

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра Технології цукру і підготовки води

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології питної води та водопідготовки харчових виробництв»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри ТЦ і ПВ

Гусятинська Н.А.

“ ” 2021 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Боярчук Анни Леонідівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження використання природних сорбентів у технології підготовки води для отримання безалкогольних напоїв

керівник роботи Чернова Наталія Миколаївна, доцент,

кандидат технічних наук

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 26 ” 10 2020 року № 872кс

2. Строк подання здобувачем роботи 10 лютого 2021р

3. Вихідні дані до роботи: вода міського водопроводу з такими фізико-хімічними показниками : рН 6,8, жорсткість загальна 5,4 ммоль/дм³, лужність загальна 3,6 ммоль/дм³, вміст заліза загального 0,22 мг/дм³, перманганатна окиснюваність 3,2 мгО₂/дм³, загальний солевміст 216 мг/дм³.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. І. Аналітичний огляд літературних джерел. Аналіз сучасного стану застосування технології фільтрування для кондиціонування води у виробництві безалкогольних напоїв. Характеристика фільтрувального матеріалу. Способи зниження вмісту органічних речовин у воді. Аналіз сучасних способів проведення технологічних процесів. ІІ. Об'єкти і методи досліджень. Характеристика піску кварцового. Характеристика іонообмінної смоли Dowex HCR-S/S. Характеристика іонообмінної смоли Dowex SBR-P. Характеристика активованого вугілля Centaur. ІІІ. Експериментальні дослідження та їх оптимізація.

АНОТАЦІЯ

Дипломну роботу присвячено проблемам підготовки води для потреб харчової галузі, зокрема виготовленню безалкогольних напоїв.

Наведено показники якості питної води та підготовленої води для виготовлення безалкогольних напоїв.

У дипломній роботі запропоновано принципову технологічну схему пом'якшення водопровідної води з використанням кварцового піску Quartzline, активованого вугілля Centaur, механічного фільтра, катіонообмінної смоли Dowex HCR-S/S й аніонообмінної смоли Dowex SBR-P.

Наведено результати експериментальних досліджень ефективності роботи катіонообмінної смоли Dowex HCR-S/S у натрієвій формі по видаленню іонів жорсткості з водопровідної води для виготовлення безалкогольних напоїв. Встановлено ефективність застосування природного активованого вугілля марки Centaur, яке має каталітичні властивості, для видалення іонів металів, а саме заліза загального. Доведено видалення вільного залишкового хлору активованим вугіллям на 100%.

Значення фізико-хімічних показників якості води отримані експериментально з допомогою сучасних вимірювальних засобів у відповідності до діючих нормативно-технічних документів.

На основі проведених у динамічних умовах досліджень побудовано криву іонообмінної сорбції іонів жорсткості від об'єму пропущеного розчину та часу. Зроблено постановку задачі оптимізації та визначено її складові.

Ключові слова: водопровідна вода, іонний обмін, пом'якшення води, загальна жорсткість, катіоніт, Dowex HCR-S/S, Centaur, безалкогольні напої.

Робота складається з п'яти розділів, виконана на 102 сторінках, ілюстрована 9 таблицями і 10 рисунками, висновків, списку бібліографічних джерел з 61 найменування і шести додатків.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена проблемам подготовки воды для нужд пищевой отрасли, в частности изготовлению безалкогольных напитков.

Приведены показатели качества питьевой воды и подготовленной воды для изготовления безалкогольных напитков.

В дипломной работе предложено принципиальную технологическую схему умягчения водопроводной воды с использованием кварцевого песка Quartzline, активированного угля Centaur, механического фильтра, катионообменной смолы Dowex HCR-S/S и анионообменной смолы Dowex SBR-P.

Приведены результаты экспериментальных исследований эффективности работы катионообменной смолы Dowex HCR-S/S в натриевой форме по удалению ионов жесткости из водопроводной воды для изготовления безалкогольных напитков. Установлена эффективность применения природного активированного угля марки Centaur, который имеет каталитические свойства, для удаления ионов металлов, а именно железа общего. Доказано удаление свободного остаточного хлора активированным углем на 100%.

Значения физико-химических показателей качества воды получены экспериментально с помощью современных измерительных средств в соответствии с действующими нормативно-техническими документами.

На основе проведенных в динамических условиях исследований построено кривую ионообменной сорбции ионов жесткости от объема пропущенного раствора и времени. Сделано постановку задачи оптимизации и определены ее составляющие.

Ключевые слова: водопроводная вода, ионный обмен, умягчение воды, общая жесткость, катионит, Dowex HCR-S/S, Centaur, безалкогольные напитки.

Работа состоит из пяти разделов, выполнена на 102 страницах, иллюстрирована 9 таблицами и 10 рисунками, выводов, списка библиографических источников из 61 наименования и шести приложений.

ANNOTATION

The thesis is devoted to water purification problems of food industry needs, in particular the soft drinks production.

Drinking water indicators and prepared water quality for soft drinks production are given.

The thesis proposes basic tap water softening technological scheme by using Quartzline quartz sand, Centaur activated carbon, mechanical filter, Dowex HCR-S/S cation exchange resin and Dowex SBR-P anion exchange resin.

The experimental studies results of cation exchange resin Dowex HCR-S/S efficiency in sodium form for hardness ions removal from tap water for soft drinks manufacture are presented. The efficiency of using Centaur natural activated carbon with catalytic properties for metal ions removal, namely total iron, is established. The free residual chlorine removal by activated carbon is 100%.

The physico-chemical quality indicators values with modern measuring instruments help in accordance with current regulatory and technical documents are obtained experimentally.

The rigidity ions curve from passed solution volume and time on basis of carried out researches in dynamic conditions ion-exchange sorption is constructed. The optimization problem is set and its components are determined.

Key words: tap water, ion exchange, water softening, general hardness, cation exchange resin, Dowex HCR-S/S, Centaur, soft drinks.

The work consists of five sections, performed on 102 pages, illustrated with 9 tables and 10 figures, conclusions, a list of bibliographic sources with 61 titles and six appendices.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	8
Вступ	9
I. Аналітичний огляд літературних джерел.	14
1.1 Аналіз сучасного стану застосування технології фільтрування для кондиціювання води у виробництві безалкогольних напоїв.	14
1.2 Характеристика фільтрувального матеріалу.....	17
1.3 Способи зниження вмісту органічних речовин у воді.....	22
1.4 Аналіз сучасних способів проведення технологічних процесів....	25
II. Об'єкти і методи досліджень.....	30
2.1. Об'єкти досліджень.....	30
2.1.1. Характеристика піску кварцового	30
2.1.2. Характеристика іонообмінної смоли Dowex HCR-S/S	30
2.1.3. Характеристика іонообмінної смоли Dowex SBR-P	31
2.1.4. Характеристика активованого вугілля Centaur.....	33
2.2. Методи і методика проведення досліджень	33
2.2.1.Методика визначення рН	34
2.2.2. Методика визначення жорсткості води.....	34
2.2.3. Методика визначення лужності води.....	35
2.2.4. Методика визначення вмісту заліза загального.....	35
2.2.5. Методика визначення перманганатної окиснюваності.....	36
2.2.6.Методика визначення загальної мінералізації води.....	37
2.2.7. Методика визначення вільного залишкового хлору титруванням метиловим оранжевим.....	37
III. Експериментальні дослідження.....	38
3.1 Розрахунок ємності іоніту.....	53
3.2 Опис удосконаленої апаратурно-технологічної схеми доочищення води у виробництві безалкогольних напоїв.....	54
IV. Оптимізація дослідних даних.....	58

4.1	Теоретична частина.....	58
4.2	Постановка задачі оптимізації.....	59
4.2.1	Визначення оптимального об'єму очищеної води в процесі водопідготовки та зниження фізико-хімічних показників, які впливають на якість та стійкість безалкогольних напоїв.....	59
4.2.2	Визначення оптимального часу фільтрування в процесі доочищення водопровідної води та зниження фізико-хімічних показників, які впливають на якість безалкогольних напоїв.....	65
V.	Хіміко-технологічний контроль.....	71
5.1	Державне регулювання якості та безпечності харчових продуктів і продовольчої сировини.....	71
5.2.	Вхідний контроль виробництва. Зберігання і підготовка матеріалів. Тара для безалкогольних напоїв.....	77
5.3	Техніко-економічне обґрунтування виробництва з урахуванням впровадження удосконаленого способу (наукової розробки)	80
5.4	Екологічна частина.....	83
	Висновки	86
	Список використаних джерел.....	88
	Додаток А.....	94
	Додаток Б.....	95
	Додаток В.....	95
	Додаток Г.....	98
	Додаток Д.....	99
	Додаток Е.....	102

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДСанПіН – Державні санітарні норми та правила

ГДК – гранично допустима концентрація

ПМС – природні мінеральні сорбенти

АВ – активоване вугілля

ПО – перманганатна окиснюваність

рН – водневий показник

ФМ – фільтрувальний матеріал

ПАР – поверхнево-активні речовини

ВСТУП

Під час виробництва безалкогольних напоїв вода є одним з основних компонентів. Її якість має значний вплив на якість готових напоїв та їх стійкість при зберіганні. У залежності від походження вода має різні розчинені речовини, в основному – це кисень, двоокис вуглецю, мінеральні солі, органічні та неорганічні сполуки.

В останнє десятиліття асортимент та виробництво безалкогольних напоїв в Україні значно вирости [1]. Більша частина фірм-імпортерів постачають на ринок України безалкогольні напої з додаванням харчових добавок, які не дозволені для використання вітчизняною промисловістю, та приховують їх в рецептурі. Тому це призводить до великих проблем з якістю споживаних населенням безалкогольних напоїв.

На сьогоднішній час стоїть проблема з проведенням всебічної експертизи якості всіх видів безалкогольних напоїв, які імпортовані на ринки України [1].

Незаперечним лідером на ринку України залишаються мінеральні води. Солодкі газовані напої також займають досить суттєву частку ринку. Енергетичні напої демонструють динамічне зростання, тому що вони функціональні та підходять для кількох вікових груп: молоді люди та доросле покоління. Соки, квас та холодні чаї сприймаються як альтернатива, через те користуються найбільшою популярністю у незначних кількостях.

Мінеральні речовини, які знаходяться у воді, впливають на процес інверсії сахарози в процесі приготуванні цукрового сиропу, беруть участь у створенні смаку, крім того, вони обумовлюють розчинність двоокису вуглецю на стадії розливу напоїв та створенні колоїдної системи.

Присутність домішок заліза та марганцю у воді сприяє зміні забарвлення напоїв, а також при їх взаємозв'язку з дубильними речовинами плодово-ягідних соків спостерігається випадання осадів. Більша частина органічних сполук, які присутні у воді, негативно впливають на смакові якості та сприяють випаданню осаду колоїдного характеру при зберіганні напоїв [2].

Велику увагу необхідно приділити чистоті питної води з погляду її прозорості, кольоровості, мутності, відсутності зважених часток, органічних речовин, присмаку, запаху, вмісту бактерій та токсичних речовин.

Аналізуючи якість централізованого водопостачання по ряду таких показників як концентрація заліза, марганцю, перманганатної окиснюваності не завжди відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10, оскільки вони залежать від пори року. Сорбція – це один з основних способів підготовки питної води на пористих сорбентах (найчастіше фільтрування через нерухомий шар сорбенту). Для сорбентів використовують гранульоване та порошкове активоване вугілля, мінеральні адсорбенти, полімерні матеріали тощо.

В число природних сорбентів відносять гірські породи та мінерали, які мають високі адсорбційні, каталітичні, іонообмінні та фільтрувальні властивості [3].

Перспективним підходом до вирішення проблеми якості питної води є використання природних мінеральних сорбентів (ПМС), як в технологічних схемах на водопровідних станціях, так і для доочищення води споживачами.

При сучасних технологіях очищення води, які споживаються з поверхневих та артезіанських джерел питного водопостачання, необхідно використовувати природні та штучні матеріали для рішення різних задач. Реалізація даних сорбційних процесів із застосуванням активованого вугілля (АВ) або їхніх аналогів – графітмінеральних сорбентів. Для цих же цілей також використовують у якості фільтруючого матеріалу або контактного завантаження цеоліти, бентонітові глини, кліноптилоліти тощо. Вони дозволяють приблизно на 93-96% видаляти з вихідної води нафтопродукти, СПАР, канцерогенні, антропогенні сполуки, пестициди, хлорорганічні та інші розчинені речовини, поліпшуючи цим процеси освітлення води, організовувати її доочищення в місцях використання [4].

Використання адсорбентів, зокрема АВ, у процесах водопідготовки вивчено досить добре. Отримані дані в процесі дослідження використання АВ при очищенні питної води [4], дозволяють зробити висновок про те, що

дотримуючись ряду вимог до сорбентів досягаються високі показники очищеної води.

У воді містяться низько- й високомолекулярні органічні сполуки, пориста структура АВ повинна бути представлена розвитом мікро- і мезопористою структурою [3]. Структура залежить не тільки від технології активації, але також від сировини. Щоб одержати мікропористе вугілля використовують антрацит, оскільки в ньому переважає кристалічний вуглець.

Концентрація органічних сполук є важливим показником з точки зору подальшого знезаражування води, який здійснюється в даний час в основному хлоруванням. Під час цього процесу, за рахунок реакцій заміщення між хлором та органічними сполуками, можуть утворюватися канцерогенні хлорпохідні. Щоб вирішити цю проблему треба або видаляти вихідні органічні сполуки або видаляти утворювані хлорорганічні сполуки.

У своїх наукових дослідження автор [5] доводить, що найгірше видаляється з хлорорганічних сполук на активованому вугіллі – хлороформ. Встановлено, що середня ефективність видалення останнього з води складає 23%. Що до чотирьоххлористого вуглецю активоване вугілля має більшу сорбційну ємність: середня ефективність видалення його з води складає близько 50%. В процесі фільтрування через активоване вугілля з води видаляються трихлоретилен орієнтовно на 30-70%, трихлоретан на 50-70%, тетрахлоретилен на 60-80%.

Крім адсорбентів, які традиційно використовують у даних процесах в останній час проводиться ряд досліджень та практичних впроваджень із використанням як адсорбентів природних дисперсних мінералів. Оскільки у мінеральних сорбентів пориста структура та високорозвинена поверхня, що проявляють високі адсорбційні, каталітичні та іонообмінні властивості, здатні селективно вилучати із водних розчинів різні класи речовин. Економічна доцільність застосування даних сорбентів зумовлюється також існуванням ефективних методів регулювання їх геометричної структури і хімічної природи поверхні, існуванням в Україні великих промислових родовищ і невисокою

вартістю мінералів. При дослідженні адсорбційного очищення водних середовищ із застосуванням природних адсорбційних мінералів є завданням актуальним і важливим.

В основному застосовують природні та модифіковані матеріали у процесах очищення води фільтруванням. Для завантаження фільтрів традиційно використовують завантаження (кварцовий пісок, антрацит), які забезпечують видалення з води завислих речовин, механічних домішок та є інертними до істинно розчинених речовин та колоїдів.

Вода, яка призначена для харчових цілей, зокрема в безалкогольній промисловості проходить ряд певних технологічних операцій, що покращують її якість. В Україні приділяють належну увагу органолептичним і фізико-хімічним показникам якості води.

Метою роботи є удосконалення технології підготовки води з використанням природних сорбентів для виробництва безалкогольних напоїв.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення наступних завдань:

- провести дослідження ефективності процесу видалення сполук заліза, зменшення показників жорсткості загальної, перманганатної окиснюваності, вільного залишкового хлору та лужності загальної з водопровідної води з використанням природних сорбентів з метою отримання підготовленої води;
- розробити принципову технологічну схему доочищення водопровідної води до вимог підготовленої та провести відпрацювання технологічних режимів із застосуванням природних сорбентів;
- розрахувати основні технологічні параметри фільтрування;
- визначити оптимальні умови використання фільтрувальних та іонообмінних матеріалів для отримання підготовленої води;
- рекомендувати шляхи підвищення ефективності процесу доочищення води для потреб харчової галузі, зокрема для виготовлення безалкогольних напоїв.

Об'єкт дослідження: технологія підготовки води з використанням природних сорбентів для виробництва безалкогольних напоїв.

Предмет дослідження: вода питна; підготовлена вода; фільтрувальні та сорбційні матеріали різного походження.

Методи досліджень: експериментальні загальноприйняті, фізико-хімічні, титриметричні, спектрофотометричні методи контролю якості води питної і підготовленої. Кислотно-основні властивості розчинів досліджували методом рН-метрії. Загальну мінералізацію вимірювали за допомогою портативного солеміра. Експериментальні результати обробляли статистичними методами аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі експериментальних досліджень щодо видалення сполук загального заліза, йонів твердості, органічних речовин із водопровідної води методами фільтрування крізь зернисте завантаження, сорбції та іонного обміну створено наукові засади глибокого знесолення води екологічно сприятливими методами. Вперше проведено дослідження ефективності застосування активованого вугілля з каталітичними властивостями марки Centaur для доочищення водопровідної води від сполук заліза та вільного залишкового хлору для виробництва безалкогольних напоїв за високих швидкостей пропускання.

Практичне значення роботи. Запропонована принципово технологічна схема водопідготовки може бути впроваджена для проведення пілотних випробувань та відпрацювання технологічних режимів на природній воді, а також дана технологія може бути включена в матеріал навчального процесу для відповідних дисциплін.

Публікації: Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті", 2–3 квітня 2020 р. – Київ: НУХТ. – Ч.1. с.159, 182.

I. Аналітичний огляд літературних джерел.

1.1 Аналіз сучасного стану застосування технології фільтрування для кондиціювання води у виробництві безалкогольних напоїв.

На сьогоднішній день вимоги до якості підготовленої води при виробництві безалкогольних напоїв повинні містити ефективні способи видалення забруднень, що впливають на стійкість готової продукції. Для вибору способу очищення води насамперед необхідно задати якість питної води, а також оптимальну продуктивність виробництва.

Проблемою на сьогоднішній день є покращення фізико-хімічних показників води у виробництві безалкогольних напоїв. На безалкогольні напої припадає великий попит населення, що займає вагоме місце в розвитку економіки держави.

В процесі виробництва безалкогольних напоїв велику увагу приділяють наступним показникам води, такі як: рН, жорсткість, лужність, вміст $Fe^{2+,3+}$, Mn^{2+} , $Cl_{2\text{вільн.}}$, перманганатна окиснюваність, мікроелементний склад і мікробіологічні характеристики.

В процесі кондиціювання води для вибору фільтрувальних матеріалів (далі як ФМ) приділяють увагу наступним показникам, як: міжзернова пористість та ступінь однорідності поверхні пор, що забезпечують збільшення питомого об'єму підготовленої води при використанні великих швидкостей під час фільтрування, крім того матеріал повинен бути хімічно стійким та механічно міцним, для того щоб знизити ризики потрапляння його частинок під час руйнування до готової продукції [6].

Основні вимоги до якості ФМ є їх стійкість до питної води та реагентів. Дані вимоги обумовлені тим, щоб вода, яка фільтрується через ФМ, не адсорбувала дані речовини, які впливають на стійкість готової продукції та є шкідливими для здоров'я людей. Використовуваний ФМ не повинен руйнуватися під час відновлення його властивостей в процесі періодичних регенерацій.

Однією з проблем є порівняння обладнання водопідготовки по продуктивності та якості підготовленої води. Це зумовлено різноманітністю складу вихідної води та відсутністю єдиних показників якості очищеної води для різних типів обладнання. Продуктивність роботи фільтрувального обладнання, демінералізації та пом'якшення визначають за допомогою робочої швидкості потоку води через катіоніт або мікропористий мінерал, а якість вихідної води – швидкістю потоку через фільтруючий матеріал, концентрацією і витратою регенеранту [7].

Використання води, яка приведена вище за показниками для виробництва безалкогольних напоїв не може гарантувати високу якість та тривалу стійкість напоїв, тому що деякі показники питної води свідчать про наявність у ній різних мінеральних та органічних домішок у кількостях, що негативно впливають на якість готового продукту.

У питній воді міститься велика кількість різних домішок, що надходять до неї при проходженні через ґрунт, конденсації вологи в атмосфері, забрудненні побутовими та промисловими стоками. Під час випадання опадів у виді дощу та снігу у воді розчиняються кисень, двооксид вуглецю, азот, різні мінеральні речовини, складові речовини димових газів – продукти окиснювання, що взаємодіють з різними речовинами у ґрунті, утворюючи погано розчинні і нерозчинні у воді сполуки [7].

Велику увагу необхідно приділити чистоті питної води з погляду її прозорості, кольоровості, мутності, відсутності зважених часток, запаху, присмаку, органічних речовин, вмісту бактерій та токсичних речовин.

Залежно від джерела водопостачання, складу та якості питної води, яку використовують для технологічних потреб безалкогольного виробництва, вона обробляється по досить різноманітних технологічних схемах, що передбачає відстоювання, знезалізнення, коагуляцію, зм'якшення, зниження кольоровості, фільтрування, знезаражування, деаерацію та охолодження.

В процесі надходження питної води на підприємство з централізованих систем водопостачання перші дві стадії технологічної схеми обробки води

виключаються. Питна вода, яка надходить на заводи безалкогольних напоїв із нецентралізованих систем питного водопостачання, включаючи індивідуальні артезіанські свердловини, рік, відкриті водоймища та ін., повинна піддаватися освітленню методом відстоювання та коагуляції з наступним фільтруванням [2].

Вода, що використовується у виробництві безалкогольних напоїв, повинна відповідати санітарним нормам та вимогам. До органолептичних показників, які визначають якість води в безалкогольному виробництві, відносяться: колір, смак, запах та прозорість.

Вимоги до якісного та кількісного складу мінеральних домішок води, що використовують в технологічних цілях безалкогольного виробництва, наведені в табл. 1.1 [8].

Таблиця 1.1 Хімічні показники якості питної води для безалкогольних напоїв

№ з/п	Показник	Значення
1	Жорсткість (загальна), мг·екв/дм ³ , не більше	2,0
2	Лужність, мг·екв дм ³ , не більше	0,5-2,0
3	Перманганатна окиснюваність, мгО ₂ /дм ³	2,0
4	pH	3,0-7,0
5	Сухий залишок, мг/дм ³ , не більше:	500
6	Манган	0,05
7	Кальцій	2-4
8	Магній	Відсутність
9	Залізо	0,05
10	Алюміній	0,1
11	Сульфати	100-150
12	Хлориди	100-150
13	Мідь	1,0
14	Цинк	5,0
15	Нітрати	10
16	Нітроти	Сліди
17	Свинець	0,1

18	Кремній	2,0
19	Миш'як	0,05
20	Фтор	1,5

Концентрація активованого хлору у воді після хлорування має бути 6,0 - 10,0 мг/дм³, після дехлорування концентрація активованого хлору має відповідати нулеві [9].

Мікробіологічні показники питної води: кількість бактерій групи кишкової палички в 1 дм³, не більше ніж 3; загальна кількість бактерій у 1 см³ нерозбавленої води, не більше ніж 25 [9].

1.2 Характеристика фільтрувального матеріалу

Наявність у воді механічних забруднень вимагає установки фільтрів механічного очищення. Для завантаження даного фільтра використовують кварцовий пісок. На виробництві застосовують фільтрування води через керамічні фільтруючі патрони з пористої кераміки з порами розміром не більш 1,57 мкм, фільтри тонкого фільтрування з порогом затримки часток від 0,2 до 100 мкм [3].

Матеріал для фільтрування є основним робочим елементом фільтрувального обладнання, через це правильний підбір його параметрів має першорядне значення для їх нормальної роботи. В процесі вибору фільтруючого матеріалу основним показником є його вартість, можливість отримання в районі будівництва даного фільтрувального комплексу та дотримання певних технічних вимог, до яких належать: належний фракційний склад завантаження; механічна міцність; певний ступінь однорідності розмірів його зерен; хімічна стійкість матеріалів по відношенню до фільтрованої води [10].

Фракційний склад та ступінь однорідності розмірів зерен фільтруючого завантаження істотно впливають на роботу фільтру. При використанні крупнішого фільтруючого матеріалу, аніж це передбачено, призводить до зниження якості фільтрату. При використанні дрібнішого фільтруючого матеріалу призводить до зменшення фільтроциклу, перевитрату промивної

води та дорожчання експлуатаційної вартості очищення води [10].

При використанні фільтруючих матеріалів із великим ступенем неоднорідності по величині зерен, яке перевищує допустимі межі, погіршує умови їх промивки, оскільки винесення верхніх дрібних фракцій почнеться раніше, ніж прийде в рух основна маса зерен завантаження [3]. Даний процес змушує знизити інтенсивність промивки, щоб припинити винесення дрібних фракцій.

Одним із важливих показників якості фільтруючого матеріалу є його механічна міцність. При подрібненні та стиранні матеріалу відбувається збільшення гідравлічного опору верхнього шару фільтруючого завантаження через забивання дрібною та винесення подрібнених зерен з промивною водою, тобто безповоротна втрата фільтруючого матеріалу [10]. Механічну міцність фільтруючих матеріалів оцінюють двома показниками: подрібнюваністю (відсотком зносу внаслідок розтріскування зерен) та стираемістю (тобто відсотком зносу матеріалу внаслідок тертя зерен один об одне під час промивок).

Хімічно-стійким вважають фільтруючий матеріал, який дає приріст розчиненого залишку не більше 20 мг/дм^3 , окисності – $10 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ та кремнієвої кислоти – 10 мг/дм^3 [10].

Одним із найважливіших характеристик фільтруючого матеріалу є міжзернова пористість засипки, форма зерен та щільність. Зерна незграбної форми, які мають шорстку поверхню, характеризуються підвищеним ефектом адсорбції домішок, а велика пористість засипки забезпечує менший гідравлічний опір фільтруючого завантаження.

В [11] автором встановлено, що щільність зерен фільтруючого матеріалу визначає необхідну інтенсивність промивки фільтруючого завантаження та визначає технологічний режим роботи контактних освітлювачів.

Одним із найбільш поширеніших фільтруючих матеріалів є кварцовий пісок – річковий або кар'єрний. Кварцовий пісок із невеликим вмістом домішок вапняку відповідає всім вище переліченим вимогам, що пред'являються до

фільтруючих матеріалів. Одночасно з піском застосовують антрацит, горілі породи, керамзит, шунгізит, вулканічні та доменні шлаки, гранодіорит, пінополістирол та ін. [6].

В [12] авторами досліджено зерна роздробленого антрациту, керамзиту та шунгізиту. Антрацит має нижчу щільність, ніж кварцовий пісок, і тому його зазвичай використовують як верхній шар завантаження двошарових фільтрів. Керамзит є гранульованим пористим матеріалом, який отримують випаленням глинистої сировини в спеціальних печах. Шунгізит отримують шляхом випалення природного маловугленосного матеріалу – шунгіту – який за своїми властивостями близький до роздробленого керамзиту.

У статті була проведена оцінка зерен кварцового піску. Вони повинні бути округлої форми. Основна кількість фракції з діаметром зерен від 0,8-1,0 мм повинна складати не менше 75% від загальної кількості піску, що завантажується у піщаний фільтр [12]. У кварцовому піску не допускається присутність крейдових, глинистих, вапняних та інших забруднень.

При надходженні на завод кварцового піску, крім сортування за величиною зерен, ретельно відмивають водою та застосовують розчин соляної кислоти концентрацією 2-3%, після чого знову промивають водопровідною питною водою до повного видалення залишків кислоти [12].

У підтримуючу систему піщаного фільтра засипають три шари кварцового піску [6].:

- розмір часток 2,0-3,0 мм - висота шару 50 мм;
- розмір часток 1,0-2,0 мм - висота шару 150 мм;
- розмір часток 0,5-1,0 мм - висота шару 800 мм.

У [13] досліджено фільтрувальні характеристики зернистого завантаження «Сорбент АС» і кварцового піску. Вивчено теорію моделювання технологічного процесу фільтрування суспензій, яку описав Д.М. Мінц. Ним проведені дослідження для визначення параметрів фільтрування та часу пропускної дії забруднень. В результаті експерименту встановлено, що «Сорбент АС» є більш ефективним завантаженням для очищення води від заліза в порівнянні з

кварцовим піском.

Установки для знезалізнення досить різноманітні. Процес видалення заліза з води проводили за допомогою: безреагентних способів (аеруванням і фільтруванням на каркасних фільтрах) та реагентних (коагулюванням – окисненням – фільтруванням, як з наступним коагулюванням – флокуляцією – відстоюванням – фільтруванням, так і без них) [14].

В процесі використання каталізаторів у напірних фільтрах знезалізнення дозволяє досягти більш високих швидкостей обробки води. Як фільтруючі матеріали використовуються Manganese Greensand, Birm, Aqua Mandix.

Процесом пом'якшення води називають видалення з води катіонів жорсткості, тобто Ca^{2+} і Mg^{2+} . Відповідно до вимог ГОСТ 2874-82 жорсткість води, призначеної для господарсько-побутових цілей, не повинна перевищувати $7 \text{ мг} \cdot \text{екв} / \text{дм}^3$. За узгодженням з органами санітарно-епідеміологічної служби ця норма може бути збільшена $10 \text{ мг} \cdot \text{екв} / \text{дм}^3$ [14].

Загальна жорсткість води є сумою карбонатної (тимчасової) та некарбонатної (постійної) жорсткості. Карбонатна жорсткість обумовлена присутністю у воді в основному гідрокарбонатів Ca^{2+} і Mg^{2+} . Некарбонатна жорсткість обумовлена присутністю кальцієвих і магнієвих солей сірчаної, соляної і азотної кислот [15].

Авторами [16] вивчено наступні методи для пом'якшення води:

- термічні, засновані на нагріванні води, її дистиляції або виморожуванні;
- реагентні, при яких іони Ca^{2+} і Mg^{2+} , які знаходяться у воді, зв'язуються різними реагентами в практично нерозчинні сполуки;
- іонного обміну, засновані на фільтруванні зм'якшуваної води через спеціальні матеріали, які обмінюють вхідні в їх склад іони Na^+ , H^+ на іони Ca^{2+} або Mg^{2+} , що містяться у воді;
- комбіновані – різні поєднання перерахованих методів.

Смирнов А.Д. описує процес іонного обміну заснований на здатності іонообмінних матеріалів або іонітів поглинати з розчину електроліту позитивно та негативно заряджені іони в обмін на еквівалентну кількість однойменно

заряджених іонів іоніту [17]. Визначена здатність іонітів до іонного обміну пояснюється їх специфічною структурою, яка складається з твердої нерозчинної у воді молекулярної сітки (матриці), до окремих місць якої на поверхні та всередині її маси приєднані хімічно активні функціональні групи атомів іоніту, які мають електричний заряд. Даний заряд компенсується протилежним за знаком зарядом рухомого протиіона, здатного переміщуватися усередині гранули іоніту та обмінюватися з іншими іонами в розчині. Фіксовані іони з протиіонами утворюють іоногенні, або активні групи [17].

Розділення катіонітів за складом проводять на мінеральні й органічні, що у свою чергу розділяються на катіоніти природного та штучного походження. З практики водопідготовки у катіонітів природного походження іноді застосовують глауконітовий пісок та гумусове вугілля. Мінеральні катіоніти штучного походження готують змішанням розчину сульфату алюмінію з розчинами соди та рідкого скла [16].

Автори [16] проаналізували фізичні властивості катіонітів, які залежать від їх фракційного складу, механічної міцності та насипної щільності. Обмінними іонами у катіонітах можуть бути присутні катіони H^+ , Na^+ , NH_4^+ . Фракційний (або гранулометричний) склад характеризує експлуатаційні властивості катіонітів та визначається ситовим аналізом. При цьому враховуються: ступінь однорідності й кількість пилоподібних частинок, середній розмір зерен, не придатних до використання.

У аніонітах містяться наступні хімічно активні функціональні групи: слабкоосновні первинні ($-NH_2$), вторинні ($=NH$), третинні ($-N$) аміногрупи, сильноосновні четвертинні амонієві групи ($-N^+R_3$).

В залежності від хімічного складу згідно [16] аніоніти поділяються на слабкоосновні, які здатні до обміну аніонів тільки в кислому середовищі, та сильноосновні, які обмінюють іони в будь-яких середовищах. До складу аніонітів можуть бути введені різні обмінні аніони. У практиці водопідготовки такими обмінними аніонами є OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- .

Якісні характеристики аніонітів визначено у статті [18] такими ж показниками, що і катіонітів. Основним показником для них є робоча обмінна ємність. Показано, що на протипагу катіонітам, робоча обмінна ємність яких підвищується із збільшенням рН фільтрованої води, робоча обмінна ємність аніонітів тим більше, чим нижча величина рН, тобто чим вище кислотність фільтрованої води.

Після того як замінили обмінні іони іоніту йонами розчинених у воді електролітів іоніт виснажився та втратив здатність обмінювати іони. Регенерація іонітів, тобто відновлення їх обмінної ємності, досягається фільтруванням через шар виснажених іонітів регенераційних розчинів, а також в якості яких застосовують: при Na-катіонуванні – NaCl; при NH₄-катіонуванні – NH₄Cl; при H-катіонуванні – HCl, розбавлений розчин H₂SO₄; при OH-аніонуванні – NaOH, NH₄OH; при CO₃-аніонуванні – Na₂CO₃, NaHCO₃ [18].

Автор [17] показує проведення регенерації іоніту у три послідовні етапи:

1 – розпушування завантаження іонообмінного фільтру при подачі розпушуючої води зверху вниз;

2 – пропуск регенераційного розчину (власне регенерація).

Залежно від того, як пропускається через фільтр регенераційний розчин, фільтри можуть бути:

- паралельноточні, в яких оброблювана вода та регенераційний розчин пропускаються через фільтр в одному напрямку;
- протиточні, в яких вода та регенераційний розчин пропускаються через фільтр у протилежних напрямках;

3 – відмивання завантаження фільтру від регенераційного розчину та продуктів регенерації.

1.3 Способи зниження вмісту органічних речовин у воді

Усунення неприємних присмаків та запахів, органічних забруднень, активованого хлору досягається окиснюванням та сорбцією. Органічні домішки води добре сорбуються активованим вугіллям та руйнуються сильними окиснювачами.

Процес окиснювання проводять перманганатом калію, хлором, діоксидом хлору, озоном. Махорин К.Е. стверджує, що використання хлору та його сполук є небажаним процесом знезараження, оскільки вони додають воді властиві їм неприємний запах та присмак [19]. Виходячи з приведених результатів можна сказати, що діоксид хлору майже не реагує з органічними речовинами у воді та не утворює шкідливі для здоров'я людини хлорорганічні сполуки, крім того він має сильно виявлений дезінфікуючий ефект у широкому діапазоні рН.

Дешевим способом, що набуло широкого застосування в процесі дезодорації є використання активованого вугілля. Використовують порошкоподібне та гранульоване активоване вугілля. Автори [4] врахували, що пропускна здатність вугільних фільтрів для видалення органічних сполук з води в 2 рази нижча, ніж їх пропускна здатність при видаленні хлору.

В [20] досліджено, що при обробці води активованим вугіллям підвищується дегустаційна оцінка напоїв. Таким чином виготовлена продукція на такій воді є наслідком зниження вмісту домішок органічних речовин та підвищення ефективності дії активованого вугілля при підготовці води в процесі виробництва безалкогольних напоїв.

Подрібнене або гранульоване активоване вугілля (далі – АВ) як найбільш універсальний сорбційний матеріал для видалення з води розчинених органічних речовин природного та неприродного походження.

У роботі [21] досліджено використання у промисловості відновленого активованого вугілля марки БАУ-А і БАУ-МФ. Згідно цього ефективність очищення води новим активованим вугіллям цих марок досягає 95-97%, то відновленим складає 85-88%.

Для підвищення ступеня очищення води від органічних домішок її пропускали через вугільне завантаження марки АГ-3 (АГ-5) або ДАК. В процесі очищення води від неприємного запаху, з підвищеним вмістом хлору та кольоровістю використовували установки з гранульованим активованим вугіллям КАС.

Для забезпечення зменшення концентрації вільного хлору в підготовленій воді до рівня не більш $0,02 \text{ мг/дм}^3$ та видалення більшої частини розчинених органічних сполук у роботі [19] застосовано активоване вугілля марки GAC-A 8009 із шкарлупи кокосових горіхів, спеціальних твердих порід. Вугілля має високу пористість та низький коефіцієнт стирання.

В [4] вивчені переваги адсорбційного методу, засновані на можливості видалення забруднень практично до мінімальної залишкової концентрації незалежно від їхньої хімічної стійкості. На сьогоднішній день на підприємствах використовують як адсорбенти активоване вугілля марок БАУ-А, АГ-3, АГ-5, КАД. Проте активоване вугілля цих марок має низьку механічну міцність, вимагає часті заміни, після регенерації не цілком відновлює свою адсорбційну активність та має невеликий об'єм сорбційного простору.

Після обробки води активованим вугіллям цих марок поліпшувалися її органолептичні властивості, але майже не зменшувалась масова концентрація марганцю, нітратів, заліза, нітритів, сірководню, амоніаку. В процесі очищення води застосовували також активоване вугілля марок Filtrasorb F-300, Filtrasorb F-500, Filtrasorb F-600 виробництва фірми "Chemviron Carbon" [19].

На міських станціях водопідготовки використовують порошкове АВ однократно до або під час коагуляції води. В [21] вивчено, що найбільшу ефективну площу поверхні має волокнисте АВ, може застосовуватися в фільтрах спеціальної конструкції. На сьогоднішній день волокнисте АВ знайшло широке застосування у побутових фільтрах очищення води. У водопідготовці широко застосовують зернисте АВ різного походження (антрацитове, кокосове, деревне, кам'яновугільне і т.д.), оброблене в спеціальних умовах для утворення розвинутої системи пор.

Для видалення органічних домішок природного походження все більш ефективними стають полімерні сорбційні матеріали. Досліджено [21], що високою пористістю характеризується деревне АВ (від $1,8 \text{ см}^3/\text{г}$ до $2,0 \text{ см}^3/\text{г}$), воно має широкий розподіл пор за розмірами та характеризується більшою питомою поверхнею. Встановлено, що даний тип активованого вугілля має

високу зольність, низьку механічну міцність та густину, що сприяє збільшенню вмісту силікатів, твердості, лужності, заліза у підготовленій воді.

Науковці [20] визначили, що АВ на кам'яновугільній основі має значно кращі гідравлічні та механічні характеристики, які дають змогу застосовувати його в фільтрах з нерухомим або рухомим шаром та різними габаритними розмірами. Досліджене активоване вугілля, виготовлене з шкаралупи кокосового горіха має низьку зольність, високу міцність, стабільний оптимальний гранулометричний склад та високу ємкість.

Блок сорбційного очищення води активованим вугіллям (АВ) є одним з найбільш застосовуваних для:

- покращання смаку, запаху і зменшення забарвленості води;
- видалення з води розчинених органічних речовин;
- видалення активованого хлору і хлорорганічних речовин;
- видалення марганцю, азотовмісних сполук, заліза та інших токсичних елементів.

Когановський А.М. у своїх наукових дослідженнях [18] показав, що одночасно з високим ефектом очищення води від органічних домішок активованим вугіллям підвищується твердість, лужність, масова концентрація карбонатів, ортофосфатів, силікатів у підготовленій воді. Даний процес негативно впливав на якість готової продукції, в якій утворювалися осади і погіршувались фізико-хімічні та органолептичні показники напоїв. Вище згадане вказує на необхідність удосконалювати існуючі технологічні способи очищення води для приготування безалкогольних напоїв.

1.4 Аналіз сучасних способів проведення технологічних процесів

Сакалова Г.В. та Василінич Т.М. проводили дослідження адсорбційного очищення промислових стоків від іонів важких металів [22]. Ними запропоновано підвищення інтенсивності осадження відпрацьованого сорбенту шляхом укрупнення частинок внаслідок їх агломерації в результаті введення в систему флокулянта. В роботі проаналізовано існуючі методи адсорбційного очищення стічних вод від іонів нікелю(II), цинку(II) та хрому(III). Використані

ними глинисті сорбенти є достатньо ефективними при вилученні фосфатів. Вони можуть застосовуватися для очищення промислових стічних вод з підвищеною кислотністю.

Науковцем Ладичук Д.О встановлено, що у більшості випадків забруднення води відбувається при русі по водопровідній мережі [23]. Результати дослідження стверджують, що у зразках питної води кінцевих водокористувачів мінералізація була значно вищою, ніж у зразках води зі свердловин, що свідчить про низький технічний стан водопровідної мережі.

Дослідження показали, що матеріал труб спричиняє вплив на мінералізацію питної води тільки з тривалістю їх використання. У роботі запропоновано використовувати трубопроводи з металопластику, оскільки науковцем доведено, що з часом їх використання є більш сприятливими для забезпечення високої якості питної води.

У роботі [24] наведено спосіб водопідготовки, який складається з двох стадій. Перша включає пом'якшення води на Na-катионітовому фільтрі, а друга відрізняється тим, що подальше очищення відбувається на плоскорамній баромембранній зворотноосмотичній установці, яка дозволяє знесолювати воду та коректувати її іонний склад з одночасним її знезараженням та дезактивацією, при оптимальних тиску 0,3 - 0,8 МПа та температурі 10-30°C.

В результаті очищення води за запропонованою схемою водопідготовки отримали воду, хімічні показники якої повністю задовольняють вимоги технологічних регламентів лікєро-горілочного та пиво-безалкогольного виробництва.

Авторами [25] пропонується в якості наповнювачів для мембран зворотного осмосу застосовувати природні полісахариди, а саме хітин та хітозан. Вони характеризуються особливими хімічними та біологічними характеристиками, мають високу бактерицидну дію, а також здатність до хелатоутворення з іонами важких металів, що сприяє їхньому видаленню.

В роботі [26] наведені результати дослідження хітозанових плівок, сформованих сухим способом та розглянуті можливості їх модифікації з метою

упорядкування структури та зменшення розчинності. На думку авторів досить актуальним є питання іммобілізації хітозану на поверхні мембран з метою покращення їх функціональності.

Аналізуючи наведені дані [27], можна зробити висновок, що використання мембранних процесів для обробки води є не тільки важливим технічним, а й екологічним та соціальним завданням розвитку харчової промисловості. Під час використання мембранних процесів із води видаляються зважені речовини, віруси, бактерії без зайвих витрат електроенергії. Крім того, застосування баромембранних технологій у процесах водопідготовки та водоочищення є особливо перспективним, оскільки ці методи дозволяють отримувати якісну очищену воду з високими яскраво вираженими фізико-хімічними та мікробіологічними показниками без використання реагентів.

Авторами [27] запропоновано вирішення проблеми шляхом економії витрат води із застосуванням сучасних мембранних технологій, що дозволяє значно зменшити кількість концентрованих стоків (ретентату) після зворотного осмосу та загального об'єму води.

Пузий А., Пасальский Б., Чикун Н. розробили технологію отримання фосфоровмісних сорбентів, які порівняно з активованим вугіллям є селективними та достатньо ефективними при адсорбції іонів важких металів із водних розчинів [28]. Фосфоровмісні сорбенти було одержано із відходів сільськогосподарської продукції, а саме качанів кукурудзи та фруктових кісточок, деревообробної промисловості. Також встановлено, що застосування цих природних матеріалів приводить до вирішення проблеми утилізації відходів виробництва. При цьому вони встановили ряд переваг перед іонообмінними матеріалами в динамічному режимі.

Дослідивши, що фосфоровмісне вугілля має високу хімічну стійкість і велику адсорбційну ємність, воно має перспективність використання в підготовці питної води для очищення від іонів важких металів.

У своїх наукових працях фахівці [29] наводять результати дослідження побутових стічних вод. Ними проаналізовано значення показників з використанням статистичних параметрів на основі європейських стандартів. Зібрані дані включали обсяги і характеристики органічних забруднень (ХСК і БСК), окремих елементів (N, P, K і S) і важких металів для різних джерел та розділених потоків стічних побутових вод. Порівняння проводилось між даними з різних регіонів з метою оцінки впливу відмінностей в харчуванні і звичках. Встановлено, що знання концентрацій або навантажень в потоках стічних вод є однією з основних умов для проектування установок з очищення стічних вод і оцінці впливу на навколишнє середовище.

В роботі [30] представлені результати процесу електрокоагуляції для змодельованого в лабораторних умовах зразка стічних вод з використанням залізних електродів. Досліджуваний зразок води був підготовлений до електричної обробки, а змодельована система підтримувала продуктивність аналізу в семи повторних дослідах, створюючи базу даних для достовірної статистичної та математичної обробки. Електрокоагуляція стічної води проводилась за допомогою хронопотенціометричної установки в статичних умовах при постійній силі струму $I = 0,3$ А. Результатом досліджень було визначення таких показників як рН, каламутність, хімічне споживання кисню, концентрація зважених твердих частинок та сумарна концентрація фосфору в очищених стічних водах після електрокоагуляції.

Науковцями [31] запропоновано новий метод визначення оптимальної дози залізного електрокоагулянту. Цей метод дає можливість визначити точну дозу електрокоагулянту. За рахунок збільшення дози встановлено ефективність видалення сполук фосфору з модельних розчинів стічних вод.

Гевод В. С. та Кравченко В. В. у своїй науковій статті [32] дослідили інноваційний спосіб комбінованого очищення води. Він полягає в тому, що забезпечувалось видалення з води мінеральних тонкодисперсних суспензій і колоїдних частинок, розчинених ПАР, іонів важких металів та тригалометанів, без використання будь яких реагентів і витратних матеріалів.

Цей спосіб включає процес обробки води бульбашковою флотацією, з подальшою обмінною сорбцією та біологічною фільтрацією через зернисте завантаження. Застосовані природні флокулянти підвищують ефективність освітлення води і забезпечують вилучення з води додаткової кількості розчинених домішок, так як аеробне біообростання, інкубоване на зернах фільтруючого завантаження, виконує роль біофільтрів. В результаті досліджень отримано, що цей спосіб очищення води є ефективнішим, аніж використання витратних адсорбційно-фільтруючих і мембранних матеріалів при доочищенні води.

Іонообмінний поділ аніонів солей проводили науковці у своїх дослідженнях з використанням високоосновного аніоніта АВ-17-8 в хлоридній, основній, карбонатній і основно-карбонатній формі [33]. Варто відзначити, що ефективність поділу цих іонів знижується з підвищенням їх початкової концентрації. В цілому можна сказати, що ефективність поділу сульфатів, хлоридів і нітратів була досить високою. Поділ аніонів солей в стічних водах доцільно проводити на стадії попередньої обробки води перед її зворотноосмотичним опрісненням. За умови попереднього вилучення сульфатів і нітратів завдання переробки концентратів зводиться до утилізації розчинів, що містять тільки хлориди. Для подальшої переробки хлоридних розчинів доцільно використовувати метод електродіаліз.

Підвищення рівня мінералізації водою відбувається за рахунок скидання недостатньо очищених стічних вод, що призводить до накопичення сульфатів, хлоридів, нітратів і іонів жорсткості. Для вирішення даних проблем необхідно розробляти ефективні технології очищення високо мінералізованих вод з метою зниження дефіциту прісної води і зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище.

II. Об'єкти і методи досліджень.

2.1. Об'єкти досліджень.

Всі експериментальні дослідження проводились в науково-дослідній лабораторії кафедри технології цукру і підготовки води Національного університету харчових технологій.

Об'єктами досліджень були:

- іонообмінна смола Dowex SBR-P [34].
- іонообмінна смола Dowex HCR-S/S [34].
- вода питна Київського міського водогону згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 [9];
- пісок кварцовий Quartzline, фракція 1,6-2,5.
- активоване вугілля Centaur [35].

2.1.1. Характеристика піску кварцового

Пісок Quartzline із фракцією 1,6-2,5мм був спеціально підготовлений. Він відповідає вимогам для підготовки питної води згідно ТУ У 14.2-32960402-001:2007.

- структура піску має більшу площу для фільтрування води.
- високий показник брудомісткості структури зерна. При зворотній промивці пісок віддає накопичений бруд.
- високі фізико-хімічні показники на стирання та подрібненість.
- мінімальний вміст оксиду заліза в хімічному складі.

2.1.2. Характеристика іонообмінної смоли Dowex HCR-S/S

Dowex HCR-S/S (іонообмінна смола) – це сильнокислотна катіонообмінна смола, яка була розроблена корпорацією DOW Chemical (США) для застосування в побутових, комерційних і промислових системах пом'якшення води.

Даний фільтруючий матеріал має високу обмінну ємність, яка забезпечує відмінні робочі характеристики і здатність ефективно видаляти солі жорсткості. Матеріал хімічно, фізично і термічно стабільний.

Основні переваги [34]:

- під час фільтрування води через катіоніт проходить заміна іонів жорсткості Ca^{2+} та Mg^{2+} на іони Na^+ .
- процес заміни іонів кальцію та магнію на іони натрію забезпечує відсутність накипу на нагрівальних поверхнях котлів і теплообмінників. Під час пропускання води через шар катіоніту концентрація іонів натрію здатних до обміну зменшується, а концентрація іонів кальцію та магнію, затриманих на смолі, зростає, тобто катіоніт «виснажується». Тому його необхідно регенерувати – пропустивши через шар катіоніту розчин хлориду натрію, завдяки чому обмінна ємність катіоніту відновлюється;
- в процесі регенерації іони кальцію і магнію поступають в дренаж, а катіоніт збагачується іонами натрію із розчину солі.

Таблиця 2.1. Технічні характеристики іонообмінної смоли Dowex HCR S/S [34].

Продукт	Тип	Матриця	Функціональна група
Dowex™ HCR-S/S	Сильнокислотний катіоніт	Стирол-ДВБ, гелева	Сульфонова кислота
Параметр		Значення	
Іонна форма при поставці		Na^+	
Повна обмінна ємність, г-екв/дм ³		1,9	
Вміст вологи, %		48-52	
Кількість цілих гранул, %		90	
Щільність гранул, г/см ³		1,3	
Насипна вага, г/дм ³		800	

2.1.3. Характеристика іонообмінної смоли Dowex SBR-P

Іонообмінна смола Dowex SBR-P – це спеціальний фільтруючий матеріал, який необхідний для демінералізації води у водяних фільтрах (пом'якшувачах), випускається компанією Ecosoft. Це продукт провідного американського хімічного концерну The DOW Chemical Company, який проходить всі необхідні види сертифікацій в США і Європейському Союзі.

Іонообмінна смола Dowex SBR-P – це гелевий матеріал (стирол-дивінілбензолний сополімер) постачається у вигляді гранул, його відносять до сильно основних аніонітів. Дана смола повністю нешкідлива для людини та навколишнього середовища.

Характеристики іонообмінної смоли [34]:

- щільність гранули – 1,08 г/мл;
- діаметр від 0,3 до 1,2 мм;
- вологість – 50 – 56%;
- робочий цикл – 5 – 50 м/год;
- повна обмінна ємність – 1,3 г-екв/ дм³;
- насипна маса – 690 г/дм³.

Зниження лужності аніонітом у хлоридній формі. Даний метод включає пом'якшення води у аніонітовому фільтрі, дозуючи кислоту (соляну чи оцтову) в пом'якшену воду та видалення вуглекислого газу в дегазаторі [16]. Недоліком даного методу є те, що підготовлена вода має підвищену концентрацію хлоридів на величину, еквівалентну зменшенню лужності.

Зниження лужності води за схемою послідовного Na-Cl-іонування. Дана схема включає у себе послідовно працюючі фільтри з катіонітом у натрієвій формі та аніонітом у Cl-формі. Дана схема дозволяє отримати пом'якшену воду із зменшеним рівнем лужності, та при цьому в обох фільтрах для регенерації витрачається один реагент – хлорид натрію, який не вимагає антикорозійного захисту обладнання.

Наведені вище технологічні прийоми дозволяють отримати воду заданої та високої якості з вихідної, яка має різний склад та солевміст не більш 500 мг/дм³ [16]. У ситуаціях, коли солевміст більш 500 мг/дм³ використовують метод демінералізації на установках зворотного осмосу та значно рідше – іонного обміну.

У перших схемах відсутня потреба використовувати великі кількості кислоти та лугу, а в других є нижчі вимоги до попередньої підготовки води, нижча вартість, а також вища якість підготовленої води.

2.1.4. Характеристика активованого вугілля Centaur

Centaur (вугілля) (виробник: Chemviron Carbon (Бельгія)) отримують за спеціальною запатентованою технологією. Він є бітумінозним гранульованим сорбентом, який має високу каталітичну здатність [19]. Даний матеріал ефективно видаляє залізо, сірководень та хлораміни. Так як інші фільтруючі матеріали на основі активованого вугілля, Centaur можуть регенерувати свої властивості шляхом розпушування зворотним потоком води. Відновлення сорбенту проводиться без застосування реагентів.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики [35]:

Зовнішній вигляд	гранули чорного кольору
Розмір гранул, US Mesh 08x30	0,6 – 2,36 мм
Середній діаметр частин	0,9 – 1,1 мм
Твердість	75 %
Площа поверхні	900 м ² /г
Щільність шару після промивання й усадки	500 кг/м ³
Вміст вологи при упакованні (макс.)	3 %
Коефіцієнт однорідності	1,9
Йодне число (мін.)	825 мг/г
Пероксидне число (макс.)	19

Таблиця 2.3 – Умови застосування АВ Centaur (HSL 8×30):

Залізо	< 3 мг/дм ³
Марганець	< 0,5 мг/дм ³
Сірководень	5 балів
Окиснюваність	< 5 мгО ₂ /дм ³
pH	< 7,5

2.2. Методи і методика проведення досліджень

У даній роботі були використані експериментальні загальноприйняті: фізико-хімічні, органолептичні, титрометричні, потенціометричні, моделювання, капілярно-електрофоретичні методи контролю якості води

питної і підготовленої, сировини та готової продукції, спектрофотометричні, математико-статистичні планування та оброблення результатів експерименту.

2.2.1.Методика визначення рН

Визначення показника рН проводили потенціометричним методом, що ґрунтується на застосуванні оборотних електродів, потенціал якого залежить від вмісту іонів водню в досліджуваному розчині. Отримання показнику потенціалу електроду проводили за допомогою вимірювання електрорушійної сили елемента, що складається з стандартного електроду з постійним потенціалом (електрод порівняння) та досліджуваного електроду з невідомим потенціалом, що залежить від концентрації водневих іонів у розчині.

Порядок виконання роботи: Увімкнули прилад в мережу. Прогріли прилад 20-30 хвилин. Занурили електроди в склянку з досліджуваним розчином на 1-2 хвилини. На цифровій шкалі було вказано значення рН.

2.2.2.Методика визначення жорсткості води.

Реактиви:

- Розчин комплексону III, 0,02 мг·екв/дм³;
- Буферний розчин з рН ~ 10;
- Індикатор еріохром чорний Т;
- Стандартний розчин хлориду цинку, 0,01 мг·екв/дм³;

Порядок виконання роботи: У конічну колбу об'ємом 150 – 200 см³ піпеткою внесли 100 см³ води, додали 5 см³ буферного розчину з рН ~10 і 5 – 7 крапель індикатору (або 10 – 15 мг сухої суміші). Суміш перемішали та титрували розчином комплексону III до переходу червоно-фіолетового забарвлення розчину в блакитне.

Загальну твердість води C_x (мг·екв/дм³) обчислили за рівнянням:

$$C_x = \frac{C \cdot V_1 \cdot 1000}{V}$$

де C – концентрація розчину комплексону III, мг·екв/дм³; V_1 – об'єм розчину комплексону III, витрачений на титрування, см³; V – об'єм проби води, см³.

2.2.3. Методика визначення лужності води

Реактиви:

- Метилловий помаранчевий;
- Фенолфталеїн;
- Розчин їдкою натрію з концентрацією $C(\text{NaOH}) = 0,1$ моль/дм³;
- Розчин соляної кислоти з концентрацією $C(\text{HCl}) = 0,1$ моль/дм³.

Порядок виконання: До 100 см³ досліджуваної води в конічну колбу об'ємом 250 см³ додали 2 – 3 краплі розчину фенолфталеїну. Після чого вода не забарвилась. Потім в ту саму колбу додали 2 – 3 краплі розчину метилового помаранчевого та продовжили титрування 0,1 М розчином соляної кислоти до зміни забарвлення з жовтого на рожеве. Зафіксували об'єм 0,1 М розчину соляної кислоти, витрачений на все титрування.

Загальну лужність води ($L_{\text{заг}}$) розраховували за формулою:

$$L_{\text{заг}} = \frac{V \cdot C_{\text{HCl}} \cdot 1000}{V_1} \text{ ммоль/дм}^3$$

де V – загальний об'єм розчину соляної кислоти, витрачений на титрування об'єму води, що досліджується, см³; $C(\text{HCl})$ – концентрація розчину соляної кислоти, мг/дм³; V_1 – об'єм води для аналізу, см³.

2.2.4. Методика визначення вмісту заліза загального

Реактиви:

- Стандартний розчин заліза:
- Роданід амонію NH_4CNS або калію KCNS , 50% розчин.
- Хлоридна кислота у розведенні (1:1).
- Персульфат амонію або амоній надсірчаноокислий $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ у вигляді кристалів.

Хід визначення: В мірну колбу об'ємом 50 см³ налили до мітки досліджувану воду, додали 1 см³ розчину соляної кислоти (1:1), кілька кристалів персульфату амонію, після 3 хвилинного перемішування вводили 1 см³ 50%-вого розчину роданіду амонію, знову перемішували та через 3 хв колориметрували.

Оптичну густину визначали на ФЕК при довжині хвилі λ – 490 нм в кюветах з товщиною оптичного шару 5 см по відношенню до дистильованої води, в яку додавали ті ж самі реактиви.

Концентрацію загального заліза знаходили за калібрувальним графіком.

По отриманим даним будували криву залежності $C(\text{Fe})$ від оптичної густини розчину, виміряного на приладі ФЕК при довжині хвилі λ – 490 нм та в кюветах товщиною 5 см.

2.2.5. Методика визначення перманганатної окиснюваності

Реактиви:

- Сірчана кислота (1:2);
- Щавлева кислота 0,1 моль/дм³;
- Розчин щавлевої кислоти (робочий) 0,01 моль/дм³;
- Розчин перманганату калію (основний) 0,1 моль/дм³;
- Розчин перманганату калію (робочий) 0,01 моль/дм³;

Хід визначення: В колбу для визначення окиснюваності внесли кілька уламків пемзи та 100 см³ досліджуваної води. Додали 5 см³ сірчаної кислоти (1:2) і 20 см³ робочого розчину перманганату 0,01 моль/дм³. Отриману суміш кип'ятили протягом 10 хвилин. Після цього до гарячого розчину приливали з бюретки 20 см³ робочого розчину щавлевої кислоти 0,01 моль/дм³, перемішували та гарячу суміш титрували робочим розчином перманганату калію 0,01 моль/дм³ до отримання рожевого кольору. Температура суміші при титруванні не була нижче 80°C.

Перманганатну окиснюваність розраховували за формулою:

$$PO = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0.01 \cdot 8 \cdot 1000}{V} \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$$

де V_1 і V_2 – об'єм, витрачений на титрування проби води та холостої проби, дм³; V – об'єм води, взятий для аналізу, дм³; 8 – молярна маса еквіваленту кисню, г; k – поправочний коефіцієнт до молярної концентрації еквівалентів розчину перманганату калію.

2.2.6. Методика визначення загальної мінералізації води

Загальну мінералізацію води контролювали за допомогою портативного солеміру з датчиком температури «TDS-3». TDS-метр застосовують для контролю рівня солей та мінералів, вимірювання електропровідності, а також перевірки ефективної роботи фільтрів для очищення води. При визначенні загальної мінералізації необхідно зняти захисний ковпачок TDS-метра, занурити електроди у досліджувану воду та виконати замір. Для досягнення максимальної точності, потрібно тримати електроди у воді близько 4-5 секунд.

2.2.7. Методика визначення вільного залишкового хлору титруванням метиловим оранжевим

Сутність методу: Метод заснований на окисленні метилового оранжевого вільним хлором.

Реактиви:

- 0,005% розчин метилового оранжевого;
- 5 н розчин соляної кислоти.

Проведення аналізу: 100 см³ аналізованої води помістили у порцелянову чашку, додали 2 – 3 краплі 5 н розчину соляної кислоти та помішуючи, швидко титрували розчином метилового оранжевого до появи рожевого забарвлення, що не зникало.

Вміст вільного залишкового хлору(мг/дм³) розраховували за формулою:

$$Cl(\text{віль}) = \frac{21,7 \cdot V_1}{V} \text{ (мг/дм}^3\text{)}$$

де V_1 – об'єм розчину соляної кислоти витрачений на титрування, см³;
 V – об'єм води взятий для аналізу, см³; 21,7 – коефіцієнт перерахунку.

РОЗДІЛ ІІІ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі використовували загальноприйняті методи досліджень безалкогольної галузі харчової промисловості. Як об'єкти досліджень використані: вода питна із централізованого водогону (дивимося таблиці 3.1 та 3.2) м. Києва згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості», активоване вугілля Centaur, пісок кварцовий Quartzline фракцією 1,6-2,5, іонообмінна смола Dowex HCR-S/S, іонообмінна смола Dowex SBR-P згідно з чинною нормативною документацією.

Відповідно до вимог складу підготовленої води кондиційована вода не повинна мати запаху, вміст заліза не повинен перевищувати $0,05\text{мг/дм}^3$, лужність не більше 2 ммоль/дм^3 , загальна жорсткість не більше 2 мг·екв/дм^3 , перманганатна окиснюваність не більше $2\text{ мгO}_2/\text{дм}^3$.

Обробку води проводили іонообмінною смолою Dowex HCR-S/S, іонообмінною смолою Dowex SBR-P та активованим вугіллям в лабораторних умовах з об'ємною швидкістю фільтрування $75\text{ дм}^3/\text{год}$ (лінійною швидкістю – $59,7\text{ м/год}$). Як контроль використовували необроблену питну воду з міського водопроводу. Тривалість досліду становила 5 год з періодичністю відбирання проб 15, 30, 45, 60, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 хв.

Установка працює наступним чином. Вхідна вода з міського водопроводу подається на фільтр грубого очищення, завантажений кварцовим піском марки «Quartzline» для затримання часточок іржі, які присутні в трубах. Частково очищена вода перекачується у фільтр, завантажений активованим вугіллям марки «Centaur», де відбувається видалення органічних речовин, що сприяє зменшенню вмісту заліза, перманганатної окиснюваності, а також видалення хлорпохідних сполук. Потім вода потрапляє у третій стакан, завантажений сильнокислотою катіонообмінною смолою Dowex HCR-S/S. Вода після Na^+ -катіонування має понижену жорсткість, за рахунок заміни іонів жорсткості Ca^{2+} та Mg^{2+} на іони Na^+ . Після катіонування вода спрямовується на фільтр, завантажений аніонообмінною смолою марки Dowex SBR-P для

зменшення лужності, а також для води з невеликим вмістом аніонів сильних кислот. Далі воду можна спрямувати на установку для знезараження ультрафіолетовими лампами.

Таблиця 3.1 – Показники якості води річок Дніпра і Десни та питної води на виході з Дніпровської та Деснянської водопровідних станцій м.Києва станом на 21.12.2020.

Найменування показників	Одиниці вимірювання	р. Дніпро (річкова вода)	р. Десна (річкова вода)	Питна вода		
				Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10	Дніпровська водопровідна станція	Деснянська водопровідна станція
Загальне мікробне число при t37° С - 24 год	КУО/см ³	19	29	≤ 50	0	0
Загальні коліформи	КУО/100 см ³	112	75	Відсутність	Відсутність	відсутність
<i>E.coli</i>	КУО/100 см ³	3	9	Відсутність	Відсутність	відсутність
Ентерококи	КУО/100 см ³	-	-	Відсутність	Відсутність	відсутність
Запах: при t20°С , при t 60° С	Бали	1	2	≤ 2	1	2
Забарвленість	Градуси	42	20	≤ 20 (35)*	13	13
Каламутність	мг/дм ³	1	1,4	≤0,58(2,03)*	0,3	0,5
Смак та присмак	Бали	-	-	≤ 2	1	1
Водневий показник	одиниці рН	8,3	8,1	6,5 - 8,5	7,25	7,9

Загальна жорсткість	ммоль/дм ³	4	4,6	7,0 (10,0)*	3,9	4,5
Залізо загальне	мг/дм ³	0,38	0,32	≤0,2 (1,0) *	0,14	0,15
Хлор залишковий зв'язаний	мг/дм ³	-	-	≤ 1,2	-	1,12
Діоксид хлору	мг/дм ³	-	-	≤ 0,1	0,1	-
Алюміній	мг/дм ³	0,04	0,04	≤ 0,50	0,1	0,12
Амоній	мг/дм ³	0,13	0,43	≤ 0,5(2,6)*	0,1	0,17
Нітрити	мг/дм ³	0,03	0,08	≤ 0,5	0,003	0,01

У таблиці 3.2 наведено основні фізико-хімічні показники водопровідної води на день проведення експерименту за адресою: м. Київ, вул. Володимирська, 68, корпус А.

Таблиця 3.2 – Фізико-хімічні показники водопровідної води станом на 09.12.2020 р. (вул. Володимирська, 68)

№ з/п	Показники	Значення
1	рН	6,8
2	Жорсткість заг., ммоль/дм ³	5,4
3	Лужність заг., ммоль/дм ³	3,6
4	Вміст Fe _{заг.} , мг/дм ³	0,22
5	Перманганатна окиснюваність, мгО ₂ /дм ³	3,2
6	Загальний солевміст, мг/дм ³	216

Пропускання водопровідної води з вихідними показниками, наведеними у таблиці 3.2, через установку, принципову технологічну схему якої наведено нижче (рис. 3.1), включає механічну обробку кварцовим піском, активованим вугіллям та її пропускання через сильно кислотний катіоніт гелевого типу

Dowex HCR-S/S в Na^+ -формі (матриця – стирол-дивінілбензольний сополімер, функціональні групи – сульфенова кислота) та сильно основний аніоніт гелевого типу Dowex SBR-P у Cl^- -формі (матриця – стирол-дивінілбензольний сополімер, функціональні групи – четвертинні аміни). Натрій-катионітний фільтр першого ступеня дозволяє замінити основну кількість катіонів кальцію та магнію, що містяться у воді, еквівалентною кількістю катіонів натрію фільтруванням води через шар катионіту з обмінними катіонами натрію [36]. В свою чергу хлор-аніонітний фільтр дозволяє знизити лужність води заміною основної кількості іонів HCO_3^- еквівалентною кількістю аніонів хлору фільтруванням води через шар аніоніту з обмінними аніонами хлору.

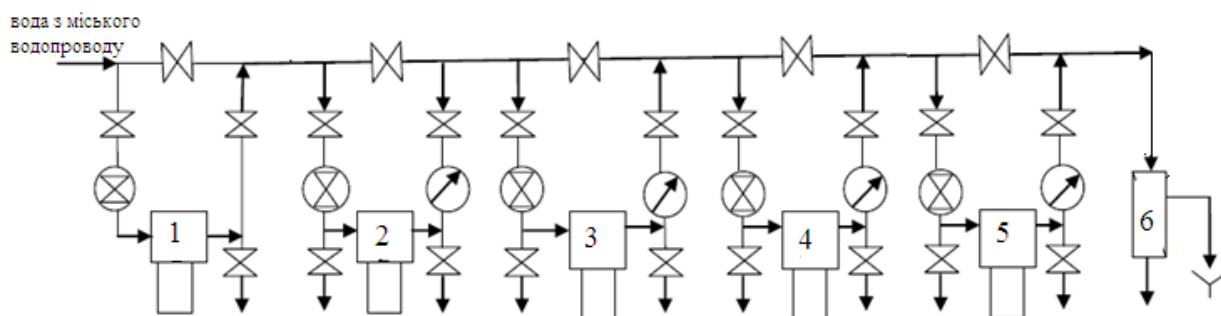


Рисунок 3.1. Принципова технологічна схема установки доочищення водопровідної води до норм для води, придатної для виготовлення безалкогольних напоїв

1 – зернистий фільтр, завантажений кварцовим піском; 2 – сорбційний фільтр, завантажений активованим вугіллям; 3 – поліпропіленовий механічний фільтр (рейтинг фільтрації – 5 мікрон); 4 – іонообмінний фільтр, завантажений сильно кислотною катионообмінною смолою; 5 – іонообмінний фільтр, завантажений сильно основною аніонообмінною смолою; 6 – УФ лампа.

У безалкогольному виробництві застосовують Na -катионітове, H -катионітове, а також Na - і H -катионітове пом'якшення, паралельне й послідовне [37].

На рисунку 3.2 наведено криву залежності загальної жорсткості у водопровідній воді від об'єму пропущеної води. Як видно з наведеної кривої, спостерігається різке падіння показника жорсткості загальної від 5,4 до 3,0 $\text{мг} \cdot \text{екв}/\text{дм}^3$ для початкової ділянки кривої. Дане зменшення показника $\text{Ж}_{\text{заг}}$

відповідає об'єму пропущеної водопровідної води 15 дм^3 за проміжок часу 15 хвилин. Швидкість пропускання становить $59,7 \text{ м/год}$ (розрахунки наведено у Додатку А). Плавне зменшення показника жорсткості загальної наведено на ділянці кривої від $3,0$ до $1,2 \text{ мг}\cdot\text{екв/дм}^3$ при зростанні об'єму пропущеної водопровідної води від 15 до 141 дм^3 , відповідно. Час контакту змінювався від 15 до 120 хвилин.

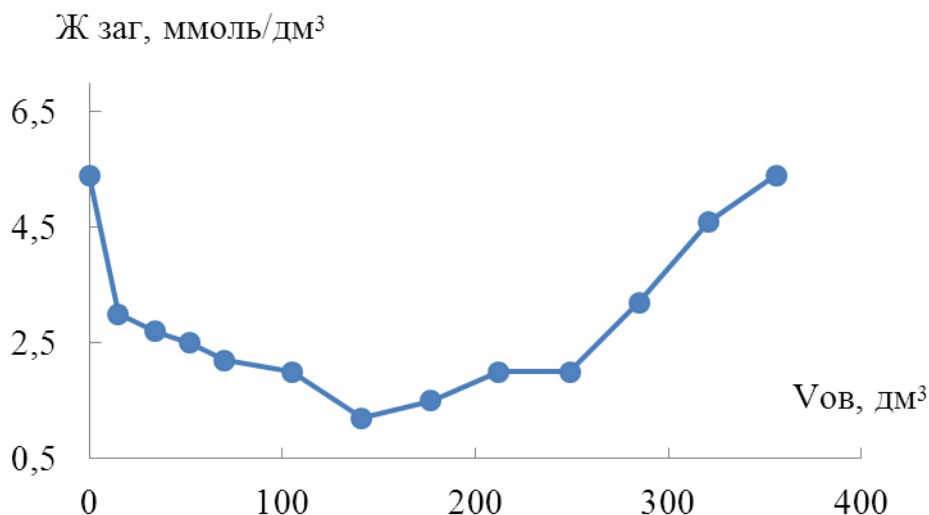


Рисунок 3.2 – Залежність загальної жорсткості у водопровідній воді від об'єму пропущеної води. Вихідне значення загальної жорсткості складає $5,4 \text{ ммоль/дм}^3$. Об'єм пропущеної води за період роботи установки складає 356 дм^3 . Час пропускання води – 300 год .

При збільшенні об'єму пропущеної води від 141 до 249 дм^3 показник загальної жорсткості починає зростати від $1,2$ до $2,0 \text{ мг}\cdot\text{екв/дм}^3$. Подальше зростання $\text{Ж}_{\text{заг}}$ характеризується значеннями від $2,0$ до $5,4 \text{ мг}\cdot\text{екв/дм}^3$ для об'ємів води, значення яких зростало від 249 до 356 дм^3 .

Відомо, що вода для виробництва пива і безалкогольних напоїв повинна задовольняти вимогам діючого стандарту на питну воду [37 – 38, 9] з урахуванням додаткових вимог, а саме: загальна твердість – $2\text{-}4 \text{ мг}\cdot\text{екв/дм}^3$ [39 – 41]. Зважаючи на додаткові вимоги до якості підготовленої води, на основі проведених досліджень можна стверджувати, що катіонообмінна смола гелевого типу Dowex HCR-S/S в Na^+ -формі задовільно пом'якшує водопровідну

воду до норм підготовленої води впродовж 210 хвилин (3,5 годин) та дозволяє знизити жорсткість загальну у ній до рівня 2,0 ммоль/дм³ при масі наважки сухої смоли 345г при швидкості пропускання на рівні 59,7 м/год.

З огляду на те, що при виробництві пива загальна жорсткість не повинна перевищувати 4-5 ммоль/дм³, а для світлих сортів пива – 3 ммоль/дм³ [42], то іонообмінна смола Dowex HCR-S/S дозволяє ефективно пом'якшувати воду впродовж 270 хвилин (4,5 годин) при об'ємі пропущеної води 321 дм³ на рівні сучасних вимог [39 – 41].

Вимоги до технологічної води провідними в світі компаніями-виробниками безалкогольних напоїв значно вищі, ніж для вітчизняних. Так, загальна жорсткість для виробництва безалкогольних напоїв має варіювати в діапазоні від 0,2 до 0,7 мг·екв/дм³ [43]. У цьому разі застосування іонообмінної смоли Dowex HCR-S/S належить проводити у режимі менших швидкостей пропускання води та збільшення часу контакту іонообмінника з оброблюваною водою.

Не менш економічно доцільним методом підготовки води для напоїв є адсорбційний із використанням природних сорбентів, а саме на основі кокосового активованого вугілля.

Centaur – це активоване бітумінозне вугілля з вираженою каталітичною здатністю. Застосовується для очищення води від хлору, хлорорганічних сполук, заліза (не більше 3 мг/дм³), марганцю (не більше 0,5 мг/дм³), сірководню (до 5 балів), коригування смаку і запаху. Хоча Centaur і не є імпрегнованим активованим вугіллям, він проявляє таку ж каталітичну активність, як активоване вугілля, імпрегноване металами або лугами.

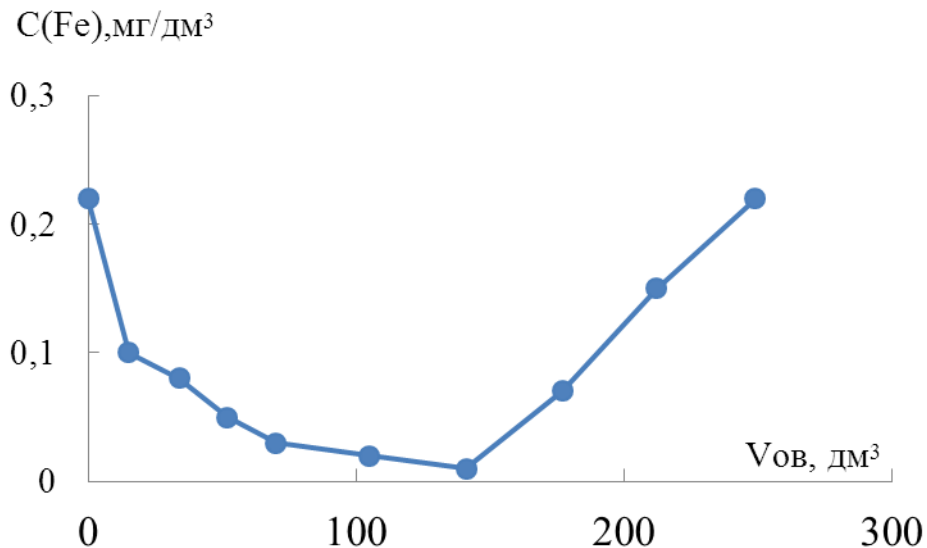


Рисунок 3.3 – Залежність зміни концентрації заліза загального у водопровідній воді від об’єму пропущеної води. Вихідне значення концентрації заліза загального складає $0,22 \text{ мг/дм}^3$. Об’єм пропущеної води за період роботи установки складає 356 дм^3 . Час пропускання води – 300 год.

На рисунку 3.3 наведено криву залежності зміни концентрації заліза загального у водопровідній воді від об’єму пропущеної води. Як видно з наведеної кривої, спостерігається падіння вмісту заліза загального від $0,22$ до $0,1 \text{ мг/дм}^3$ для початкової ділянки кривої за проміжок часу 15 хвилин, що відповідає об’єму пропущеної водопровідної води 15 дм^3 . Плавне зменшення показника вмісту заліза загального наведено на ділянці кривої від $0,1$ до $0,01 \text{ мг/дм}^3$ при зростанні об’єму пропущеної водопровідної води від 15 до 141 дм^3 , відповідно. Час контакту змінювався від 15 до 120 хвилин.

Подальше зростання заліза загального характеризується значеннями від $0,07$ до $0,22 \text{ мг/дм}^3$ для об’ємів води, значення яких зростало від 249 до 356 дм^3 .

Згідно вимог діючого стандарту на питну воду [9] підготовлена вода за показником заліза загального не повинна перевищувати значення $0,2 \text{ мг/дм}^3$. Зважаючи на додаткові вимоги для виготовлення безалкогольних напоїв вміст заліза мінімізують до значення $0,05 \text{ мг/дм}^3$, оскільки воно впливає на процес стійкості готової продукції. На основі проведених досліджень можна стверджувати, що гранульоване активоване вугілля з каталітичними

властивостями марки Centaur задовільно зменшує вмісту у водопровідній воді домішок заліза впродовж 120 хвилин (2 годин) до рівня $0,01 \text{ мг/дм}^3$ при масі наважки сухого активованого вугілля 325г із швидкістю пропускання $59,7\text{м/год}$.

При виробництві безалкогольних напоїв у вигляді пива, соків вміст заліза коливатиметься в межах $0,1\text{-}0,2 \text{ мг/дм}^3$ [42], то активоване вугілля з каталітичними властивостями марки Centaur дозволяє ефективно зменшувати вміст загального Fe впродовж 210 хвилин (3,5 годин) при об'ємі пропущеної води 249 дм^3 .

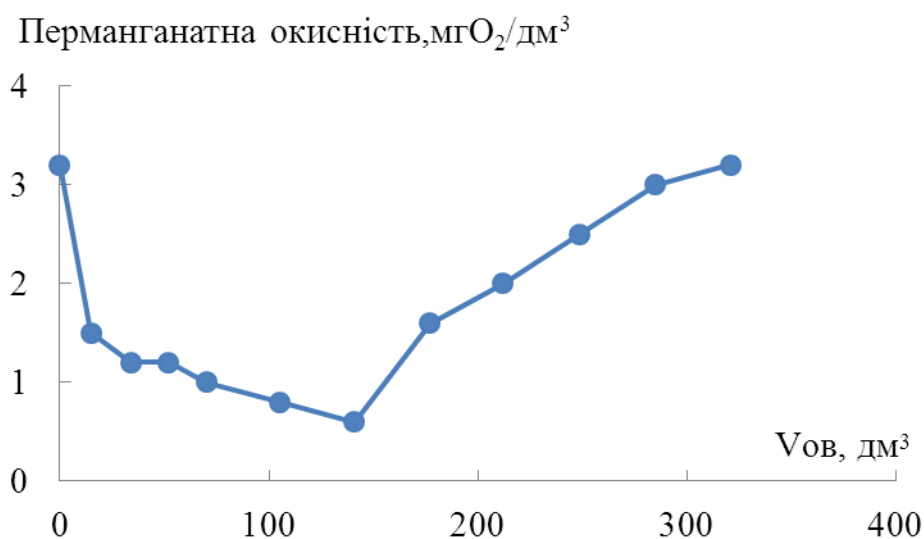


Рисунок 3.4 – Крива залежності зміни показника перманганатної окиснюваності води від об'єму пропущеної водопровідної води. Вихідне значення перманганатної окиснюваності складає $3,2 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Об'єм пропущеної води за період роботи установки складає 356 дм^3 . Час пропускання води – 300 год.

На рисунку 3.4 наведено криву залежності зміни перманганатної окиснюваності у водопровідній воді від об'єму пропущеної води. Наведені на рисунку дані доводять, що значення перманганатної окиснюваності різко спадає до показника $1,5 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ за проміжок часу 15 хвилин. Плавне зменшення показника перманганатної окиснюваності наведено на ділянці кривої від $1,5$ до $0,6 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ при зростанні об'єму пропущеної водопровідної води від 15 до 141 дм^3 , відповідно. Час контакту змінювався від 15 до 120 хвилин. На 150

хвилині (тобто 2 год 30хв), при об'ємі пропущеної води 177 дм³ значення показника почало збільшуватися від 1,6 до 3,2 мгО₂/дм³.

Ефективність сорбції органічних домішок активованим вугіллям марки Centaur до найменшого рівня 0,6 мгО₂/дм³ така сама як і для вилучення іонів заліза і складає 120 хвилин при об'ємі очищеної води 141 дм³. На основі проведених досліджень виявлено, що активоване вугілля даної марки може зменшувати перманганатну окиснюваність до 2 мгО₂/дм³ у водопровідній воді згідно норм до підготовленої води впродовж 180 хвилин (3 годин) при об'ємі пропущеної води 212 дм³.

При надмірному контакті з повітрям відбувається окиснення компонентів напою. З літературних даних відомо, що напої, які приготовлені на підготовленій воді з перманганатною окиснюваністю понад 2 мгО₂/дм³ під час зберігання утворюють колоїдну плівку на стінках банок. При цьому прозорість готової продукції зменшується до 10%. Небіологічні помутніння в напоях пов'язані із появою в результаті хімічних реакцій між компонентами, часто з утворенням осадів різних хімічних сполук у складі напою.

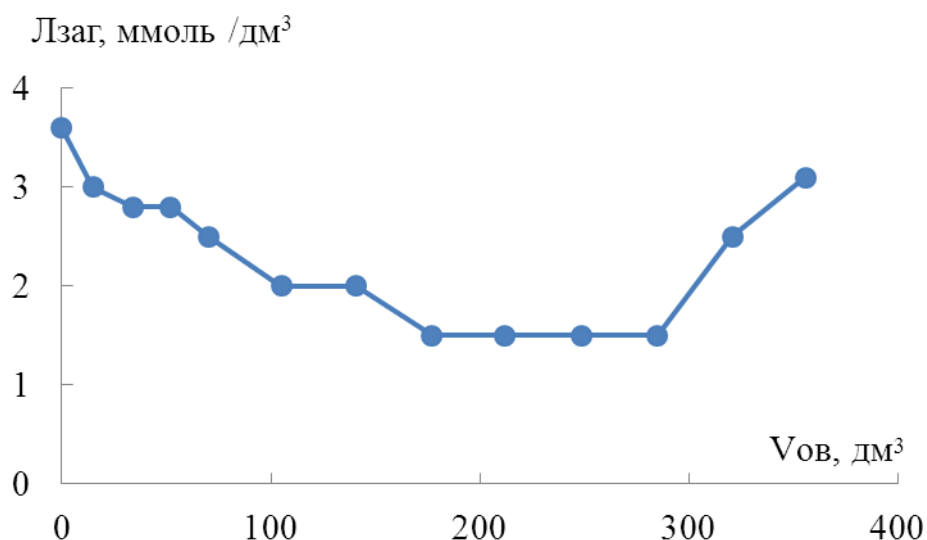


Рисунок 3.5 – Залежність зміни лужності загальної у водопровідній воді від об'єму пропущеної води. Вихідне значення лужності складає 3,6 ммоль/дм³. Об'єм пропущеної води за період роботи установки складає 356 дм³. Час пропускання води – 300 год.

На рисунку 3.5 наведено криву залежності загальної лужності у водопровідній воді від об'єму пропущеної води. Як видно з наведеної кривої, спостерігається плавне падіння показника лужності загальної від значення 3,6 до 3,0 ммоль/дм³ для початкової ділянки кривої. Швидкість пропускання становить 59,7 м/год. Зменшення показника $L_{\text{заг}}$ наведено на ділянці кривої від 3,0 до 1,5 ммоль/дм³ при зростанні об'єму пропущеної водопровідної води від 15 до 285 дм³, відповідно. Час контакту змінювався від 15 до 240 хвилин.

При збільшенні об'єму пропущеної води від 285 до 356 дм³ показник загальної лужності починає зростати від 2,5 до 3,1 ммоль/дм³.

Згідно вимог для виробництва безалкогольних напоїв [8] показник загальної лужності не повинен перевищувати 1,5 ммоль/дм³. Сильно основний аніоніт гелевого типу Dowex HBR-P в Cl⁻-формі задовільно зменшує лужність у водопровідній воді до норм підготовленої води в діапазоні 150-240 хвилин та дозволяє знизити лужність загальну у ній до рівня 1,5 ммоль/дм³ при масі наважки сухої смоли 360 г при швидкості пропускання на рівні 59,7 м/год.

Оскільки найменший показник лужності, отриманий під час дослідження становить 1,5 ммоль/дм³, що є критичним значенням для виробництва безалкогольних напоїв, то у цьому разі застосування іонообмінної смоли Dowex HBR-P належить проводити у режимі менших швидкостей пропускання води та збільшення часу контакту іонообмінної смоли з оброблюваною водою.

Під час електрометричного визначення рН використовували лабораторний рН-метр зі скляним електродом вимірювання та хлор-срібним електродом порівняння.

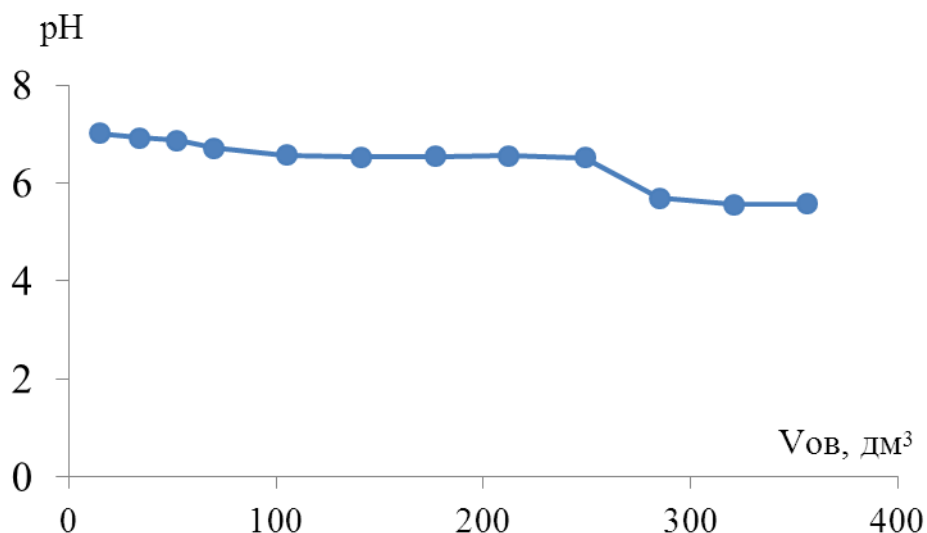


Рисунок 3.6 – Залежність зміни рН у водопровідній воді від об'єму пропущеної води. Вихідне значення рН складає 6,8. Об'єм пропущеної води за період роботи установки складає 356 дм³. Час пропускання води – 300 год.

Визначення водневого показника проводили за допомогою рН-метра. При проведенні дослідів рН не суттєво змінювалося та коливалося в межах 5,5-7,0. Як видно з наведеної кривої, рН спочатку підіймається до позначки 7, що відповідає об'єму пропущеної водопровідної води 15 дм³ за проміжок часу 15хвилин. Потім рН плавно падає до позначки 6,5 при зростанні об'єму пропущеної водопровідної води від 15 до 249 дм³, відповідно. Це пов'язано з видаленням гідрокарбонат-іонів, які за рахунок часткового гідролізу надають воді лужної реакції, оскільки показник вихідної води становить 6,8, а установка передбачає фільтр, завантажений сильно основним аніонітом Dowex HBR-P в СІ-формі. Час контакту змінювався від 15 до 210 хвилин. Подальше падіння показника характеризується значеннями 5,6-5,5 для об'ємів води, значення яких зростало від 249 до 356 дм³.

Загальні норми згідно яких виготовляють безалкогольні напої, а саме соковмісні мають рН підготовленої води 3-7 [2], газовані води та енергетичні напої 6,5-8,5 [8], тому отримані результати задовольняють вимоги діючих стандартів.

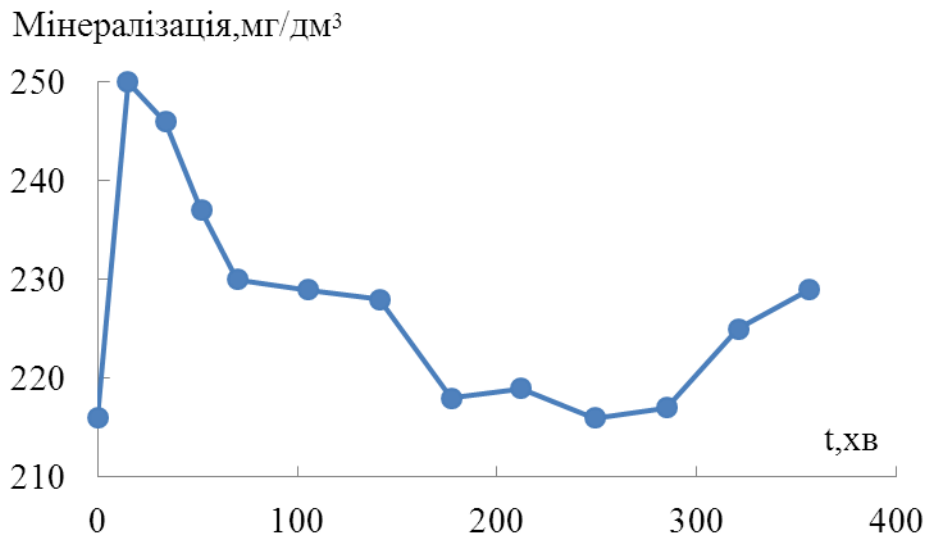


Рисунок 3.7 – Залежність зміни загальної мінералізації у водопровідній воді від часу пропускання. Вихідне значення мінералізації складає 216 мг/дм³. Об’єм пропущеної води за період роботи установки складає 356 дм³. Час пропускання води – 300 год.

На рисунку 3.7 зображено залежність загальної мінералізації від часу. Загальну мінералізацію визначали за допомогою портативного солеміра. На початку дослідження вона стрімко зростає та становила 250 мг/дм³. Через півтори години показник почав спадати та коливатися в діапазоні 216-219 мг/дм³ при зростанні об’єму пропущеної водопровідної води від 177 до 285 дм³. До кінця експерименту показник загальної мінералізації становив 229 мг/дм³.

Різке зростання мінералізації від значення 216 (у водопровідній воді) до 250 мг/дм³ (у зразку води на виході з системи очищення) пов’язано з початком обміну йонів натрію, які нанесено на матрицю іонообмінної смоли, з відносною атомною масою 23 на йони кальцію (атомна маса 40) та магнію (атомна маса 24), що містяться у оброблюваному розчині. Саме різною валентністю іонів обмінюваних металів (Na – I, Ca і Mg - II) пояснюється різке зростання мінералізації в початкові хвилини експерименту.

Згідно [9] загальна мінералізація підготовленої води повинна становити не більше 1000 мг/дм³. Тобто можна зробити висновок, що водопровідна вода

повністю задовольняє чинним вимогам по показнику мінералізації для виробництва безалкогольних напоїв.

На процес насичення напоїв CO_2 впливають деякі фактори – склад і температура напою, витрата та тиск діоксиду вуглецю, розрідження при деаерації води. На розчинність CO_2 у напої значно впливає склад і концентрація розчинених у воді мінеральних солей. Мінеральні солі у великих кількостях, які вступають в реакцію з діоксидом вуглецю зв'язують його, що призводить до зниження активності насичення напоїв CO_2 [44]. Спершу необхідно насичувати діоксидом вуглецю підготовлену воду, оскільки розчинність CO_2 у воді зменшується із збільшенням в ній мінеральних солей.

На рисунку 3.8 наведено узагальнений графік зміни досліджуваних показників водопровідної води (рН, жорсткість загальна, лужність загальна, концентрація загального заліза, перманганатна окиснюваність) від об'єму пропущеної води впродовж фільтроциклу.

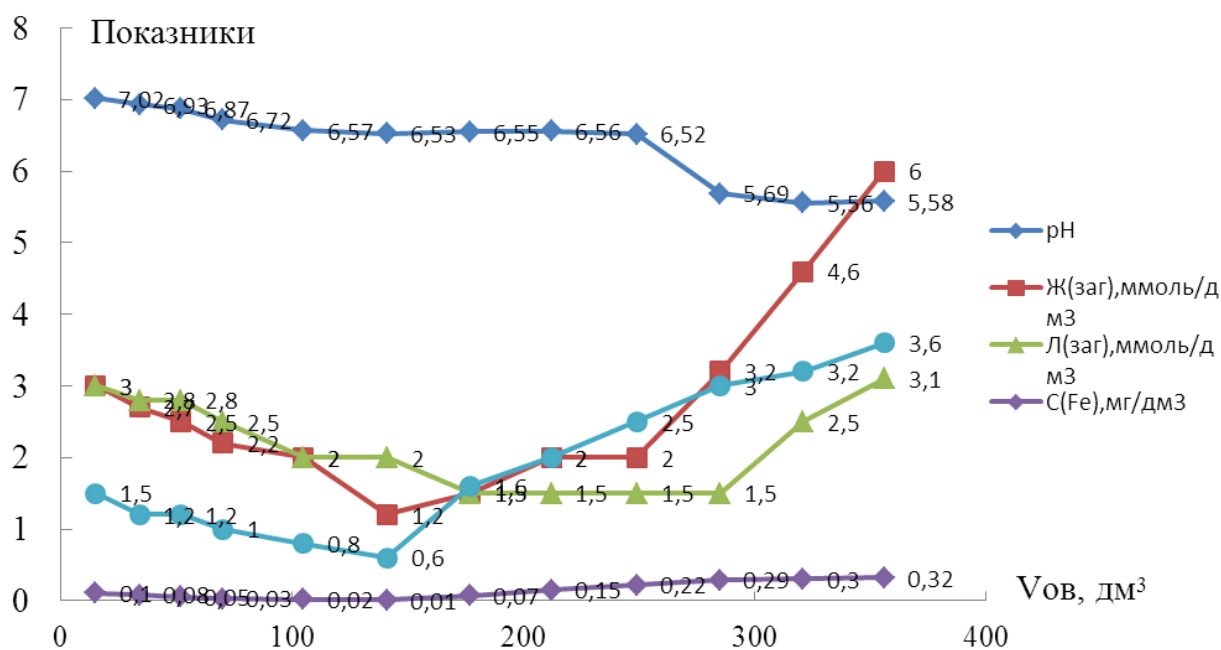


Рисунок 3.8 – Узагальнений графік зміни досліджуваних показників водопровідної води.

Як видно з рисунку 3.8, вихідна водопровідна вода перед подачею на установку за показниками вмісту загального заліза, жорсткості, лужності та перманганатної окисності не відповідала нормативам якості виготовлення

безалкогольних напоїв згідно ДСТУ 4069:2016, а тим паче вимогам до бутильованих питних вод згідно ДСТУ 7525:2014.

Після пропускання водопровідної води з фізико-хімічними показниками, наведеними у таблиці 3.2, через п'ять етапів очищення дослідної установки відповідно до принципово технологічної схеми, наведеної на рис. 3.1, отримано кришталево чисту воду, яка повністю задовольняє майже усім вимогам до води для виробництва напоїв за умов середнього часу контакту 120 хвилин при об'ємі пропущеної водопровідної води 141 дм³ зі швидкістю пропускання на рівні 59,7 м/год.

Для отримання показників якості води за рН, жорсткістю загальною, лужністю загальною, концентрацією загального заліза, перманганатною окиснюваністю по нижній межі рекомендовано проводити її підготовку за менших швидкостей пропускання та збільшити висоту засипок та іонітів відповідно до вимог підготовки води для промислового водопостачання.

Науково та експериментально обґрунтовано перспективність підвищення споживчих властивостей безалкогольної продукції шляхом кондиціювання водопровідної води. Показано, що вода підготовлена з раціональним складом забезпечує збільшення стійкості безалкогольних напоїв.

На рисунку 3.9 показано зменшення кількості вільного залишкового хлору на 100%.

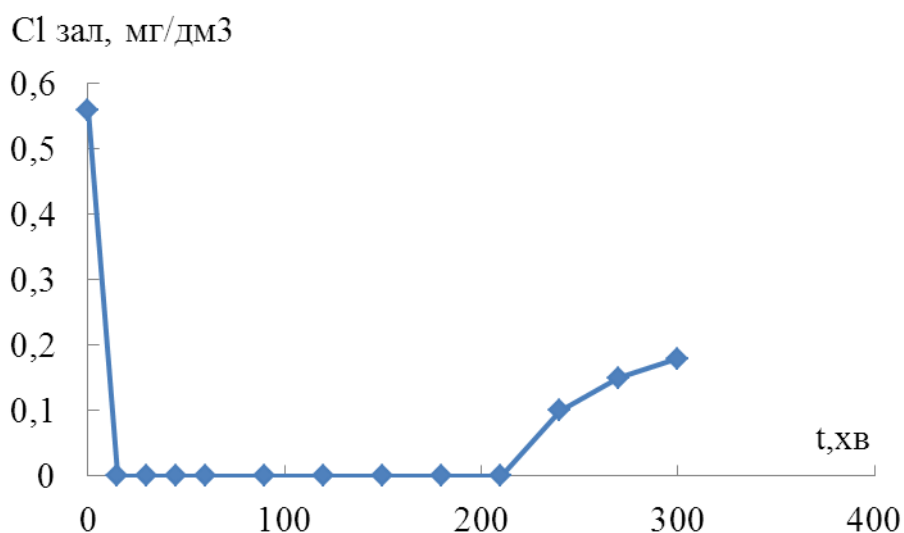


Рисунок 3.9 – Крива залежності концентрації вільного залишкового хлору від часу пропускання води. Вихідне значення у воді вільного залишкового хлору становить 0,56 мг/дм³. Час пропускання води – 300 год.

Вміст вільного залишкового хлору згідно [8] має бути відсутній. Цей показник не відповідає вимогам для виробництва безалкогольної продукції, оскільки він спричиняє втрату вітаміну С в солодких безалкогольних напоях, зміну смаку та втрату аромату, за рахунок окиснення ароматичних речовин, а також спричиняє втрату кольору на основі природних барвників. Присутність хлору пошкоджує активні групи використаних для зниження жорсткості води іонообмінників.

Неприємний присмак готового напою, спричинений вмістом залишкового хлору відчувається навіть при його концентрації в 1 мкг/дм³.

Тому передбачений сорбційний фільтр, завантажений активованим вугіллям марки Centaur сприяє повному видаленню вільного залишкового хлору впродовж 210 хвилин при масі наважки сухого активованого вугілля 325 г, при об'ємі пропущеної води 249 дм³, що підвищує смако-ароматичні складові готового напою.

Аналіз ефективності очищення водопровідної води після 5-ти ступінчастої установки очищення води, результати якого зображені на рисунку 3.9, показує зменшення жорсткості на 78% (4,2 ммоль/дм³), лужності на 59% (2,1 ммоль/дм³), вмісту загального заліза на 99% (0,21 мг/дм³), перманганатної окисності на 82% (2,6 мгО₂/дм³), хлору залишкового вільного на 100%.

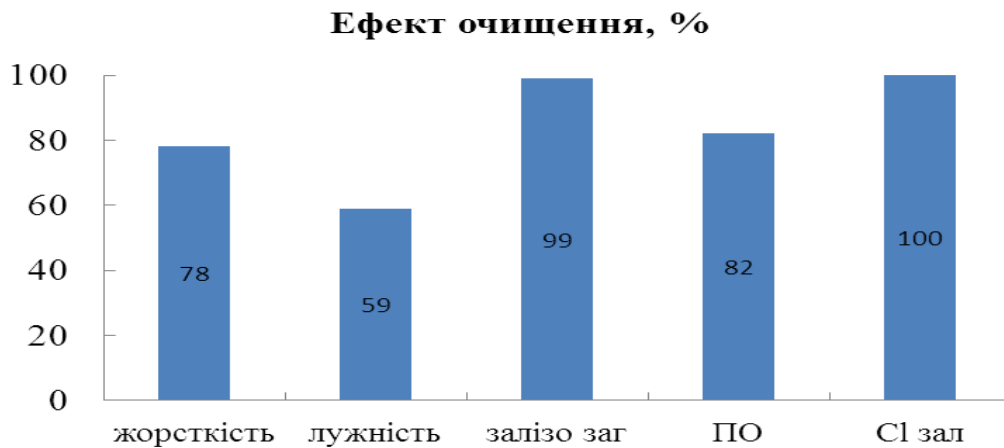


Рисунок 3.10 – Діаграма ефективності доочищення водопровідної води по показникам: жорсткість загальна, лужність загальна, залізо загальне, ПО, залишковий хлор, %.

3.1 Розрахунок ємності іоніту

Розрахунок іонообмінної установки

Продуктивність іонообмінної установки при використанні смоли Dowex HCR S/S:

$$Q = 1200 \text{ дм}^3/\text{год}$$

Вихідна концентрація Са в перерахунку на СаСО₃:

$$C_{Ca} = 195 \text{ мг/дм}^3$$

Загальна кількість сорбованої солі на годину:

$$S = Q \cdot C_{Ca} = 234000 \text{ мг/год}$$

Концентрація солей жорсткості, що сорбуються на 1 дм³ іонообмінної смоли (ємність смоли):

$$E = 1900 \text{ мг/дм}^3$$

Об'єм смоли, що необхідна для забезпечення годинної потреби:

$$V = \frac{S}{E} = 123,16 \text{ дм}^3/\text{год}$$

Густина іонообмінної смоли:

$$\rho = 1300 \text{ мг/дм}^3$$

Маса іонообмінної смоли:

$$m = \rho \cdot V \cdot \text{год} = 16,01 \text{ кг}$$

Продуктивність іонообмінної установки при використанні смоли Dowex SBR-P:

$$Q = 1200 \text{ дм}^3/\text{год}$$

Вихідна концентрація Ca в перерахунку на CaCO₃:

$$C_{Ca} = 195 \text{ мг/дм}^3$$

Загальна кількість сорбованої солі на годину:

$$S = Q \cdot C_{Ca} = 234000 \text{ мг/год}$$

Концентрація солей жорсткості, що сорбуються на 1 дм³ іонообмінної смоли (ємність смоли):

$$E = 1300 \text{ мг/дм}^3$$

Об'єм смоли що необхідна для забезпечення годинної потреби:

$$V = \frac{S}{E} = 180 \text{ дм}^3/\text{год}$$

Густина іонообмінної смоли:

$$\rho = 1300 \text{ мг/дм}^3$$

Маса іонообмінної смоли:

$$m = \rho \cdot V \cdot \text{год} = 23,4 \text{ кг}$$

3.2 Опис удосконаленої апаратурно-технологічної схеми доочищення води у виробництві безалкогольних напоїв

Апаратурно-технологічна схема наведена в Додатку Е. Складається з таких послідовних операцій:

- 1) Забір води.
- 2) Сітчастий фільтр.
- 3) Мультимедійна фільтрація.
- 4) Сорбція на вугільних колонах.
- 5) Поліпропіленовий механічний фільтр.
- 6) Пом'якшення води на Na-катіонітовому фільтрі.

- 7) Зменшення лужності на СІ-аніонітовому фільтрі.
- 8) Знезараження УФ-лампами.
- 9) Зберігання в буферній ємності.

Вода з міського водопроводу направляється у збірники 1. Вони забезпечують необхідну кількість води на всю потужність виробництва. Потім вода насосом 2 рухається на сітчастий фільтр 3 для затримання механічних домішок. При засміченні сіточки подача води перекривається, фільтр очищається та промивається. Періодичність очищення не менше чотирьох разів на рік.

Далі вода потрапляє на фільтр 4 з багатошаровим завантаженням на основі кварцового піску та гравію для затримання часточок іржі та бруду, утворені внаслідок корозії труб.

При промивці механічних фільтрів вода з баків накопичення 1 проходить через фільтри в зворотному напрямку (знизу – вверху) 10-15 хв. Потім фільтр промивається в робочому напрямку впродовж 10-15 хв.

Для видалення заліза, марганцю, сірководню, хлорпохідних та завислих у воді органічних речовин, які впливають на запах, смак та колір готових напоїв, вода перекачується на сорбційний фільтр 5 з активованим вугіллям марки «Centaur».

Особливість застосування даного матеріалу полягає в його каталітичних властивостях, що дозволяє ефективно видаляти залізо не більше 3 мг/дм³, марганцю не більше 0,5 мг/дм³, сірководню до 5 балів. Достатньо 3 хвилини, щоб позбавитися від не бажаних показників. Метод регенерації є безреагентним, з використанням зворотного потоку промивної води зі швидкістю 20 – 25 м/год. В схемі показано два фільтри, один є резервний, коли промивається інший.

В процесі сорбції разом з очищеною водою потрапляють дрібні часточки активованого вугілля. Наявні у воді домішки ефективно затримуються на поліпропіленовому фільтрі 6 з рейтингом фільтрації 5 мкм.

Далі вода надходить до системи пом'якшення води, яка складається з двох іонообмінних фільтрів 7, один з яких є резервним, завантажені іонообмінною смолою Dowex HCR-S/S. Фільтри 7 мають автоматичний клапан керування та сольові баки. Процес пом'якшення триває до повного виснаження іонообмінної смоли, тобто до повної заміни іонів натрію на катіони солей жорсткості. Фільтри завантажені на 60% іонообмінною смолою від всього об'єму фільтра.

Для регенерації фільтруючого завантаження використовується 8-12% водний розчин таблетованої солі (NaCl). Витрата солі на одну регенерацію залежить від кількості смоли в колоні фільтра, і становить 100-150 г на 1 дм³ смоли. Регенерація проводиться 120 хв.

Після пом'якшення вода потрапляє на фільтр 8, завантажений іонообмінною смолою Dowex HBR-P в Cl-формі, де відбувається процес зменшення лужності. Також за допомогою цього завантаження можна видаляти нітрати, фосфати та сульфати. У витратній ємності повинен бути 4-8% сольовий водний розчин NaCl. Фільтр також завантажений на 60% всього об'єму. В схемі передбачений резервний фільтр.

Наступним є етап знезараження ультрафіолетовими лампами 9 Wonder Light (Ecosoft) серії ET45 з продуктивністю 10,2 м³/год. Призначені для стерилізації та підтримування мікробіологічної безпечності попередньо очищеної води. Для очищення ламп використовують водний розчин лимонної кислоти.

Вода збирається у збірнику 10, а звідти подається на виробництво.

Стічні води (СВ) після водопідготовки направляються на рециркуляцію і використовуються для промивки обладнання. СВ потрапляють на піщаний фільтр, де вода звільняється від осадів. Утворений осад іде в шламосховище, де перероблюється на вторинну сировину, наприклад на покриття доріг. Потім вода потрапляє в зону аерації, а звідти у відстійник. Перед подачею на технічні цілі воду знезаражують УФ-лампами.

Цей спосіб повторного використання стічних вод є економічним, екологічним та менш затратним.

Висновки за розділом 3

На основі аналізу та узагальнення теоретичних даних, результатів експериментальних досліджень показано технологію кондиціонування води для безалкогольного виробництва, яке дає змогу реалізувати науково обґрунтовані значення показників води підготовленої, які впливають на підвищення якості та стійкості готових напоїв.

Досліджено, що за попередньої обробки води мікропористими матеріалами на основі природного активованого вугілля суттєво покращуються фізико-хімічні показники води та готових напоїв, зменшуючи окисні процеси, що відбуваються під час відстоювання. Встановлено, що залежність вмісту у воді підготовленій заліза, марганцю, алюмінію, а також збільшення показників її твердості і лужності впливає на стійкість безалкогольної продукції, спричиняючи осад та зміну кольору.

На основі теоретичних даних встановлено граничні значення для показників, які спричиняють перебіг небажаних фізико-хімічних процесів у готовій продукції. Визначено вплив солей жорсткості, сухого залишку, хлору залишкового вільного та окиснюваності води на готову продукцію.

РОЗДІЛ IV

ОПТИМІЗАЦІЯ ДОСЛІДНИХ ДАНИХ

4.1 Теоретична частина

Оптимізацією дослідних даних в математичних та інформаційних дослідженнях називають відбір найкращого елемента (за певним критерієм) з множини доступних альтернатив [45].

Задача оптимізації полягає у знаходженні мінімуму або максимуму, іншими словами екстремуму, дійсної функції на шляху до систематичного вибору заданих вхідних значень та обчислення їх функції.

Методи і алгоритми, які використані в інженерній практиці при дослідженнях, проектуваннях, експлуатації чи аналізі функціонування технічних об'єктів і систем є найбільш вживаними та першочерговими.

Математичні методи об'єднані в рамках теорії нелінійного і лінійного програмування. Основна увага приділяється методам оптимізації, які орієнтовані на розв'язок задач з неперервними змінними, обмеженнями і з однією дійсною цільовою функцією.

Постановка задачі оптимізації містить в собі умови, які характеризують прийнятні значення змінних, які називаються обмеженнями задачі. Обмеження містять у собі рівняння зв'язку між залежними та незалежними змінними у вигляді рівнянь а також функціональні та параметричні обмеження у вигляді нерівностей.

Інколи при знаходженні екстремуму зустрічаються задачі оптимізації, коли цільова функція f і граничні рівняння її області виявляються лійними. Щоб вирішити цю задачу застосовують методи лінійного програмування, які полягають в знаходженні екстремуму критерію оптимальності в задачах з лійними рівняннями [45].

Динамічне програмування (динамічне планування) є математичним методом оптимізації рішень, спеціально пристосований до так званих багатокрокових (або багатоступінчастих) операціями [45].

Для оптимізації процесу методами лінійного або динамічного програмування немає стандартних рішень. У кожному конкретному випадку застосовують свій метод. За критерієм вимірності допустимої множини, методи оптимізації поділяють на методи одновимірної оптимізації і методи багатовимірної оптимізації.

4.2 Постановка задачі оптимізації

4.2.1 Визначення оптимального об'єму очищеної води в процесі водопідготовки та зниження фізико-хімічних показників, які впливають на якість та стійкість безалкогольних напоїв

Метою наведених теоретичних розрахунків постановки задачі оптимізації було встановлення оптимального об'єму очищеної води в процесі доочищення водопровідної води та зниження фізико-хімічних показників, які впливають на стійкість та якість готової безалкогольної продукції.

В попередніх дослідженнях, проведених мною на кафедрі технології цукру і підготовки води, доведено ефективність роботи підібраної принципово-технологічної схеми підготовки води для безалкогольних напоїв з впровадженням сорбційних та іонообмінних методів.

В Додатку Б представлено дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу кондиціонування водопровідної води.

Заданими параметрами оптимальності обрано об'єм очищеної води. Параметрами оптимізації (X) - x_1 – об'єм, дм^3 . Діапазон зазначених параметрів для об'єму води становить 15-356 дм^3 . Обмеження на параметри оптимізації такі $15 \leq x_1 \leq 356 \text{ дм}^3$.

Математичну модель кожного з обраних критеріїв оптимізації представлено у вигляді:

$$F(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

Цільовою функцією є узагальнений критерій оптимізації $F(X)$, який враховує залежність зміни жорсткості загальної f_1 , залежність зміни рН f_2 і залежність зміни лужності загальної f_3 від об'єму очищеної води. Врахувавши важливість першого фактора вагові коефіцієнти вибрані так:

$$Ff_j := (ff1_j)^{0.33} \cdot (ff2_j)^{0.33} \cdot (ff3_j)^{0.34}$$

В Додатку В наведено розрахунок коефіцієнтів рівнянь регресії та програму для визначення оптимального значення однопараметричної задачі з узагальненим критерієм оптимальності.

В програмі Mathcad 2015 здійснюється визначення локальних критеріїв оптимізації, розраховується та уточнюється коефіцієнти рівнянь, які включають розрахунок середньоквадратичної похибки шляхом порівняння розрахункових даних з дійсними (експериментальними).

За допомогою використання методу найменших квадратів розроблено математичну модель. Знаходимо рівняння регресії залежності зміни жорсткості загальної від об'єму очищеної води. Рівняння має такий вигляд квадратного двопараметричного поліному:

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

	0
0	3.047
1	2.724
2	2.44
3	2.183
4	1.78
5	1.535
6	1.506
7	1.727
8	2.273
9	3.157
10	4.434
11	6.092

F1(P1) =

	0
0	3
1	2.7
2	2.5
3	2.2
4	2
5	1.2
6	1.5
7	2
8	2
9	3.2
10	4.6
11	6

K =

Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (а) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність ефекту пом'якшення водопровідної води від об'єму очищеної води з використанням фільтру, завантаженого іонообмінною смолою Dowex HCR-S/S :

$$a = \begin{pmatrix} 3.315 \\ -0.018 \\ 1.675 \times 10^{-5} \\ 1.574 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

$$\delta_1 := \sqrt{\frac{\sum_{i1=0}^{N1} (K_{i1} - F1(P1_{i1}))^2}{N1}}$$

$$\delta_1 = 0.18$$

Знаходимо рівняння регресії залежності зміни рН від об'єму очищеної води з використанням іонообмінного фільтру, який впливає на лужність та кислотність, завантаженого аніонітом Dowex SBR-P. Рівняння має вигляд квадратного двопараметричного поліному:

$$F2(p) := a_{20} + a_{21} \cdot p + a_{22} \cdot p^2 + a_{23} \cdot p^3$$

Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (a) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність зміни рН підготовленої води від об'єму очищеної води:

$$a_2 = \begin{pmatrix} 7.059 \\ -5.175 \times 10^{-3} \\ 2.135 \times 10^{-5} \\ -5.589 \times 10^{-8} \end{pmatrix}$$

$$\delta_2 := \sqrt{\frac{\sum_{i2=0}^{N2} (S_{i2} - F2(P2_{i2}))^2}{N2}}$$

$$\delta_2 = 0.17$$

Знаходимо рівняння регресії залежності зміни лужності загальної від об'єму очищеної води. Рівняння має вигляд квадратного двопараметричного поліному:

$$F3(p) := a_{30} + a_{31} \cdot p + a_{32} \cdot p^2 + a_{33} \cdot p^3$$

Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (а) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність ефекту зменшення лужності у водопровідній воді від об'єму очищеної води з використанням фільтру, завантаженого іонообмінною смолою Dowex SBR-P:

$$a_3 = \begin{pmatrix} 3.084 \\ -5.387 \times 10^{-3} \\ -5.14 \times 10^{-5} \\ 1.885 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

$$\delta_3 := \sqrt{\frac{\sum_{i_3=0}^{N_3} (X_{i_3} - F_3(P_{3,i_3}))^2}{N_3}}$$

$$\delta_3 = 0.13$$

За розрахованим рівнянням регресії будуюмо графіки, де наведені експериментальні точки дослідних даних.

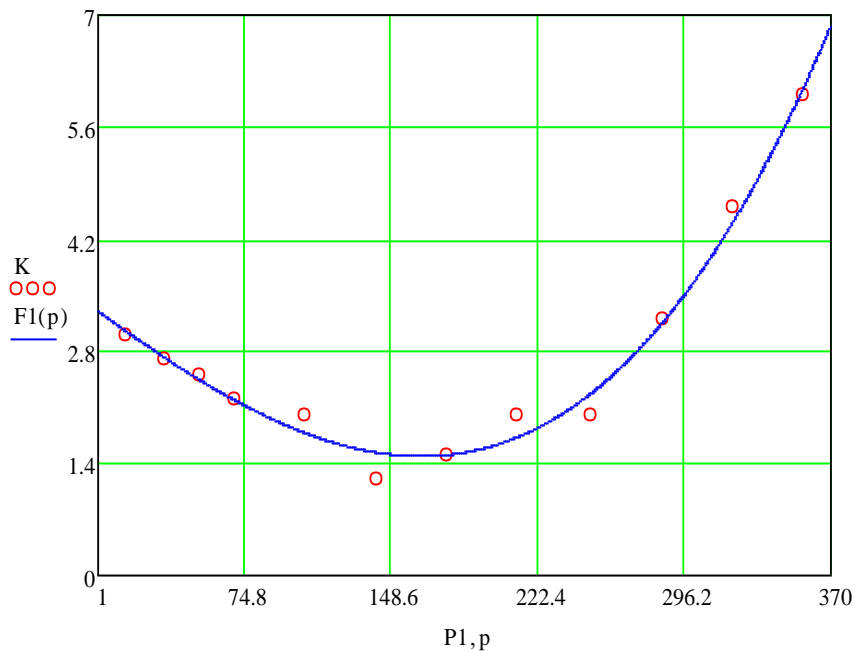


Рис. 4.1. Залежність ефекту пом'якшення водопровідної води від об'єму очищеної води з використанням фільтру, завантаженого катіонообмінною смолою Dowex HCR-S/S

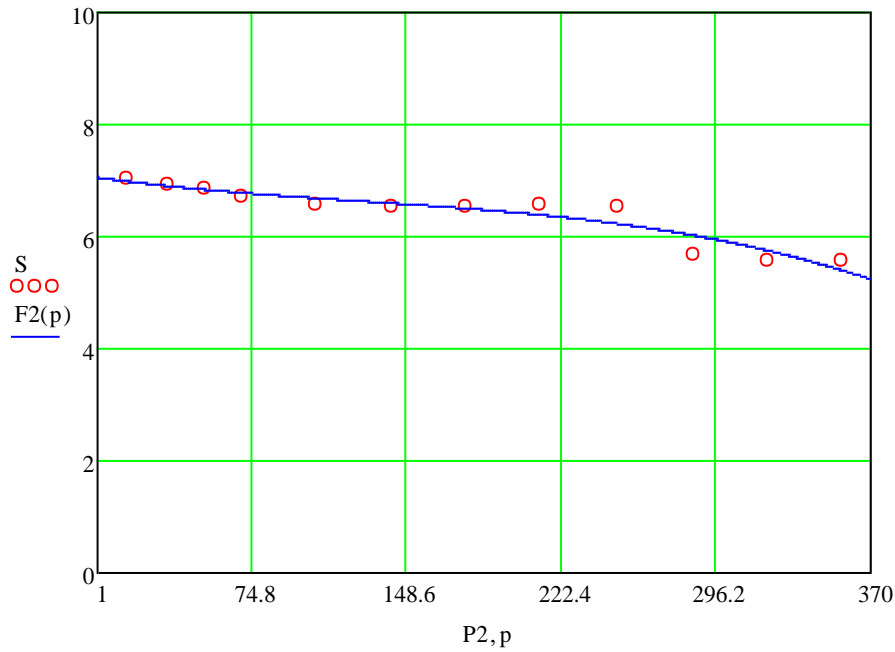


Рис. 4.2. Залежність зміни рН підготовленої води від об'єму очищеної води

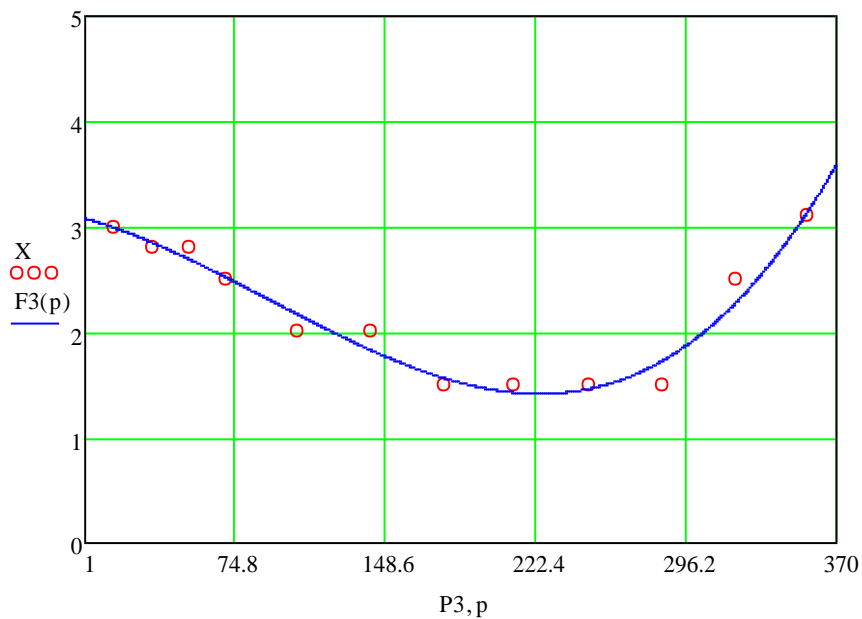


Рис. 4.3. Залежність зменшення лужності загальної у водопровідній воді від об'єму очищеної води з використанням фільтру, завантаженого аніонообмінною смолою Dowex SBR-P

Знаходимо оптимальні значення об'єму очищеної води по узагальненому критерію оптимальності з використанням програми переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму за методом Харрінгтона. Для цього задаємо діапазон зміни параметрів оптимізації та

кількість розрахункових точок критерію. Сформований масив розраховується за знайденими формулами із натуральних значень локальних критеріїв оптимальності. Згідно методики Харрінгтона, для того щоб перевести фактори в безрозмірну форму, необхідно вказати рівні значущості.

Інтервали бажаності натуральних значень локальних критеріїв оптимальності:

$$\begin{aligned} \text{ІВК} &:= (6 \ 4.6 \ 3 \ 2.5 \ 2.0 \ 1.2)^T & \text{ІВS} &:= (7.02 \ 6.93 \ 6.87 \ 6.55 \ 5.69 \ 5.56)^T \\ \text{ІВX} &:= (3.1 \ 3 \ 2.8 \ 2.5 \ 2 \ 1.5)^T \end{aligned}$$

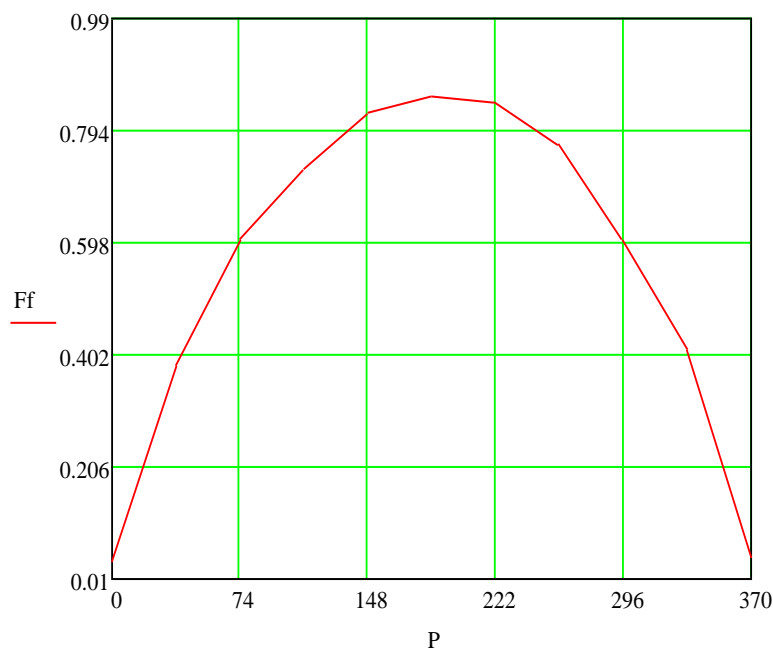


Рис. 4.4. Залежність узагальненого критерію оптимальності від значення об'єму очищеної води

$$\text{OPT1}(Ff, nn, a1, h) = \begin{pmatrix} 0.853 \\ 185.05 \end{pmatrix}$$

Висновок: при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності $F(X) = 0.853$ об'єм очищеної води, який необхідний для зменшення вмісту солей жорсткості, лужності та рН у водопровідній воді для виробництва безалкогольних напоїв, становить 185 дм^3 . При цьому досягається вміст солей жорсткості $1,5 \text{ ммоль/дм}^3$, при нормі не більше 2 ммоль/дм^3 ; лужність становить $1,5 \text{ ммоль/дм}^3$, в межах норми

0,5-2,0 ммоль/дм³; рН при цьому становить 6,5, що знаходиться в межах (від 3 до 7) загальних норм підготовленої води для безалкогольних напоїв.

4.2.2 Визначення оптимального часу фільтрування в процесі доочищення водопровідної води та зниження фізико-хімічних показників, які впливають на якість безалкогольних напоїв

Метою наведених теоретичних розрахунків постановки задачі оптимізації було встановлення оптимального часу фільтрування водопровідної води в межах отримання підготовленої води належної якості за усіма досліджуваними показниками та зниження фізико-хімічних показників, які впливають на стійкість та якість готової безалкогольної продукції.

У наведених у розділі 3 дослідженнях, проведених мною на кафедрі ТЦПВ, встановлено ефективність доочищення водопровідної води для приготування безалкогольних напоїв із застосуванням принципово-технологічної схеми (див. розділ 3), що включала сорбційні матеріали в тому числі з каталітичними властивостями та іонообмінні смоли.

В Додатку Г представлено дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу кондиціонування водопровідної води.

Заданими параметрами оптимальності обрано час пропускання очищеної води. Параметрами оптимізації (X) - x_1 – час, хв. Діапазон зазначених параметрів для часу становить 15-300 хв. Обмеження на параметри оптимізації такі $15 \leq x_1 \leq 300$ хв.

Математичну модель кожного з обраних критеріїв оптимізації представлено у вигляді:

$$F(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

Цільовою функцією є узагальнений критерій оптимізації $F(X)$, який враховує залежність зміни жорсткості загальної f_1 , залежність зміни перманганатної окиснюваності f_2 і залежність зміни масової концентрації заліза загального f_3 від часу пропускання очищеної води. Врахувавши важливість першого фактора вагові коефіцієнти вибрані таким чином:

$$Ff_j := (ff1_j)^{0.33} \cdot (ff2_j)^{0.33} \cdot (ff3_j)^{0.34}$$

В Додатку Д наведено розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії та програму для визначення оптимального значення однопараметричної задачі з узагальненим критерієм оптимальності.

В програмі Mathcad 2015 здійснюється визначення локальних критеріїв оптимізації, розраховується та уточнюється коефіцієнти рівняння, які включають розрахунок середньоквадратичної похибки шляхом порівняння розрахункових даних з дійсними (експериментальними).

За допомогою використання методу найменших квадратів розроблено математичну модель зміни жорсткості загальної від часу пропускання очищеної води. Знаходимо рівняння регресії залежності зміни жорсткості загальної від часу пропускання очищеної води. Рівняння має такий вигляд квадратного двопараметричного поліному:

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

	0
0	3.032
1	2.729
2	2.448
3	2.193
4	1.787
5	1.553
6	1.531
7	1.656
8	2.296
9	3.166
10	4.417
11	6.091

 $F1(p) =$

	0
0	3
1	2.7
2	2.5
3	2.2
4	2
5	1.2
6	1.5
7	2
8	2
9	3.2
10	4.6
11	6

 $K =$

Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (а) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність ефекту пом'якшення водопровідної води від часу її пропускання з використанням фільтру, завантаженого іонообмінною смолою Dowex HCR-S/S :

$$a = \begin{pmatrix} 3.352 \\ -0.022 \\ 2.543 \times 10^{-5} \\ 2.586 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

$$\delta_1 := \sqrt{\frac{\sum_{i1=0}^{N1} (K_{i1} - F1(P1_{i1}))^2}{N1}}$$

$$\delta_1 = 0.196$$

Знаходимо рівняння регресії залежності зміни перманганатної окиснюваності від часу пропускання очищеної води, з використанням сорбційного фільтру, завантаженого активованим вугіллям марки «Centaur». Рівняння має вигляд квадратного двопараметричного поліному:

$$F2(p) := a_{20} + a_{21} \cdot p + a_{22} \cdot p^2 + a_{23} \cdot p^3$$

Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (a) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність зміни перманганатної окиснюваності у підготовленій воді від часу пропускання водопровідної води:

$$a_2 = \begin{pmatrix} 2.034 \\ -0.034 \\ 2.709 \times 10^{-4} \\ -4.709 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

$$\delta_2 := \sqrt{\frac{\sum_{i2=0}^{N2} (S_{i2} - F2(P2_{i2}))^2}{N2}}$$

$$\delta_2 = 0.182$$

Знаходимо рівняння регресії залежності зміни концентрації заліза загального від часу пропускання очищеної води. Рівняння має вигляд квадратного двопараметричного поліному:

$$F3(p) := a_{30} + a_{31} \cdot p + a_{32} \cdot p^2 + a_{33} \cdot p^3$$

Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (а) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність зменшення концентрації іонів заліза у водопровідній воді від часу пропускання очищеної води з використанням фільтру, завантаженого активованим вугіллям з каталітичними властивостями марки «Centaur»:

$$a_3 = \begin{pmatrix} 0.18 \\ -4.682 \times 10^{-3} \\ 3.717 \times 10^{-5} \\ -6.674 \times 10^{-8} \end{pmatrix}$$

$$\delta_3 := \sqrt{\frac{\sum_{i_3=0}^{N_3} (X_{i_3} - F_3(P_{i_3}))^2}{N_3}}$$

$$\delta_3 = 0.016$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графіки, де наведені експериментальні точки дослідних даних.

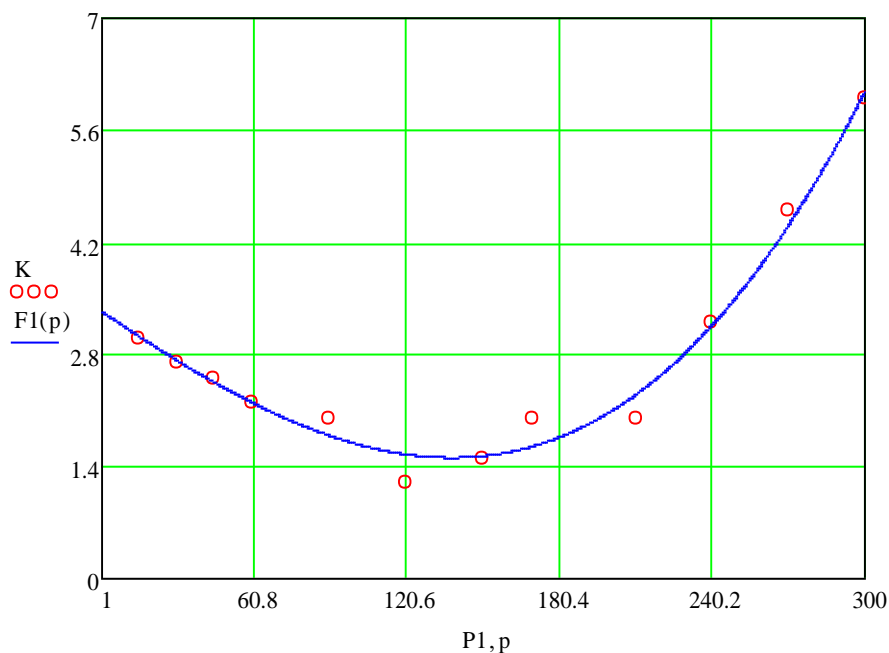


Рис. 4.5. Залежність пом'якшення водопровідної води від часу пропускання очищеної води з використанням фільтру, завантаженого іонообмінною смолою Dowex HCR-S/S

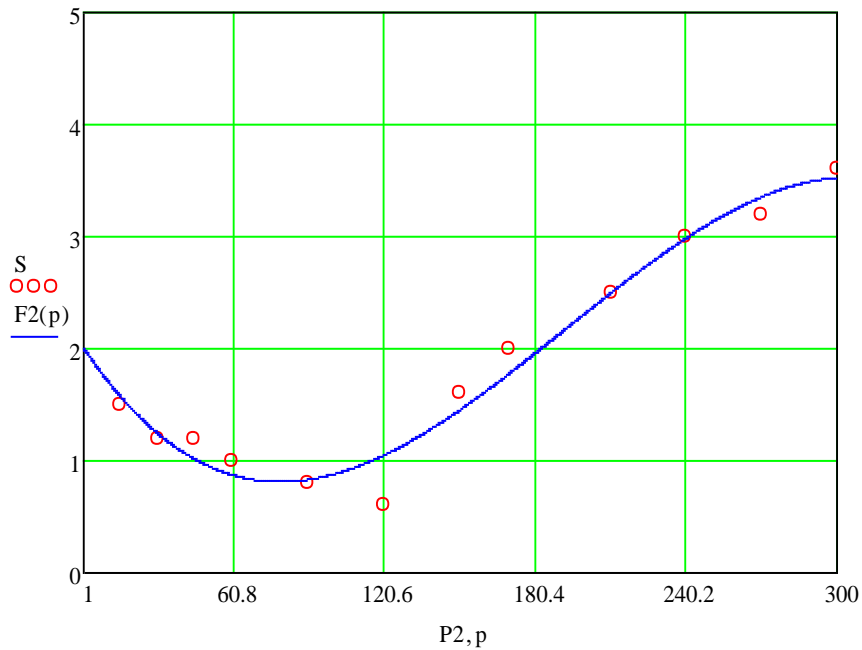


Рис. 4.6. Залежність зміни перманганатної окиснюваності у підготовленій воді від часу пропускання очищеної води

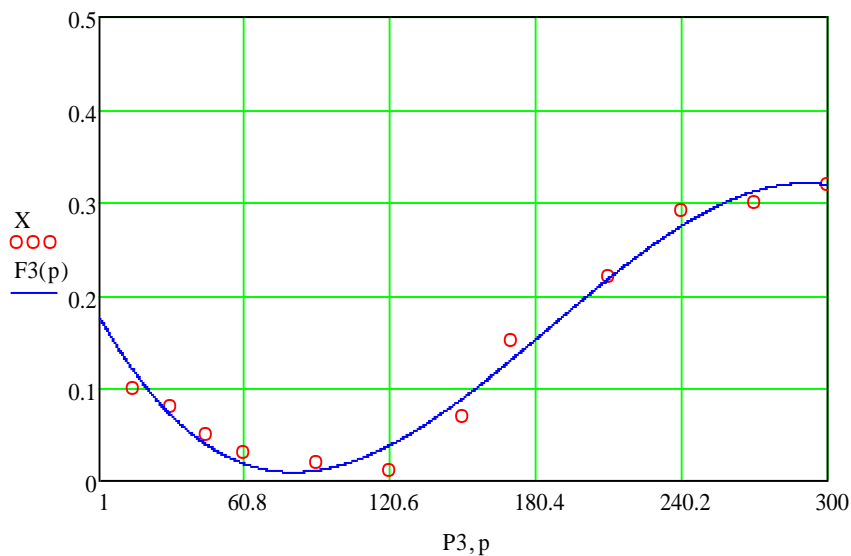


Рис. 4.7. Залежність зменшення концентрації заліза загального у водопровідній воді від часу її пропускання з використанням фільтру, завантаженого активованим вугіллям марки «Centaur»

Знаходимо оптимальні значення об'єму очищеної води по узагальненому критерію оптимальності з використанням програми переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму за методом Харрінгтона. Для цього задаємо діапазон зміни параметрів оптимізації та

кількість розрахункових точок критерію. Сформований масив розраховується за знайденими формулами із натуральних значень локальних критеріїв оптимальності. Згідно методики Харрінгтона, для того щоб перевести фактори в безрозмірну форму, необхідно вказати рівні значущості.

Інтервали бажаності натуральних значень локальних критеріїв оптимальності:

$$IBK := (6 \ 4.6 \ 3 \ 2.5 \ 2.0 \ 1.2)^T$$

$$IBS := (3.6 \ 3 \ 2 \ 1.5 \ 0.8 \ 0.6)^T$$

$$IBX := (0.32 \ 0.22 \ 0.15 \ 0.08 \ 0.05 \ 0.01)^T$$

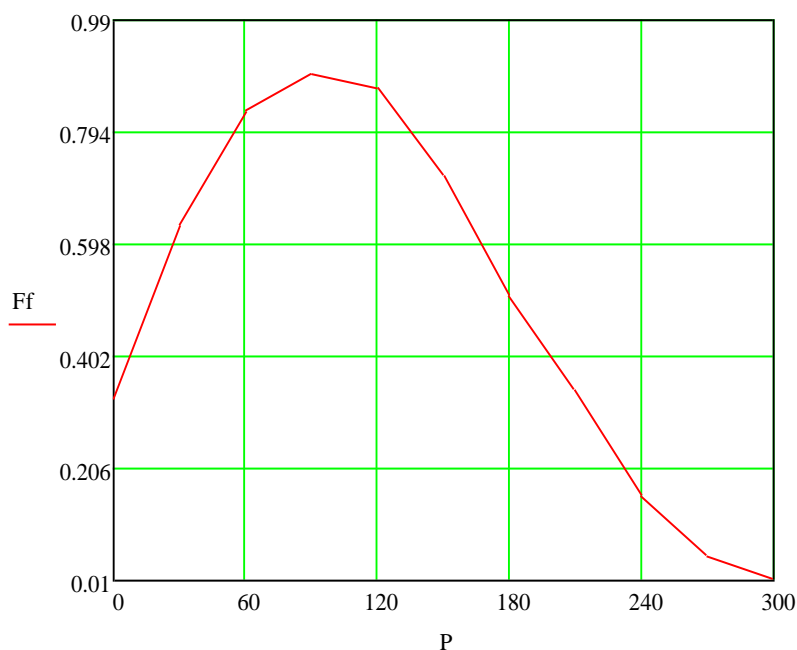


Рис. 4.8. Залежність узагальненого критерію оптимальності від часу пропускання очищеної води

$$OPT1(Ff, nn, a1, h) = \begin{pmatrix} 0.894 \\ 90.07 \end{pmatrix}$$

Висновок: при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності $F(X) = 0.894$ оптимальний час пропускання води через установку, зі швидкістю $1,2 \text{ дм}^3/\text{хв}$ становитиме 90 хв , при цьому досягаються значення загальної жорсткості $2 \text{ ммоль}/\text{дм}^3$, при нормі не більше $2 \text{ ммоль}/\text{дм}^3$; перманганатна окиснюваність $0,8 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, при нормі не більше $2 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ та концентрація заліза загального $0,02 \text{ мг}/\text{дм}^3$, при нормі не більше $0,2 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

РОЗДІЛ V ХІМІКО-ТЕХОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ

5.1 Державне регулювання якості та безпеки харчових продуктів і продовольчої сировини

Технологічний контроль параметрів виробництва безалкогольних напоїв проводиться з використанням загальноприйнятих методів вимірювання.

Якість готової продукції повинна відповідати вимогам ТУ У 15.9-33234957-004:2007 «Вода питна. Технічні умови».

Безпечність готової продукції повинна відповідати вимогам системи аналізу ризиків НАССР (англ. Hazard Analysis and Critical Control Point), яка контролює небезпечні фактори та критичні точки [46].

Небезпечним фактором у харчовому продукті є будь-який хімічний, фізичний, біологічний чинник харчового продукту або його стан, що може спричинити шкідливий вплив на здоров'я людини відповідно п.43 ст.1 Закону України від 23.12.97 р. № 771/97-ВР «Про основні принципи та вимоги до безпеки та якості харчових продуктів» (далі - Закон № 771) [47].

Впровадження системи НАССР є обов'язковим для усіх харчових підприємств, які провадять господарську діяльність.

Згідно [46] вся відповідальність за визначення критичних аспектів на виробництві, щодо безпеки харчових продуктів перекладена на виробників. Ця система надає виробникам можливість покращення контролю введенням упорядкованого систематичного підходу до здійснень процедур забезпечення належної безпеки харчовим продуктам.

В своїй найпростішій формі [46] складається з таких елементів (принципів):

1. Аналіз ризиків на основі ідентифікації небезпек та оцінки її ризиків;
2. Встановлення критичних контрольних точок, необхідних для контролювання виявлених небезпек;
3. Визначення критичних меж в певній критичній контрольній точці;
4. Розробка та впровадження системи моніторингу на підприємстві;

5. Прийняття рішень щодо коригувальних дій, в незадовільних критичних межах;

6. Перевірка системи (верифікація);

7. Правильне ведення та зберігання інформації, документації, що має відповідати потужностям підприємства, особливостям технологічних процесів, які там відбуваються.

Виробництво фасованих/бутильованих вод базується на основі всесвітнього стандарту [48], який поширюється на воду, призначену для пиття, за винятком природної мінеральної води, згідно з визначенням в переглянutoму виданні «Стандарту Кодексу за якістю природної мінеральної води (CODEX STAN 108-1981, Rev.1-1997)».

Смак, колір та ароматичні властивості безалкогольних напоїв мають мати характерні ознаки, що відповідають вихідній сировині та встановлені рецептурою для кожного типу напою.

При аналізі сировини, яку використовують для приготування безалкогольних напоїв, необхідно визначати органолептичні, фізико-хімічні та технологічні показниками згідно з вимогами нормативно-технічної документації кожної партії, що надходить на підприємство [49].

Проміжний контроль продуктів виробництва безалкогольних напоїв, екстрактів проводиться в кожній виготовленій партії, концентратів, відповідно з методами технохімічного контролю, приведеними в діючих стандартах [44].

Перед процесом розливу безалкогольних напоїв у пляшки та інший посуд визначається зовнішній вигляд, колір, смак, прозорість, аромат, кислотність, масова частка сухих речовин у кожній партії купажу [8].

Готовий кінцевий продукт контролюються на відповідність показникам, що закладені рецептурою та в стандартах на них [50].

Основними органолептичними показниками якості готових безалкогольних напоїв, згідно з вимогами [8], є:

- зовнішній вигляд;
- аромат;

- колір;
- прозорість;
- смак.

Органолептичні показники безалкогольних напоїв, концентратів обумовлені особливостями використовуваної сировини, екстрактів, способами обробки та технологією. Вони повинні відповідати вимогам та нормам, встановленими для кожного напою згідно з рецептурою.

Смак та аромат безалкогольних напоїв, концентратів після їх розбавлення, екстрактів, визначаються органолептично при температурі 10-14°C [2]. Оцінюють відповідність смаку та аромату вимогам нормативно-технічної документації на готову продукцію [51]. Смак, колір та аромат напоїв мають відповідати смаку, кольору та аромату вихідної (початкової) сировини.

Органолептична оцінка якості мінеральних вод та безалкогольних напоїв згідно європейських стандартів [44] здійснюють за допомогою 25-бальної системи за такими показниками:

- прозорість, колір, зовнішній вигляд – від 1 до 7 балів;
- смак і аромат – від 6 до 12 балів;
- насиченість CO₂ – від 3 до 6 балів.

У продукції безалкогольної промисловості контролюються такі фізико-хімічні показники [49]:

- масова частка сухих речовин, г/100 г;
- масова частка CO₂, %;
- кислотність, см³ на 1 моль/дм³ розчину лугу на 100 см³ напою;
- стійкість;
- масова частка спирту, %;
- масова частка солей, %.

При визначенні масової частки сухих речовин у безалкогольних напоях використовують рефрактометричний та пікнометричний методи.

При визначенні кислотності безалкогольних напоїв використовують метод, який ґрунтується на титруванні розчином лугу всіх речовин кислого

характеру після повного звільнення продукту від CO₂. Виражають титровану кислотність в см³ розчину гідроксиду натрію концентрацією 1 моль/дм³, що було витрачено на титрування 100 см³ продукту. За кінцевий результат дослідження приймають середньоарифметичні дані трьох паралельних визначень [49].

При визначенні стійкості безалкогольних напоїв використовують метод, що ґрунтується на визначенні часу до появи муті та осаду в прозорих напоях та зниження сухих речовин з моменту розливу в пляшки і банки [2].

При визначенні масової частки спирту в безалкогольному пиві використовують метод, що ґрунтується на відгонці спирту з наступним визначенням його відносної густини пікнометричним методом [2].

Властивості напоїв не змінювати смако-ароматичні властивості, зовнішній вигляд, фізико-хімічні і мікробіологічні показники називається стійкістю. Зміни у продукті при зберіганні зумовлені причинами біологічного та небіологічного характеру. Біологічні зміни виникають у зв'язку з розвитком мікроорганізмів, що викликано наявністю у безалкогольних напоях екстрактивних речовин, органічних кислот, цукру та інших поживних речовин. У безалкогольних напоях можуть розвиватися мікроорганізми, серед яких, як правило, відсутні патогенні для людини і спороутворюючі форми [52].

Небіологічні помутніння зумовлені хімічними реакціями між окремими складовими напоїв або їх взаємодією з поверхнею обладнання, а також порушенням рівноваги колоїдної системи напою. Наприклад, при взаємодії карбонату кальцію, який знаходиться у воді, з лимонною або винною кислотою утворюється лимонно- або виннокислий кальцій, що випадає в осад або обумовлює опалесценцію напою [52].

Осади та помутніння можуть також утворюватися в процесі взаємодії солей заліза з дубильними речовинами плодових соків та вин, складових частин композиції напою. У присутності міді та кисню інтенсифікуються реакції окислення, сполуки яких також викликають помутніння. У результаті реакції

окислення осмолюються ефірні масла цитрусових настоїв, що викликає небажані зміни смаку та аромату напоїв [53].

Головними способами підвищення стійкості безалкогольних напоїв зводяться в основному до попередження біологічних помутнінь. Значне значення у цьому випадку має біологічна чистота сировини. Біологічна очистка води полягає в пригніченні мікрофлори стерилізуючим фільтруванням, кип'ятінням, іонами срібла, ультразвуком, обробкою ультрафіолетовим промінням, електрохімічною обробкою [54].

До одного із найбільш ефективних способів підвищення біологічної стійкості напоїв є використання консервантів.

При виробництві безалкогольних напоїв рекомендується використання таких консервантів, згідно вимог до харчових добавок [55], затверджених радою ЄС (дозування на 100 дал готового напою): сорбінова кислота (300 г), юглон (0,7 г), бензоат натрію (177г), велькорин. Дані розчини консервантів додають у купажний сироп або готовий напій. Одним із найпоширеніших консервантів є бензойна кислота, яка досить ефективно пригнічує життєдіяльність мікроорганізмів у напоях. Застосовують, як правило, натрієву сіль бензойної кислоти.

У безалкогольній промисловості, як консервант може використовуватись сорбінова кислота. Вона є малорозчинною у холодній воді ($1,6 \text{ мг/дм}^3$ при 20°C), але легко реагує із розчинами вуглекислих і двовуглекислих солей лужних та лужноземельних металів, утворюючи при цьому легкорозчинні сорбати калію, натрію та кальцію [2]. Сорбінова кислота проявляє селективно-гальмуючу дію на дріжджі.

Сорбінова кислота має консервуючу дію, що посилюється при одночасному внесенні її з аскорбіновою кислотою, яка є акцептором водню. Ефірні масла кориці, гвоздики, цитрусових плодів, водні витяжки з мускатного горіха, імбиру, бергамотове масло виявляють певну бактерицидну та антисептичну дію. Напої, що містять названі ароматичні компоненти, мають більшу стійкість [2].

В таблиці 5.1 наведені показники контролювання якості та безпечності води питної згідно норм [9].

Таблиця 5.1. Органолептичні та фізико-хімічні показники води питної

Показник	Вода питна		
	Негазована	Газована	
Органолептичні показники			
Смак та присмак, бали, не більше	0	2	
Запах, бали за температури 20 ⁰ С, не більше	0	2	
Запах, бали за температури 60 ⁰ С, не більше	1	2	
Забарвленість, градуси, не більше	10	20	
Фізико-хімічні показники:			
Загальна жорсткість, ммоль/дм ³ , не більше	1,5 – 3,2	1,5 – 3,2	
Загальна лужність, ммоль/дм ³ , не більше	2,5 – 6,0	2,5 – 6,0	
Залізо загальне, мг/дм ³ , не більше	0,2	0,2	
Хлор залишковий вільний, мг/дм ³ , не більше	0,05	0,05	
Водневий показник, рН	6,5 – 8,5	Не нижче 4,5	
Діоксид вуглецю, %	—————	слабогазована	0,36–0,4
		сильногазована	0,55-0,65
Санітарно-токсикологічні показники:			
Нітрати (по NO ₃ ⁻), мг/дм ³ , не більше	10	50	
Перманганатна окиснюваність, мгО ₂ /дм ³ , не більше	2,0	5,0	
Фізіологічна повноцінність:			
Твердість, мг·екв/дм ³	0 - 0,3		
Лужність, мг·екв/дм ³	0 – 2		

Мутність, од.опт.густини при $\lambda=400\text{нм}$, $S=50\text{мм}$	Не більше 0,005
Масова концентрація заліза, мг/дм^3	0 – 0,05
Водневий показник, рН	3,5 – 8,0
Масова концентрація залишкового вільного хлору, мг/дм^3	Не допускається

5.2. Вхідний контроль виробництва. Зберігання і підготовка матеріалів. Тара для безалкогольних напоїв

Вхідний контроль – контроль якості сировини і матеріалів, які надійшли на підприємство від постачальника для застосування їх у виробництві [56].

Результатом дослідження [46] є не запобіжні заходи, які усувають всі проблеми, пов'язані з безпечністю, а повна інформація, яку можна використовувати для визначення найкращого шляху для контролю ризиків. Від керівництва залежить чи така інформація правильно застосовується.

Програми-передумови згідно системи [46] передбачають розробку та впровадження операторами ринку гігієнічних процедур у всьому харчовому ланцюгу, які необхідні для безпечності готової продукції для споживання людиною, а також під час постачання сировини для виробництва, включаючи правила поведінки з харчовими продуктами.

Даний стандарт [57] рекомендований для загальних методів видобутку, обробки, упаковки, зберігання, транспортування, розподілу і пропозиції для продажу різної питної води (крім природної мінеральної води), призначеної для безпосереднього споживання.

Кожна партія сировини, яка надходить на підприємство, приймається матеріально відповідальною особою, у присутності особи, яка здійснила її доставку. При отриманні сировини здійснюється первинна вибірка, тобто матеріально-відповідальна особа отримувача перевіряє цю сировину на наявні недоліки [58]. Якщо в процесі прийому сировини виявлено неналежну якість – вона повертається постачальнику та оформлюється відповідний акт.

Отримана сировина, яка надійшла, оприбутковується та обліковується у картці складського обліку матеріалів. Картку складського обліку матеріалів застосовують для обліку руху матеріалів на складі за видом та розміром, кожним сортом, заповнюється на кожний номенклатурний номер матеріалу і ведеться матеріально відповідальною особою (комірником, завідувачем складом). Записи у картці виконують на підставі первинних прибутково-видаткових документів у день, коли відбувається операція [59].

При передачі сировини зі складу на виробництво оформляється акт внутрішнього пересування сировини. Даний акт пересування сировини на виробництво складається в день передачі у двох примірниках за підписами завідувача складу (здавальника) та начальника цеху (приймальника). Один примірник даного акту передається начальнику цеху та є основою для складання виробничого звіту, а другий примірник залишається у завідувача складу та передається до бухгалтерії при звіті про рух сировини, виробничих відходів, попутної та готової продукції [58].

У складських приміщеннях проводиться зберігання матеріалів, контроль яких проводять щотижня. Складські площі компактні, для кожного товару виділяють ділянку, раціонально розміщують обладнання, причому передбачається необхідна площа для проїздів та проходів, під'їзд транспорту і розвантаження продуктів здійснюється з боку господарського двору [58]. При прийманні вантажів передбачені розвантажувальні майданчики та платформи для розвантаження декількох машин одночасно.

В процесі зберігання сировини та матеріалів проводиться контроль. У складських приміщеннях контролюються фізичні показники та дотримання санітарно-гігієнічні норми, згідно до вимог ДСанПіН 4.4.4-152-2008 [58].

Нову тару на завод доставляють автотранспортом. За допомогою автотранспорту штабеля ящиків з пляшками, що встановлено на піддоні, знімають з автомашини, потім з допомогою автотранспорту перевозять на склад посуду. По мірі виробничої необхідності штабеля ящиків розбирають та ящики встановлюють на стрічковий транспортер, що переміщає їх до автоматів

для викладки пляшок із ящиків. Стрічковим транспортером переміщують пусті ящики до автомату для складання пляшок у останні, а порожні – пластинчастим транспортером доставляють до пляшкомильної машини. Робочий розчин лугу у ванни машини поступає із напірного збірника [60].

Чисті пляшки, що виходять зі пляшкомильної машини, пластинчастим транспортером послідовно переміщують до світового екрану, розливочного автомату, укупорочного автомату, бракеражного автомату, етикетувального автомату та автомату для складання пляшок [60].

Браковані напої зливають через воронки у проміжний збірник. Зі проміжного збірника брак подають в збірник для обробки активованим вугіллям. Ящики з готовою продукцією формують у пакети, встановлюють на піддони та автотранспортером доставляють на склад готової продукції або завантажують в автомобілі [60].

Браковані напої після видалення аромату в збірнику насосом передають в колонки, заповнені кістяною крупкою, для видалення кольоровості. Освітлений бракований напій насосом після фільтрації у фільтр-пресі поступає у вакуум-апарат для упарювання. Упарений брак насосом перекачують в сироповарочні котли для кінцевого упарювання та кип'ятіння [60].

Запобіжні заходи боротьби з неякісною продукцією мають застосовуватися на державному рівні, оскільки безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини відносять до основних факторів, що впливають на здоров'я населення України.

Для покращення даної ситуації запропоновано такі заходи:

- на державному рівні на всіх підприємствах впровадити сучасні методи контролю згідно системи управління безпечністю харчових продуктів [46];
- створити органи незалежної експертизи, які зможуть проводити ідентифікацію товарів без особливих дозволів, коли у покупця з'являється сумнів у його якості;
- позбавлення недоброякісних виробників та продавців ліцензій за умови виявлення повторних зловживань.

5.3 Техніко-економічне обґрунтування виробництва з урахуванням впровадження удосконаленого способу (наукової розробки)

При виборі основного технологічного обладнання були враховані такі чинники:

- відповідність обладнання, що встановлюють на технологічну лінію, з розрахунком на їх продуктивність.
- відповідність техніко-економічних показників устаткування на рівні сучасних технологій;

Для удосконаленої технології очищення води із впровадженням на підприємстві безалкогольних напоїв потужністю 12 м³/год необхідно закупити обладнання для очищення води.

Іонообмінний фільтр призначений для підготовки води для виробничих потреб. Він комплексно видаляє з води іони заліза і марганцю, а також суттєво знижує вміст солей жорсткості.

Основними перевагами даного фільтра є:

- ефективне виведення солей жорсткості з води завдяки високій обмінній ємності;
- висока пропускна здатність фільтру завдяки високій швидкості фільтрації;
- економні витрати води і солі на регенерацію;
- довготривалий та ефективний робочий процес впродовж 5 років;

Фільтр складається з двох основних модулів – балона з фільтруючим матеріалом та сольового бака. Колона виготовлена із корозійностійкого полімерного матеріалу. В середині знаходиться фільтруючий матеріал Dowex HCR-S/S та Dowex SBR-P.

Термін експлуатації фільтруючого матеріалу складає до 5 років. Це можливо завдяки здатності смол до регенерації. Відновлення робочих характеристик здійснюється шляхом промивки його розчином таблетованої солі, яке здійснюється в автоматичному режимі.

Активоване вугілля для очищення води – високоефективний та доступний сорбент, який поглинає цілий ряд забруднень. Дані фільтри очищають воду від органічних і хлорорганічних речовин, хлору та інших небажаних домішок. В даних системах очищення застосовують матеріали Centaur, Filtrasorb та Aquasorb. Як сировину для даних речовин застосовують шкаралупу кокосового горіха. Він є екологічно чистим природним матеріалом.

Переваги активованого вугілля [19]:

- висока ефективність при низькій вартості;
- здатність до відновлення своїх властивостей шляхом регенерації;
- покращення смакових якостей води;
- природне походження.

Для водопідготовки застосовують різні види активованого вугілля, кожен з яких оптимальний для очищення води від відповідного ряду небажаних домішок.

Визначення інвестицій у реалізацію проекту для впровадження на підприємстві безалкогольних напоїв потужністю 5000 м³/год.

Сума капіталовкладень на встановлення автоматичного обладнання в умовах діючого підприємства визначається за їх фактичною балансовою вартістю.

Табл. 5.2 – Собівартість однієї пляшки води об'ємом 2,0 л:

Статті калькуляції	Ціна, грн.
Витрати сировини	1,4
Тара	1,35
Транспортно-заготівельні витрати	0,85
Вартість електроенергії (1 кВт)	1,68
Витрати енергії на 1 пляшку	0,16
Витрати на електроенергію	0,18
Витрати води на 1 пляшку 1 м ³	0,25
Витрати на воду	0,63
Основна заробітна плата	0,18
Додаткова заробітна плата	0,15
Єдиний соціальний внесок	0,20

Витрати на поточний ремонт	0,23
Витрати на обслуговування	0,14
Витрати на експлуатацію	0,18
Виробнича собівартість	7,58
Адміністративні витрати	0,20
Витрати на збут	0,20
Повна собівартість	7,98
Прибуток на одну пляшку	3,82
Оптова ціна 1 пляшки	9,80

Згідно з отриманих даних, виробнича собівартість однієї пляшки складає 7,58 грн. Враховуючи вказану ціну були розраховані адміністративні затрати та витрати на збут. Повна собівартість однієї пляшки складає 7,98 грн. Рентабельність встановлена у розмірі 22%. Прибуток на одну пляшку об'ємом 2,0 л складає 3,82 грн. Оптова ціна однієї пляшки для продажу у торговій мережі складає 9,80 грн.

Для введення проекту, підприємству потрібно інвестувати у придбання іонообмінного фільтра, завантаженого Dowex HCR-S/S.

Для того, щоб забезпечити виробництво очищеною водою, нам потрібно закупити 4 іонообмінних фільтра вартістю 203000 грн; 2 вугільні колони вартістю 200000 грн; УФ установка для знезараження 70000 грн; 1 механічний фільтр із зернистим завантаженням вартістю 105000 грн; труби та перехідники вартістю 53000 грн. Тобто, інвестиції у проект загалом складають 1440000 грн.

Підприємство планує виготовляти продукцію у кількості 5000 пляшок за годину. Підприємство працює 305 днів на рік, робочий день триває 24 год. Тобто, за рік підприємство виготовляє:

$$305 \times 8 \times 5000 = 12\,200\,000 \text{ пляшок/рік}$$

Дохід складає 46,6 млн грн на рік.

Термін окупності складає $1,44/34,9 = 0,04$ роки.

5.3 Екологічна частина

Процеси доочищення питної води супроводжуються утворенням стічних вод та інших відходів і викидів, які потрапляючи в навколишнє середовище, наносять йому суттєву шкоду. Негативний вплив цих забруднень та викидів відображається також і на людині. Крім того, людина додатково потерпає від неякісних харчових продуктів, виготовлених з використанням неефективно очищеної питної води. Тому актуальним на сьогодні є контроль за рівнем екологічної ефективності таких технологій та підвищення його шляхом вдосконалення технологічних схем доочищення води, оптимізації режимів експлуатації технологічного обладнання, заміни технології чи окремого обладнання на більш екологічно безпечне [61].

Умови підключення промислових стічних вод в міську каналізацію встановлюються органами комунального господарства. В міську каналізацію дозволяється приймати стоки, які не приведуть до порушення роботи каналізаційних мереж і споруджень, не являються небезпечними для обслуговуючого персоналу і можуть бути очищені на станціях аерації разом з побутовими стічними водами у відповідності з вимогами «Правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» [61].

Виробничі стічні води після безалкогольного виробництва можуть бути прийняті в міську каналізацію, якщо вміст в них шкідливих речовин не перевищує значень гранично допустимих концентрацій, згідно з вимогами місцевого водогону [61], що приведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.3 – Загальні вимоги до виробничих стічних вод, що приймаються в стічну каналізацію.

№ з/п	Показники якості стічних вод	Одиниця виміру	Максимально допустиме значення показника та (або) концентрація в пробі стічних вод
1	Реакція середовища (рН)	од.	6,5 - 9,0
2	Температура	°С	+40

3	БСКповне	мг/дм ³	не більше 350
4	ХСК	мг/дм ³	500
5	Співвідношення ХСК:БСК ₅	-	< 2,5
6	Завислі речовини та речовини, що спливають	мг/дм ³	300
7	Азот (сума азоту органічного та амонійного)	мг/дм ³	50
8	Фосфор загальний (Рзаг)	мг/дм ³	5
9	Нафта та нафтопродукти	мг/дм ³	10
10	Жири рослинні та тваринні	мг/дм ³	50
11	Хлориди (Cl ⁻)	мг/дм ³	350
12	Сульфати (SO ₄ ²⁻)	мг/дм ³	400
13	Сульфіди	мг/дм ³	1,5
14	СПАР аніонні	мг/дм ³	10
15	Феноли	мг/дм ³	0,25
16	Залізо (Fe)	мг/дм ³	3
17	Азот амонійний	мг/дм ³	30
18	Фосфати	мг/дм ³	10

* Ці показники зростають відповідно до вмісту зазначених солей у воді місцевого водогону.

При пом'якшенні води іонообмінним методом зазвичай утворюється велика кількість регенераційних вод. В процесі регенерації іонітів в дренаж скидають: надлишок кухонної солі NaCl; продукти регенерації катіоніта CaCl₂ та MgCl₂, та частково присутність подрібненого катіоніта.

В результаті очищення води на виробництві утворюються два типи відходів – тверді, у вигляді відпрацьованих іонообмінних смол і стічні води після промивки та розпушення фільтраційного завантаження. Необхідність нейтралізації цього надлишку реагентів призводить до підвищення вартості продуктів, а утилізацію відходів екологічно та економічно недоцільною.

Кількість речовин, які потрапляють у відходи, підраховується в цілому за одну регенерацію фільтру, так як практично неможливо встановити кількість речовини, яка видаляється при розпушуванні, пропусканні через регенераційний розчин або відмивці катіоніту від продуктів регенерації.

В процесі пом'якшення води утворюється відпрацьований катіоніт, в результаті його руйнування (стирання, розтріскування). Заміну катіоніту слід проводити 1 - 2 рази на рік, залежно від потужності підприємства.

З метою контролю якості стічних вод підприємств водоканал здійснює відбір разових проб. Разові проби характеризують склад та властивості стічних вод і відповідність фактичних концентрацій забруднюючих речовин допустимим.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі виконано комплекс досліджень, за результатами яких встановлено оптимальні умови доочищення водопровідної води до норм підготовленої води для виготовлення безалкогольних напоїв, які забезпечують максимальний ступінь коригування цільових компонентів її складу та стійкості готових напоїв. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Запропоновано п'ятиступінчасту принципову технологічну схему доочищення водопровідної води до норм підготовленої для отримання безалкогольних напоїв, яка включала кварцовий пісок Quartzline, активоване вугілля з каталітичними властивостями Centaur (виробник: Chemviron Carbon (Бельгія)), поліпропіленовий картридж, катіонообмінну сильнокислотну смолу Dowex HCR-S/S у натрієвій (Na^+) формі (матриця - стирол-дивінілбензолний сополімер, гелевого типу; функціональна група - сульфорова кислота) та сильноосновну аніонообмінну смолу Dowex HBR-P у хлоридній (Cl^-) формі (матриця - стирол-дивінілбензолний сополімер, гелевого типу; функціональна група - четвертинний амін).

2. Досліджено зміну показників водневого показника (рН), жорсткості загальної (Жзаг), лужності загальної (Лзаг), концентрації заліза (Fe) та перманганатної окиснюваності (ПО) від часу фільтрування та об'єму пропущеної води. Встановлено, що максимальний ступінь пом'якшення водопровідної води складає 78%; лужність загальна зменшується на 59%; показник загального заліза знижується на 99%, вміст органічних речовин за показником перманганатної окисності зменшується на 82%, вміст хлору залишкового вільного зменшується на 100%.

3. Розраховано основні технологічні параметри фільтрування: площу фільтрувальної колонки, об'ємну та лінійну швидкості пропускання води, ємність іоніту. Об'ємна швидкість фільтрування становить $75 \text{ дм}^3/\text{год}$, при цьому лінійна швидкість фільтрування дорівнює $59,7 \text{ м/год}$. Ємність іоніту $E = 1900 \text{ мг/дм}^3$, а об'єм смоли, який необхідний для забезпечення годинної потреби становить $123 \text{ дм}^3/\text{год}$.

4. Зроблено оптимізацію дослідних даних та розроблено математичну модель з використанням однопараметричної задачі, за допомогою методу найменших квадратів. Заданими параметрами оптимальності обрано об'єм очищеної води в діапазоні 15-356 дм³. Цільовою функцією є узагальнений критерій оптимізації $F(X)$, який враховує залежність зміни жорсткості загальної f_1 , залежність зміни рН f_2 і залежність зміни лужності загальної f_3 від об'єму очищеної води.

Встановлено, що при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності $F(X) = 0,853$ необхідний об'єм очищеної води, для зменшення цих показників у водопровідній воді, для виробництва безалкогольних напоїв становить 185 дм³ при швидкості пропускання на рівні 59,7 м/год.

5. На основі експериментальних даних визначено оптимальні умови доочищення водопровідної води до норм підготовленої води: рН – 6,5, жорсткість загальна – 1,5 ммоль/дм³, лужність загальна – 1,5 ммоль/дм³, концентрація заліза загального – 0,07 мг/дм³, перманганатна окиснюваність – 1,6 мгО₂/дм³.

6. Рекомендовано зменшити швидкість пропускання водопровідної води та збільшити висоту фільтрувальних матеріалів для підготовки води у промисловому водопостачанні.

7. Виявлення та моніторинг критичних точок контролю у процесі виробництва фасованої питної води, згідно системи НАССР, дозволяє ефективнішим та економічнішим засобом досягати забезпечення якості та безпеки, ніж традиційні засоби інспекції та випробовувань готової продукції.

8. Проаналізовано умови підключення промислових стічних вод в міську каналізацію, а також загальні вимоги до виробничих стічних вод та їх гранично – допустимі концентрації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дослідження ринку безалкогольних напоїв UA ECONOMIC. Офіційний сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uaeconomic.com/ulens-1233-1.html>.
2. Шуманн Г. Безалкогольные напитки: сырье, технология, нормативы/ пер. с нем. Под общ.науч.ред. А. В. Орещенко и Л. Н. Беневоленской. – СПб: Профессия, 2004. – 278с.
3. Третинник В.Ю. Природные дисперсные минералы Украины и перспективы их использования в технологии водоочистки. Химия и технология воды. – 1998. – Т.20, №2. – 183–189с.
4. Махорин К.Е. Очистка питьевой воды активными углями /Химия и технология воды. / К.Е. Махорин, И.Я. Пищай – 1997. – Т.19, №2. – 188-195с.
5. Сорокіна К.Б. Застосування дисперсних мінералів і їх модифікованих аналогів для покращення процесів очищення та доочищення питної води. – Науково-технічний збірник №74. – 2006. – 159с.
6. Пісок кварцевий. Технічні умови: ДСТУ Б.В.2.7 – 131:2007 - [Чинний від -17-07-2007] – К.: Київ, Держспоживстандарт, 2007 - 13с.
7. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. - М.: ДеЛи принт, 2004. - 328 с.
8. ДСТУ 4069:2016 «Напої безалкогольні. Загальні технічні умови». [Електронний ресурс] Режим доступу: http://zstmetr.ztmetr.com.ua/?page_id=1527.
9. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" Наказ МОЗ України від 12.05.2010 за № 400 – К.: Офіційний вісник України. – 2010. – 51с.
10. Орлов В.О. Водоочистні фільтри із зернистою засипкою / В.О. Орлова – Рівне : НУВГП, 2005. – 163 с.
11. Кузнецов Л.К. Технология фильтрования в физико-химических процессах водоподготовки // Башкирский химический журнал. – 2009. – Том 16. –№ 2. – С. 84–92.

12. Рудь В.Д. Аналіз та оцінка фільтрувальних матеріалів для води. Міжвузівський збірник "Наукові Нотатки". В.Д. Рудь, Н.М. Гулієва, М.М. Заїкін. – 2012. – №39. С – 87-92.
13. Исследование свойств фильтрующих загрузок для очистки воды от железа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/2185>.
14. Гомеля Н.Д. Натрий-катионное умягчение воды в присутствии ионов железа / Н.Д. Гомеля, Ю.А. Омельчук, В.М. Радовенчик // Вісник національного технічного університету України «КПІ», Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2008. – №1(1). – С. 67–70.
15. Орлов В.О. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. / Орлов В.О., Литвиненко Л. Л., Орлова А. М. – К. : Знання, 2014. – 278с.
16. Кокотов Ю.А. Теоретические основы ионного обмена / Ю.А. Кокотов, П.П. Золотарев, Г.Э. Елькин. – Л.: Химия, 1986. – 270 с.
17. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия. 1982. 168 с.
18. Когановский А. М. Адсорбція й іонний обмін у процесах водопідготовки й очищення стічних вод. К. : Наукова думка, 1983. 240 с.
19. Махорин К.Е. Активные угли и их применение в водоподготовке // Химия и технология воды. – 1998. – Т.20, №1. – С.52-60.
20. Активоване вугілля у водоготуванні для виготовлення напоїв / С.І. Олійник, В.Л. Прибильський, А. М. Куц та ін. // Харчова наука та технологія. – 2014. – № 3(28). – С. 36–42.
21. Активированные угли в водоподготовке / М. А. Сусь, Е. М. Светлейшая, Н. В. Гуньковская // Вода и водоочисные технологии. – 2011. – № 5(59). – С. 16-20.
20. Активоване вугілля у водоготуванні для виготовлення напоїв / С.І. Олійник, В.Л. Прибильський, А. М. Куц та ін. // Харчова наука та технологія. – 2014. – № 3(28). – С. 36–42.
22. Сакалова Г.В. Дослідження ефективності очищення стічних вод від іонів важких металів з використанням природних адсорбентів: монографія. Г.В.Сакалова, Т.М. Василінич. – Вінниця.: 2019. – 92 с.

23. Еко Форум – 2020: збірка тез доповідей IV спеціалізованого міжнародного Запорізького екологічного форуму, 15 – 17 жовтня 2020 р. – Запоріжжя: Запорізька торговопромислова палата, 2020. – с. 240-242.
24. Патент 35242 UA, МПК 6 C02F1/44, C02F1/46 Спосіб водопідготовки / Гулий І. С., Домарецький В. А., Бадеха В. П., Кисла Л. В., Позняк О. М., Усатюк С. І.; Заявник і патентовласник - Національний університет харчових технологій. – № 99095014; заявл. 01.07.1999; опубл. 15.03.2001, Бюл. № 2, 2001 р.
25. Спосіб отримання плівок на основі хітозану. Столяренко Г. С., Солодовнік Т. В., Куриленко Ю. М., Єгорова О. В. (Україна), Заяв. 09.12.13, Опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8
26. Термічна модифікація плівок на основі хітозану для застосування в технологічних процесах очистки води / Т.В. Солодовнік, Г.С. Столяренко, О.В. Єгорова, О.Ф. Сафонова, С.О. Кравченко, Ю.В. Дзігора // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 167-173. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchdtu_2015_1_29.
27. Обладнання та технології харчових виробництв. Г. В. Дейниченко, В. В. Гузенко, О. В. Омельченко, Н. Г. Перекрест, Ю. В. Пронькин. – 2016. Вип. 34.
28. Пузий А.М. Фосфорсодержащие углеродные сорбенты для очистки воды. Пузий А.М., Пасальский Б., Чикун Н.– 2014. – С. 159 – 166.
29. Meinzinger, F. Water characteristics of source-separated household wastewater flows: a statistical assessment. Meinzinger, F., Oldenburg, M. Science and Technology. 2009. 59 (9). P. 1785–1791.
30. Smoczyński, L. Electrocoagulation of model wastewater using iron elect. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B. & Kosobucka, M. Ecological Chemistry and Engineering. A. 2013. 20 (10), pp. 1143– 1152.
31. Smoczyński, L., Muńska, K. T., Pierożyński, B., Kosobucka, M. Electrocoagulation of model wastewater using aluminum electrodes. Polish Journal of Chemical Technology. 2012. 14 (3). P. 66– 70.

32. Гевод В.С., Кравченко В.В. Вторичное загрязнение водопроводной воды и использование инновационных водоочистителей для решения этой проблемы. «Хімія та сучасні технології»: зб. тез доп. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпро: 2017. 105–106с.
33. Оцінка впливу хлоридів на іонообмінне очищення води від нітратів. / Гомеля Н.Д., Трус И.Н., Грабитченко В.Н., Воробьева В. И. // Экология и промышленность. – 2015. – № 1 (45). – С. 61-65.
34. ТМ ® Торговая марка The DOW Chemical Company ионообменная смола Dowex HCR S/S, Dowex SBR-P [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.dupont.com/water.html>.
35. Активоване вугілля Centaur [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://aqua-line.net.ua/catalog/filtruvalni-zagruzki/aktivovane-vugillya-chemviron-carbon-centaur-hsl-8x30/>.
36. Справочник химика-энергетика. Под общ. ред. С.М. Гуревича. Т.1. Водоподготовка и водный режим парогенераторов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: «Энергия». – 1972. – 456 с.
37. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива: Підручник. – К.: «Фірма «ІНКОС», 2004. – 426 с.
38. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. – [Чинний від 2007-07-05]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 36 с. (Національний стандарт України).
39. Введение в технологии продуктов питания / Витол И.С., Горбатьок В.И., Горенков Э.С. и др.; под ред. Нечаева А.П. – М.: ДеЛи плюс, 2013. – 720 с.
40. Рудольф В.В. Производство безалкогольных напитков и розлив минеральных вод / В.В. Рудольф, В.Е. Балашов навч. посіб. – М.: Агропромиздат, 1988. – 287 с.
41. ДСТУ 4856:2007. Продукція безалкогольної промисловості. Правила приймання та методи відбирання проб. – К.: Держспоживстандарт України. – 2008. – С.9.

42. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. [Чинний від 23 жовтня 2014 р.]. – К.: МІНЕКОНОМПРОЗВИТКУ УКРАЇНИ, 2014. – 90 с. (Національний стандарт України).
43. Загальні технології харчових виробництв: підр. / В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, М.М. Калакура, Л.Ф. Романенко, Л.М. Хомічак, Василенко О.О., Мельник І.В., Мельник Л.М. – К.: Університет «Україна», 2010. – 814 с.
44. Зуев Е.Т. Питьевая и минеральная вода. Требования мировых и европейских стандартов к качеству и безопасности. / Е.Т. Зуев, Т.С. Фомин. – М.: Протектор, 2003. – 319 с.
45. Чернолуцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления – СПб.: Питер, 2004. – 256 с.
46. Розробка та запровадження систем управління безпечністю харчових продуктів на основі принципів НАССР. МВ 4.4.5.6. – 000–2010.: Методичні вказівки [Електронний ресурс] / Міжнародний інститут безпеки і якості харчових продуктів; Інститут екогієни та токсикології ім. Л. І. Медведя. – Київ. – 2010. – С.34. – Режим доступу: <http://codex.co.ua>.
47. Закон України № 771 «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» - чинний від 16.01.2020.
48. CODEX STAN 227-2001 «Загальний стандарт для бутильованих/фасованих питних вод, відмінні від природних мінеральних вод»
49. ДСТУ 2368:2004 «Напої безалкогольні. Виробництво. Терміни та визначення понять». [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://document.ua/napoyi-bezalkogolni.-virobnictvo.-termini-ta-viznachennja-po-std463.html>.
50. Кодекс Міжнародних норм та правил САС/RCP 1-1969, Rev/4-2003. – 34 с.
51. ТУ У 15.9-33234957-004:2007 «Вода питна. Технічні умови».
52. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. / Г.С. Фомин – М.: Протектор, 2010. – 1008 с.

53. Ермолаева Г.А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков / В.А. Ермолаева, Р.А. Колчева. - М.: ИРПО; Изд. центр «Академия», 2006. - 416с.
54. Технологія безалкогольних напоїв: підруч. / В.Л. Прибильський, З.М. Романова, В.М. Сидор та ін.; за ред. докт. техн. наук, проф. В.Л. Прибильського. – Київ : НУХТ, 2014. – 312 с.
55. Директива 98/72/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 15 жовтня 1998 року.
56. D. Senior & N .Dege – Technology of bottled water – 2ND EDITION Blackwell Publishing – 2005 – ISBN 1-4051-2038-X.
57. САС/RCP 48 – 2001 «Кодекс по гігієнічній практиці для бутильованої /фасованої питної води, відмінних від природних мінеральних вод»
58. ДСанПіН 4.4.4-152–2008 «Державні санітарні норми і правила для підприємств, що виробляють солод, пиво та безалкогольні напої» – [Електронний ресурс]. Режим доступу:<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z1411-07>.
59. D. Tampo – Les eaux conditionnées –Tec & Doc Lavoisier – 1992 – ISBN 2-85206-801-X.
60. Стрикаленко Т.В. Гигиенические задачи производства бутилированных питьевых вод: вчера, сегодня, завтра / Т.В. Стрикаленко // Вода і водостічні технології. – 2009. – №.8- 9. – С. 52-56.
61. Поштаренко А.В. Вплив харчової промисловості на екологічну безпеку природних вод / А.В. Поштаренко // Проблеми екологічної біотехнології. - 2015. - № 2. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2015_2_12

Розрахунок основних технологічних параметрів фільтрування

Площу фільтрувальної колонки розраховували за формулою, м²:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (1)$$

де π – математична константа, 3,14;

d – діаметр колонки, м; приймаємо 4 см або 0,04м.

$$S = \frac{3,14 \cdot 0,04^2 \text{ м}^2}{4} = 0,001256 \text{ м}^2$$

Об'ємну швидкість фільтрування обчислювали за формулою, дм³/год:

$$V = \frac{q}{\tau}; \quad (2)$$

де q – об'єм очищеного розчину за певний час τ , дм³; приймаємо 1,2 дм³;

τ – час, за який очищується певний об'єм води q , год; приймаємо за 1 хв або 0,016 год.

$$V = \frac{1,2 \text{ дм}^3}{0,016 \text{ год}} = 75 \text{ дм}^3/\text{год}.$$

Лінійну швидкість фільтрування розраховували за рівнянням, м/год:

$$v = \frac{V}{1000 \cdot S} \quad (3)$$

$$v = \frac{75 \text{ дм}^3/\text{год}}{1000 \cdot 0,001256 \text{ м}^2} = 59,7 \text{ м/год}.$$

Додаток Б

№ з/П	Vов, дм ³	Жзаг, ммоль/дм ³	pH	Лзаг, ммоль/дм ³
0	0	5,4	6,80	3,6
1	15	3,0	7,02	3,0
2	34	2,7	6,93	2,8
3	52	2,5	6,87	2,8
4	70	2,2	6,72	2,5
5	105	2,0	6,57	2,0
6	141	1,2	6,53	2,0
7	177	1,5	6,55	1,5
8	212	2,0	6,56	1,5
9	249	2,0	6,52	1,5
10	285	3,2	5,69	1,5
11	321	4,6	5,56	2,5
12	356	5,4	5,58	3,1

Додаток В

Програма розрахунку коефіцієнтів рівнянь регресії та програма визначення оптимального значення однопараметричної задачі з узагальненим критерієм оптимальності.

$$\underline{K} := (3 \ 2.7 \ 2.5 \ 2.2 \ 2 \ 1.2 \ 1.5 \ 2 \ 2 \ 3.2 \ 4.6 \ 6)^T \quad N1 := 11$$

$$P1 := (15 \ 34 \ 52 \ 70 \ 105 \ 141 \ 177 \ 212 \ 249 \ 285 \ 321 \ 356)^T \quad i1 := 0..N1$$

$$A1 := \begin{pmatrix} 12 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix} \quad C1 := \begin{bmatrix} \sum K \\ \sum_{i1} [K_{i1} \cdot P1_{i1}] \\ \sum_{i1} [K_{i1} \cdot (P1_{i1})^2] \\ \sum_{i1} [K_{i1} \cdot (P1_{i1})^3] \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
\underline{S} &:= (7.02 \ 6.93 \ 6.87 \ 6.72 \ 6.57 \ 6.53 \ 6.55 \ 6.56 \ 6.52 \ 5.69 \ 5.56 \ 5.58)^T & N2 &:= 11 \\
P2 &:= (15 \ 34 \ 52 \ 70 \ 105 \ 141 \ 177 \ 212 \ 249 \ 285 \ 321 \ 356)^T & i2 &:= 0..N2
\end{aligned}$$

$$A2 := \begin{pmatrix} 12 & \sum P2 & \sum P2^2 & \sum P2^3 \\ \sum P2 & \sum P2^2 & \sum P2^3 & \sum P2^4 \\ \sum P2^2 & \sum P2^3 & \sum P2^4 & \sum P2^5 \\ \sum P2^3 & \sum P2^4 & \sum P2^5 & \sum P2^6 \end{pmatrix} \qquad C2 := \begin{bmatrix} \sum S \\ \sum_{i2} (S_{i2} \cdot P2_{i2}) \\ \sum_{i2} [S_{i2} \cdot (P2_{i2})^2] \\ \sum_{i2} [S_{i2} \cdot (P2_{i2})^3] \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
X &:= (3 \ 2.8 \ 2.8 \ 2.5 \ 2 \ 2 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 2.5 \ 3.1)^T & N3 &:= 11 \\
P3 &:= (15 \ 34 \ 52 \ 70 \ 105 \ 141 \ 177 \ 212 \ 249 \ 285 \ 321 \ 356)^T & i3 &:= 0..N3
\end{aligned}$$

$$A3 := \begin{pmatrix} 12 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix} \qquad C3 := \begin{bmatrix} \sum X \\ \sum_{i3} (X_{i3} \cdot P3_{i3}) \\ \sum_{i3} [X_{i3} \cdot (P3_{i3})^2] \\ \sum_{i3} [X_{i3} \cdot (P3_{i3})^3] \end{bmatrix}$$

Програма переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона.

```

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

```

$D := (0.01 \ 0.2 \ 0.37 \ 0.63 \ 0.8 \ 0.99)^T$
 $a1 := 0.1 \quad b1 := 370 \quad nn := 10 \quad j := 0..nn$
 $h := \frac{b1 - a1}{nn} \quad P_j := a1 + h \cdot j \quad Y1_j := F1(P_j) \quad Y2_j := F2(P_j) \quad Y3_j := F3(P_j)$
 $ff1_j := HAR(IBK, D, Y1_j, 0) \quad ff2_j := HAR(IBS, D, Y2_j, 0) \quad ff3_j := HAR(IBX, D, Y3_j, 0)$

```

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

```

Додаток Г

№ з/П	t, хв	Жзаг, ммоль/дм ³	ПО, мгО ₂ /дм ³	C(Fe), мг/дм ³
0	0	5,4	3,2	0,22
1	15	3,0	1,5	0,1
2	30	2,7	1,2	0,08
3	45	2,5	1,2	0,05
4	60	2,2	1,0	0,03
5	90	2,0	0,8	0,02
6	120	1,2	0,6	0,01
7	150	1,5	1,6	0,07
8	170	2,0	2,0	0,15
9	210	2,0	2,5	0,22
10	240	3,2	3,0	0,22
11	270	4,6	3,2	0,22
12	300	5,4	3,2	0,22

Програма розрахунку коефіцієнтів рівнянь регресії та програма визначення оптимального значення однопараметричної задачі з узагальненим критерієм оптимальності.

$$\underline{K} := (3 \ 2.7 \ 2.5 \ 2.2 \ 2 \ 1.2 \ 1.5 \ 2 \ 2 \ 3.2 \ 4.6 \ 6)^T \quad N1 := 11$$

$$P1 := (15 \ 30 \ 45 \ 60 \ 90 \ 120 \ 150 \ 170 \ 210 \ 240 \ 270 \ 300)^T \quad i1 := 0..N1$$

$$A1 := \begin{pmatrix} 12 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix} \quad C1 := \begin{bmatrix} \sum K \\ \sum_{i1} (K_{i1} \cdot P1_{i1}) \\ \sum_{i1} [K_{i1} \cdot (P1_{i1})^2] \\ \sum_{i1} [K_{i1} \cdot (P1_{i1})^3] \end{bmatrix}$$

$$\underline{S} := (1.5 \ 1.2 \ 1.2 \ 1 \ 0.8 \ 0.6 \ 1.6 \ 2 \ 2.5 \ 3 \ 3.2 \ 3.6)^T \quad N2 := 11$$

$$P2 := (15 \ 30 \ 45 \ 60 \ 90 \ 120 \ 150 \ 170 \ 210 \ 240 \ 270 \ 300)^T \quad i2 := 0..N2$$

$$A2 := \begin{pmatrix} 12 & \sum P2 & \sum P2^2 & \sum P2^3 \\ \sum P2 & \sum P2^2 & \sum P2^3 & \sum P2^4 \\ \sum P2^2 & \sum P2^3 & \sum P2^4 & \sum P2^5 \\ \sum P2^3 & \sum P2^4 & \sum P2^5 & \sum P2^6 \end{pmatrix} \quad C2 := \begin{bmatrix} \sum S \\ \sum_{i2} (S_{i2} \cdot P2_{i2}) \\ \sum_{i2} [S_{i2} \cdot (P2_{i2})^2] \\ \sum_{i2} [S_{i2} \cdot (P2_{i2})^3] \end{bmatrix}$$

$$\underline{X} := (0.1 \ 0.08 \ 0.05 \ 0.03 \ 0.02 \ 0.01 \ 0.07 \ 0.15 \ 0.22 \ 0.29 \ 0.30 \ 0.32)^T \quad N3 := 11$$

$$P3 := (15 \ 30 \ 45 \ 60 \ 90 \ 120 \ 150 \ 170 \ 210 \ 240 \ 270 \ 300)^T \quad i3 := 0..N3$$

$$A3 := \begin{pmatrix} 12 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix} \quad C3 := \begin{bmatrix} \sum X \\ \sum_{i3} (X_{i3} \cdot P3_{i3}) \\ \sum_{i3} [X_{i3} \cdot (P3_{i3})^2] \\ \sum_{i3} [X_{i3} \cdot (P3_{i3})^3] \end{bmatrix}$$

Програма переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона.

```

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

```

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

$$a1 := 0.1 \quad b1 := 300 \quad nn := 10 \quad j := 0..nn$$

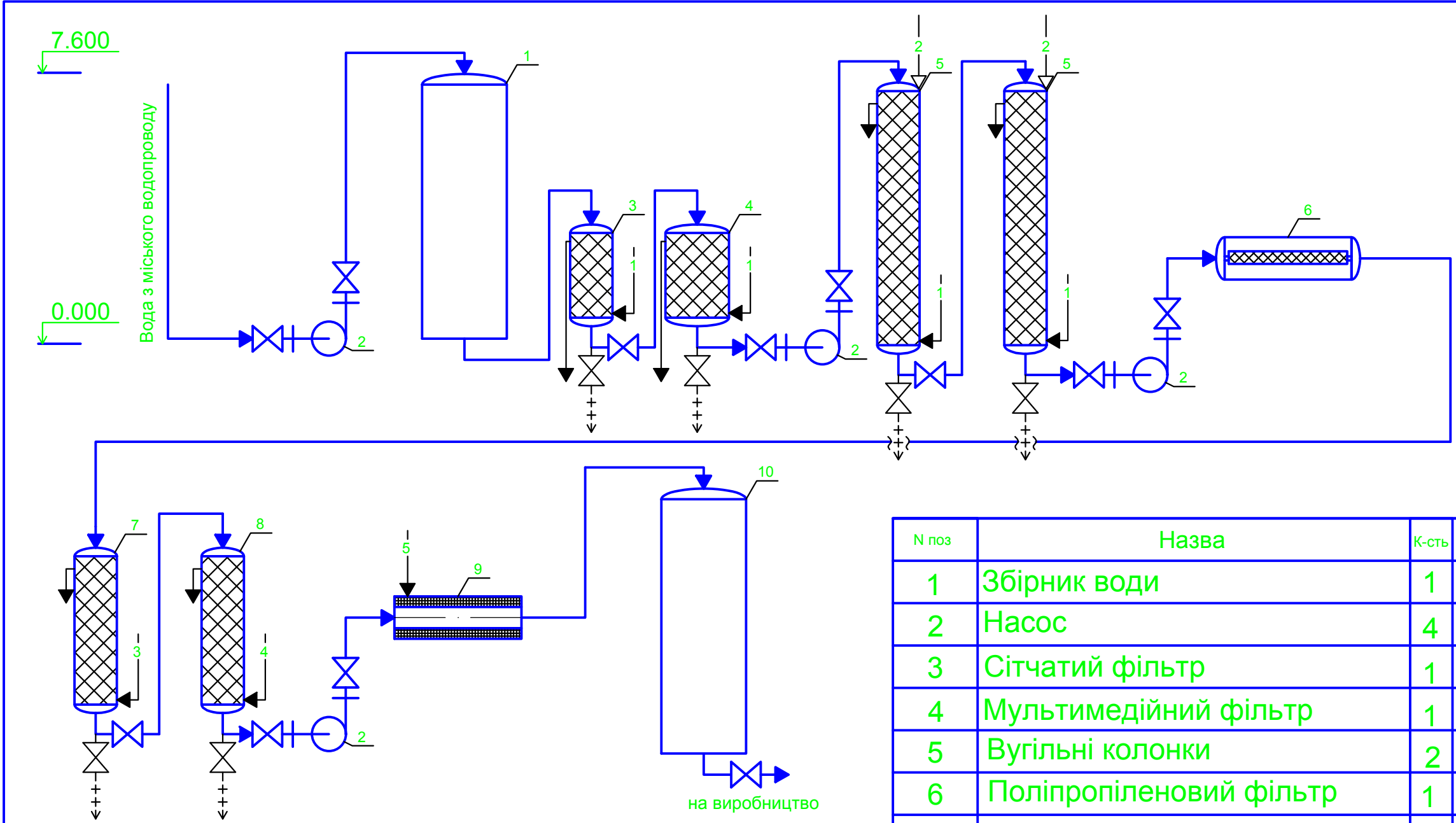
$$h := \frac{b1 - a1}{nn} \quad P_j := a1 + h \cdot j \quad Y1_j := F1(P_j) \quad Y2_j := F2(P_j) \quad Y3_j := F3(P_j)$$

$$ff1_j := \text{HAR}(\text{IBK}, D, Y1_j, 0) \quad ff2_j := \text{HAR}(\text{IBS}, D, Y2_j, 0) \quad ff3_j := \text{HAR}(\text{IBX}, D, Y3_j, 0)$$

```

OPT1(F,n,a1,h1) :=
| MA ← F0
| im ← 0
| for i1 ∈ 0..n - 1
|   if Fi1 > MA
|     | MA ← Fi1
|     | im ← i1
| xlm ← a1 + h1·(im)
| z0 ← MA
| z1 ← xlm
| z

```



Умовне позначення	
Літерне	Графічне
Вода	→
Вода для промивки	— 1 →
Пара	— 2 →
сол. р-н NaCl 8-12%	— 3 →
сол. р-н NaCl 4-8%	— 4 →
р-н лимонної К-ти	— 5 →

N поз	Назва	К-сть	Примітки
1	Збірник води	1	
2	Насос	4	
3	Сітчатий фільтр	1	
4	Мультимедійний фільтр	1	
5	Вугільні колонки	2	
6	Поліпропіленовий фільтр	1	
7	Na-катіонітовий фільтр	2	
8	Cl-аніонітовий фільтр	2	
9	УФ-лампа	2	
10	РЧВ	1	

Дослідження використання природніх сорбентів у технології підготовки води для отримання безалкогольних напоїв

Зм.	Арк.	Прізвище	Підпис	Дата
Розроб.		Боярчук А.Л.		
Консул.				
Консул.		Чернова Н.М.		
Зав.каф		Гусятинська Н.А.		

**Апаратурно-технологічна
схема**

НУХТ ТВ-2-9М

Стадія	Маса	Масшт.
Аркуш		Аркушів