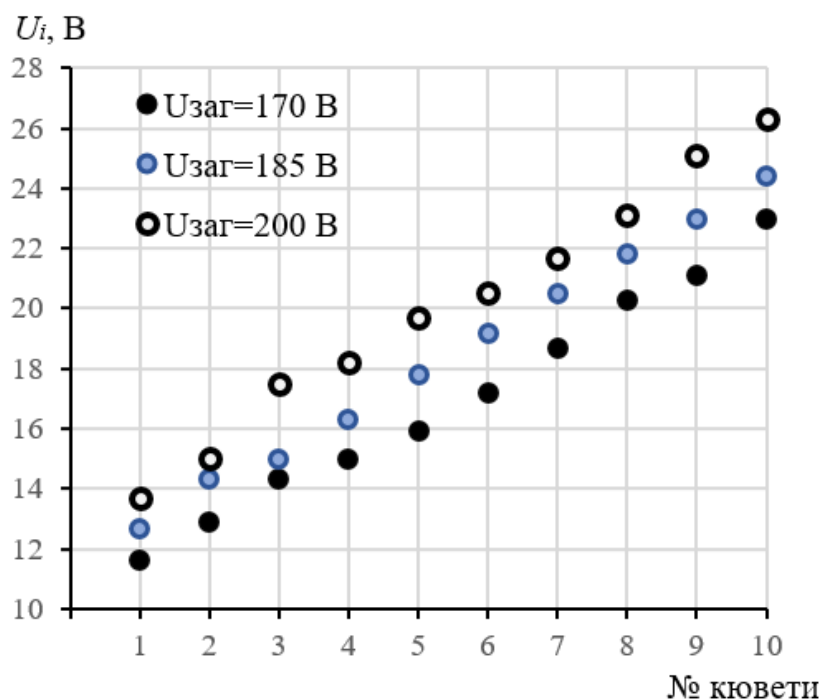


Рис. 4.14. Динаміка напруги на біполярних електродах у послідовно розташованих кюветах

Для визначення наявності або відсутності явища пасивації електродів була проведена серія дослідів, позначена як "Г". У цій серії всі кювети були заповнені водою об'ємом 50 см^3 , і загальна тривалість проходження електричного струму в мережі складала дві години, з постійним моніторингом динаміки сили струму $I_{заг}$. Результати серії "Г" наведено в таблиці 4.2 і на рисунку 4.15.

Таблиця 4.2. Динаміка $I_{заг}$ при $U_{заг} = 220\text{ В}$ ($W = 50\text{ см}^3$)

№ кюветі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h, мм	52	46	49	48	45	49	52	52	50	50
$U_h \text{ У}$	21,2	22,0	22,3	22,0	21,9	22,2	22,5	22,4	23,0	20,5
t, хв.	0	15	30	45	60	75	90	105	120	
$I_{заг}$, ма	32,3	32,5	32,5	32,1	32,0	32,2	32,2	32,5	32,4	
$\Delta/\%$	0	+0,6	+0,6	-0,6	-0,9	-0,3	-0,3	+0,6	+0,3	

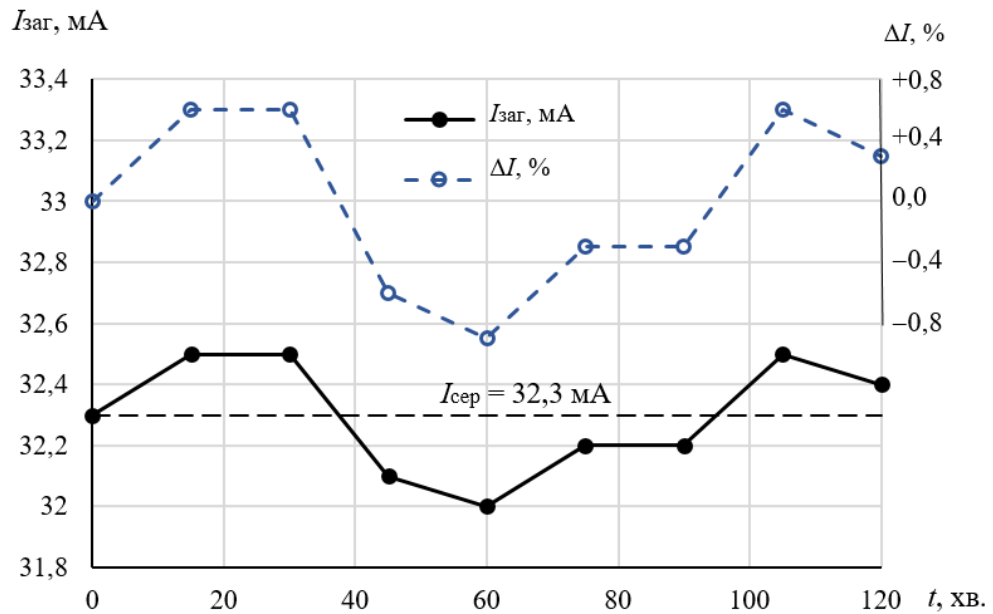


Рис. 4.15 Динаміка $I_{заг}$ за 2 роки роботи електрокоагулятора

У цій серії дослідів висота рідинної кулі в кюветах коливалася від 46 мм (кювета №2) до 52 мм (кювети №1, 7, 8). Відповідно, напруга на біполярних електродах при застосуванні напруги $U_{заг} = 220$ В коливалася від мінімального значення 20,5 (кювета №10) до максимального значення 23,0 (кювета №9). У момент включення зовнішньої напруги 220 В на струмопідвідні електроди (2, 3) сила струму $I_{заг}$ становила 32,3 мА. Після цього, відповідно до програми дослідів, значення $I_{заг}$ фіксувалось кожні 15 хвилин протягом 2 годин. Спостерігалась періодична незначна зміна $I_{заг}$, яка коливалася в межах від найменшого значення 32,0 мА (на 60-й хвилині експерименту) до найбільшого значення 32,5 мА (на 105-й хвилині). Середнє значення $I_{сер}$ відповідало 32,3 мА.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень та аналізу отриманих даних, були отримані наступні висновки:

1. Мембранні технології є ефективним методом фільтрації води, що дозволяє видалити забруднення та мікроорганізми, забезпечуючи високу якість очищеної води.

2. Оптимізація процесу мембранної фільтрації, включаючи вибір відповідних мембран, режимів роботи та умов експлуатації, може значно підвищити ефективність цього методу.

3. Важливим фактором для підвищення ефективності є ретельний моніторинг та обслуговування мембранних систем, включаючи регулярну заміну та чищення мембран.

4. Ефективність мембранних технологій може бути підвищена за рахунок застосування додаткових методів передфільтрації, наприклад, ультрафільтрації або електрокоагуляції.

5. Змінний струм напругою, що відповідає побутовим потребам (220 В), може використовуватися для електролітичного генерування коагулянту при біполярному розміщенні дротяних електродів у послідовально розташованих ємностях, які унеможливають перетікання струму між електродами, що не складають біполярну пару. Така конструкція електродних блоків дозволяє одержувати у кожній окремій ємності падіння потенціалу прямо пропорційне електричному опору між шкільною парою біполярних електродів.

6. Для непроточного стану води в системі спостерігається певне зменшення в часі загального розрахованого електричного опору, що може бути пов'язаним із нагріванням води в кюветах від проходження електричного струму.

В умовах проточного руху води в електрокоагуляторах з біполярними електродами із алюмінієвого проводу при загальній напрузі змінного

електричного струму 220 У явищі пасивації у помітному прояві не повинно бути.

Сумарна напруга $U_{заг}$, що подається на електрокоагулятор, для кожної окремої пари біполярних електродів U_i ділиться пропорційно електричному опору прошарку води між ними: $U_i = U_{заг} (R_i / R_{заг})$.

Процес утворення електролітично генерованого коагулянту при біполярному розташуванні електродів відбувається у кожній окремій ємності масою m_i відповідно до закону Фарадея [14] у кількості, прямо пропорційній добутку сили струму I_i на тривалість процесу t .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Статистичний бюлетень «Збір основних видів сільськогосподарських культур». Сайт Державної служби статистики України [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2022/sg/pvzu/arch_pvhu_reg.htm
2. Іванишин В.В., Погорілий В.В. Ринок сільськогосподарської техніки в Україні. Науковий вісник НАУ. К.: НАУ. - 2005, №80. Част. 1. С. 13-28.
3. Ходаківський Є.І., Положенець В.М. Виробництво та споживання картоплі. Економіка АПК. 2006, №7. С. 109-111.
4. Лавров Р.В. Сучасний стан і проблеми формування ринку картоплі в Україні. Актуальні проблеми економіки. 2007, № 6 (72). С. 12-21.
5. Бондарчук А.А. Стан картоплярства в Україні та перспективи його розвитку. Вісн. аграр. науки. 2006, № 3-4. С. 49-50.
6. Грушецький С.М., Рудь А.В., Семенишина І.В., Медведєв Є.П. The technological process pattern of potato root harvester. Журнал «Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка». № 31. Кам'янець-Подільський. 2019.
7. Грушецький С.М., Підлісний В.В. Аналіз конструкцій та результати досліджень сепараторів картопляного вороху. Сучасний рух науки: тези доп. VI міжнародної науковопрактичної інтернет-конференції журналу «WayScience». 4-5 квітня 2019 р. Дніпро, 2019. С. 274-282.
8. Hutsol Taras, Firman Jurii, Komarnitsky Sergiy. Modelling of the separation process of the potato stack. Agricultural Engineering : czasopismo. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej. 2017. Vol. 21, № 4. P. 27-35.
9. Bulgakov V., Nikolaenko S., Adamchuk V., Z. and Olt J. Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. Agronomy Research. 2018. 16(1). pp. 52-63.
10. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Захарова Т.Н., Калетнік Г.М., Яропуд В.М. Плоскі вертикальні криві, які забезпечують постійні тиск і

швидкість руху матеріальної точки. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». ВНАУ. 2014 р. Вип. 1 (73). С. 5-12.

11. Aliev E., Bandura V., Pryshliak V., Yaropud V., Trukhanska O.. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural. INMATEH - Agricultural Engineering. vol. 54, no.1. 2018. P. 95-104.

12. Pascuzzi S., Bulgakov V., Santoro F., Sotirios A., Anifantis, Olt J., Nikolaenko S. Theoretical study on sieving of potato heap elements in spiral separator. Agronomy Research. 2019. 17(1), P. 33-48.

13. Токар А.М. Теоретична механіка. Кінематика: Методи і задачі. Навчальний посібник. Либідь, 2001. 416 с.

14. Грушецький С.М., Слободян С.Б. Систематизація основних проблем механізованого збирання картоплі. Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції: збірник наукових праць міжнар. наук.-практ. конф. Ч.2. (20-21 березня 2019 р., м. Кам'янець-Подільський). Тернопіль : Крок, 2019. С. 19-21.

15. Грушецький С.М., Підлісний В.В. Способи активізації сепарації картопляного вороху. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 179. «Механізація сільськогосподарського виробництва» присвячений Всеукраїнській науково-практичній конференції «Оптимізація технічних та технологічних систем агровиробництва». Х.: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2019. С. 61-74.

16. Веселовська Н.Р., Малаков О.І. Функціональне моделювання процесу технологічної підготовки виробництва для проектів створення нової техніки. Молода наука – роботизація і нано–технології сучасного 77 машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково–технічної конференції. Краматорськ, 2019. С. 134–137

17. Войтюк Д. Г., Булгаков В. М., Кропивко С. В., Онищенко В. Б. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підруч. для студ. Вузів. Київ : Друк, 2005. 464 с.

18. Гідравлічні приводи гичкозбиральних машин : Монографія / Гунько І.В., Шаргородський С.А., Гунько А.С., Подолянин І.М. Вінниця : Твори. 2020 – 179 с.
19. Грушецький С.М., Яропуд В.М. Моделювання процесів сепарації картопляного вороху в барабанному сепараторі. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. № 2, 109. С. 27-41.
20. Грушецький С.М., Яропуд В.М., Бабин І.А. Дослідження якості сепарації картопляного вороху підкопувальними робочими органами картоплезбиральної машини. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. № 1, 96. С. 125-140.
21. Гунько І.В., Музичук В.І., Служалюк М.В. Дослідження технічного сервісу машин в АПК. Техніка, енергетика та транспорт АПК. 2019. № 2, 105. С. 43–51.
22. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Т. 1. Ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. М-во освіти і науки України, М-во аграр. політики України, Харк. держ. техніч. ун-т с.-г. Х.: ОКО, 2001. 443 с.
23. Іскович-Лотоцький Р.Д., Зелінська О.В., Веселовська Н.Р., Веселовський Я.П. Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу. Техніка енергетика транспорт АПК. 2017. №2, 97. С. 109-114.
24. Калетнік Г.М., Адамчук В.В., Петриченко Є.А., Булгаков В.М., Кувачов В.П. Теорія плоскопаралельного руху удобрювально-посівного машинно-тракторного агрегату. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №2, 97. С.6-18.
25. Ковбаса В. П. Пришляк В.М., Ярощук Р. О. Визначення впливу сільськогосподарської техніки на ґрунт. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 4, 95. С. 76–81.

26. Ковбаса В. П., Алі Ахмед Кадем, Калініченко Д. Ю. Визначення модуля пружності та коефіцієнта в'язкості ґрунту шляхом дослідження його коливань. Вібрації в техніці та технологіях. 2016. № 1. С. 36-41.
27. Ковбаса В. П., Швайко В. М., Гуцол О. П. Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ: навч. посібник. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2015. 536 с.
28. Ковбаса В. П., Ярошенко В. В. Розподіл напружень у сипкому середовищі обмеженому стінками споруди силосного типу. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2010. Вип. 40, 1. С. 314-324.
29. Ковбаса В. П., Ярошенко В. В. Про критерій міцності та співвідношення між компонентами напружень сипкого середовища. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2010. Вип. 40(1). С. 35-39.
30. Ковбаса В.П., Броварець О.О. Технології підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності при проектуванні технологічних процесів. Математичні машини і системи. 2019. № 2. С. 63–70
31. Ковбаса В.П., Курка В.П., Алі Ахмед Кадем Про подолання труднощів при вирішенні контактних задач пружності. Сільськогосподарські машини. 2015. № 32. С.79-86.
32. Омелянов О.М. Дослідження впливу технологічного завантаження на параметри руху вібраційного сепаратора. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 4, 95. С. 89–94.
33. Омелянов О.М. Обґрунтування впливу механічних коливань на процеси обробки сипкої маси. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 2, 93. С. 68–74.
34. Омелянов О.М. Перспективи реалізації процесів вібраційного розділення. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. № 1, 92. С. 72–86.
35. Офіційний сайт виробника сільськогосподарської техніки Dewulf. [Електронний ресурс]. – Режим доступу.: <http://www.dewulfgroup.ru>

36. Офіційний сайт виробника сільськогосподарської техніки Grimme Landmaschinenfabrik GmbH&CO KG. [Електронний ресурс]. – Режим доступу.: <http://www.grimme.ru>

37. Офіційний сайт виробника сільськогосподарської техніки WM Kartoffeltechnik GmbH&Co KG. [Електронний ресурс]. – Режим доступу.: <http://www.Kartoffeltechnik.com>

38. Грушецький С.М. Аналіз сучасних технологій вирощування і збирання картоплі. Збірник наукових праць ПДАТУ. Вип. 24, час. 2 (технічні науки). 2016. С. 55-64.

39. Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів лемішно-полицевого картоплекопача з барабанним сепаратором картопляного вороху. Дисертація кандидата технічних наук. 05.05.11. Вінниця. 2008. 285 с.

40. Рамш В.Ю., Барановський В.М., Паньків М.Р. Аналіз тенденцій розвитку робочих органів для сепарації вороху коренеплодів. Наукові нотатки. ЛНТУ. 2011. Вип. 31. С. 298- 305.

41. Барановський В.М., Онищенко В.Б., Соломка В.О. Напрямки вдосконалення сепарувальних робочих органів коренезбиральних машин. Збірник наукових праць НАУ „Механізація сільськогосподарського виробництва”. Том XII. Київ. 2002. С. 31-42.

42. Калетнік Г.М., Пришляк В.М., Яропуд В.М., Булгаков В.М., Пилипака С.Ф. Математичне моделювання руху скиби ґрунту по площині косоного клина. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». ВНАУ. 2013 р. Вип. 4 (72). С. 27-36.

43. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Захарова Т.Н., Калетнік Г.М., Яропуд В.М. Плоскі вертикальні криві, які забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». ВНАУ. 2014 р. – Вип. 1 (73). С. 5-12.

44. Грушецький С., Фирман Ю. Исследование и обоснование параметров лемешно-отвального картофелекопателя с барабанным

сепаратором картофельного вороха. MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. 2015. Vol. 17. No.1. 17-26.

45. Грушецький С.М., Збаравська Л.Ю., Семенишена І.В. Аналіз конструктивнотехнологічних схем підкопувальних робочих органів коренебульбозбиральних машин. Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник наукових праць XVIII міжн. наук. конф. 16-18 жовтня 2017 р. м. Кам'янець-Подільський. Крок. 2017. С. 63-65.

46. Грушецький С.М., Бендера І.М., Білоус С.В. Патент №31779. МПК (2006). А01D21/00. Леміш коренебульбозбиральної машини. № u 2007 12978. Заявл. 23.11. 2007. Опубл. 25.04. 2008. Бюл. № 8. 6 с.

47. Грушецький С.М., Городинський В.О., Ставрук Д.В., Громик Б.І., Дудар М.О. Патент № 99259. МПК (2015). А01D21/00. Підкопувальний робочий орган для коренебульбозбиральних машин. № u2014 12978. Заявл. 15.12. 2014. Опубл. 25.05. 2015. Бюл. № 10. 4 с.

48. Ставрук Д.В. Удосконалення підкопувальних робочих органів для картоплезбиральних машин Наукова робота. 05.05.11. Харків. 2015. 98 с. 17. Городинський В.О., Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів підкопувальних робочих органів для картоплезбиральних машин. Наукова робота. 05.05.11. Харків. 2016. 87 с.

49. Бишов Н. В., Боричев С. Н., Голиков А. А. Удосконалений пристрій для сепарування бульб картоплі. Сільський механізатор. 2016. № 11. С. 6-7.

50. Старовойтова О. А., Старовойтов В. І., Манохина А. А., Духанина С. М. Фізико-механічні параметри ґрунту при вирощуванні картоплі на грядках. Землеробство. 2018. №5. С. 16-20.

51. Поліщук І.С., Поліщук М.І., Палагнюк О.В. Картопля – важлива продовольча і високоенергетична культура Лісостепу Правобережного, збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету 2012. №1(57) С.94–99.

52. Васильченко В., Гузь М. Машины для садіння картоплі. *Агроном*. 2011. №1. С. 194-198.
53. Гунько, А.С., Іванов М.І., Шаргородський С.А. Моделювання роботи КШМ привода рамки гичкозрізальної машини. *Збірник наукових праць ВНАУ Вінниця*, 2012 вип. 10, т. 2(59) С. 54-58.
54. Верещагин Н.И., Пшеченков К.А., Герасимов В.С. Уборка картофеля в сложных условиях. Москва: Колос, 1983. 208 с.
55. Bulgakov V., Ivanovs S., Adamchuk V., Ihnatiev Y. Investigation of the influence of the parameters of the experimental spiral potato heap separator on the quality of work. *Agronomy Research*. 2017.V. 15, № 1. P. 44–54.
56. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Ружило З.В., Головач І.В., Ігнат'єв С.І. Експериментальне дослідження та обґрунтування параметрів сепаратора картопляного вороху. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 7. С. 60–66.
57. Farhadi R., Sakenian N., Azizi P. Design and construction of rotary potato grader. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2012. V. 18. P. 304–314.
58. Klindtworth M. Potato Technology. *Jahrbuch Agritechnik* (Frerichs L. Edit.) 2015. P. 1–12. 7. Aniket U., Dongre, Battase R., Dudhale S., Patil V. R., Chavan D. Development of potato harvesting model. *International Research J. of Engineering and Technology*. 2017. V. 4. P. 1567–1570.
59. Корнюшин В.М. Обґрунтування режиму роботи пруткових барабанів підкопувально-сепаруючого пристрою картоплезбиральної машини. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 5. С. 123–126.
60. Корнюшин В.М. Експериментальне дослідження пристрою для підвищення сепаруючої здатності картоплезбиральної машини. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Вип. 87. 2003. С.154–160.
61. Корнюшин В.М. Результати експериментальних досліджень картоплезбиральних машин з новим підкопувально-сепаруючим робочим органом. *Інженерія природокористування*. Харків, 2021, № 2(20). С. 68–74.
62. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник. Х.: Світ Книг, 2019. 496 с.

63. Пастушенко С.І., Гольдшмідт О.В., Ярошенко В.Ф. Курсове проектування деталей машин, 2016. Київ: Аграрна освіта. 358 с.
64. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Довбуш А.Д. Методи проектування сільськогосподарських машин: навчально-методичний посібник до курсового проектування. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2019. 72 с.
65. Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С., Мартишко В.М., Гуменюк Ю.О. Сільськогосподарські машини: навч. посіб. Київ : «Агроосвіта», 2017. 180 с.
66. Потапов В., Поперечни В., Корнічук В. Моделювання процесів та обладнання харчових виробництв: підручник. Х.: Центр навчальної літератури. 2019. 312 с.
67. Буреннікова Н.В., Зелінська О.В., Ушкаленко І.М., Буренніков Ю.Ю. Оптимізаційні методи і моделі: навч. Посібник, Вінниця: ВНТУ, 2019. 121с.
68. Сироватко К.М., Зотько М.О. Технологія кормів та кормових добавок: навчальний посібник, Вінниця: ВНАУ, 2020. 263 с.
69. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2020. 387 с.
70. Веселовська Н. Р., Руткевич В. С., Шаргородський С. А. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування. Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2019. 283 с.
71. Павленко В. С., Паламарчук І. П., Цуркан О. В., Полєвода Ю. А. З'єднання в машинобудуванні. Вінниця: ПП «ТД»Едельвейс і К», 2015. 110 с.

ДОДАТКИ