

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



РОЙ ІГОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 504.062:66.094.3–926.214

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ
ШЛЯХОМ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОКИСЛЕННЯ ОРГАНІЧНИХ
РЕЧОВИН**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі прикладної екології Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Пляцук Леонід Дмитрович,
Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри прикладної екології.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Петрушка Ігор Михайлович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності,
заступник директора, декан повної вищої освіти інституту екології, природоохоронної діяльності та туризму імені В. Чорновола;

кандидат технічних наук, доцент
Мельник Олена Сергіївна,
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри безпеки життєдіяльності, фізичного виховання та здоров'я людини.

Захист відбудеться 10 лютого 2017 р. о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розісланий «05» січня 2017 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради



Л. Л. Гурець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Особливість питного водопостачання в Україні полягає в тому, що воно на 80 % забезпечується з поверхневих джерел, а якість і безпечність питної води для людини прямо залежать від екологічного стану джерел та ефективності роботи систем питного водопостачання міст. Актуальною залишається проблема погіршення якості води у поверхневих джерелах за санітарно-хімічними показниками. Природні води містять велику кількість забруднювальних речовин, зокрема органічних. Останні представлені органічною речовиною природного походження та численними домішками штучного походження. Зважаючи на те що екологічна безпека є однією зі складових національної безпеки країни і спрямована на створення умов надійної безпеки життя та діяльності людини через управління небезпеками, що є наслідком функціонування антропогенних і природних систем, оцінювання та прогнозування впливу техногенного забруднення на людину і його попередження залишаються одним з актуальних завдань.

Зважаючи на складність контролю техногенних процесів надходження органічних речовин у водні об'єкти та неконтрольованість природних процесів продукування органічних речовин, єдиним ефективним заходом щодо зниження рівня екологічної небезпеки в питному водопостачанні залишається мінімізація наслідків антропогенного впливу за рахунок використання високоефективних методів очищення на водопровідних станціях. Першочергового значення набуває підвищення ефективності роботи водопровідних станцій щодо видалення органічних речовин із питної води.

Під час вирішення цього питання перспективним є інтенсифікація існуючих методів видалення органічних речовин із питної води, у цьому плані актуальним залишається пошук способів інтенсифікації процесу окиснення органічних речовин озоном за рахунок використання фізичних методів, таких як магнітна обробка (МО) води, що полягає у зміні фізико-хімічних властивостей водних розчинів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася згідно з державною програмою в рамках держбюджетної тематики Сумського державного університету «Розробка шляхів поліпшення екологічної ситуації міст та промислових зон» (номер держреєстрації 0111U006335).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення науково-практичної проблеми, підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання і попередження загрози для здоров'я та життя людини, що виникає під час функціонування техногенних і природних систем, шляхом удосконалення станцій очищення питної води із застосуванням апаратів магнітної обробки.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі завдання:

- оцінити екологічний стан поверхневих джерел питного водопостачання за показниками вмісту органічних речовин;
- проаналізувати якість води у джерелах водопостачання як чинника формування екологічної небезпеки;
- провести аналіз технологічних схем діючих в Україні централізованих водопровідних станцій та оцінити ефективність їх роботи з позицій екологічної безпеки;
- провести вибір найбільш ефективного методу для видалення органічних речовин із питної води з урахуванням екологічного стану поверхневих водоем України;

- дослідити фізичну природу магнітної обробки та вплив конструктивних і режимних параметрів МО на ефективність подальшого озонування;
- розробити математичну модель процесу МО;
- розробити методологічний підхід до оцінки показників екологічної безпеки питної води;
- провести оцінку екологічного ефекту від використання МО в системах питного водопостачання, базуючись на показниках екологічної безпеки питної води;
- запропонувати рекомендації з експлуатації апаратів МО спільно з озонуванням на централізованих водопровідних станціях;
- розробити методику інженерного розрахунку апарата МО води.

Об'єкт дослідження – екологічно небезпечні процеси очистки природних вод в системах питного водопостачання міст.

Предмет дослідження – методи та засоби інтенсифікації процесів очищення природних вод в системах питного водопостачання.

Методи дослідження. Теоретичні аспекти дисертаційної роботи ґрунтуються на фізичному і математичному моделюванні досліджуваних процесів. У роботі використано метод титрометричного аналізу та рН-метрії для визначення ефективності окиснення органічних речовин і контролю фізико-хімічних параметрів процесів магнітної обробки та озонування. Для оброблення експериментальних даних використовували статистичні методи та регресійний аналіз із використанням пакетів програм Statistica 10.0, Maple 7.0, Microsoft Excel, Advanced Grapher 2.11.

Наукова новизна одержаних результатів:

- удосконалено фізичну модель впливу магнітної обробки на фізико-хімічні властивості водних розчинів і кінетику окисно-відновних реакцій, за рахунок встановлення механізму впливу неоднорідного магнітного поля;
- вперше експериментально встановлені оптимальні режимні і конструктивні параметри магнітної обробки води для інтенсифікації подальшого окиснення органічних речовин озоном;
- розроблені регресійні залежності ефективності магнітної обробки від параметрів обробки та фізико-хімічних властивостей оброблювальної води;
- дістав подальшого розвитку підхід до оцінки показників екологічної безпеки питної води, що дозволяє здійснювати прогнозування негативних наслідків для здоров'я людини при вживанні питної води;
- розроблена інженерна методика розрахунку конструктивних параметрів апаратів магнітної обробки, що дозволяє проектувати вискоелективні апарати магнітної обробки для інтенсифікації подальшого окиснення органічних речовин озоном.

Практичне значення одержаних результатів. Із метою зменшення рівня екологічної небезпеки, що виникає через незадовільну якість води у джерелах водопостачання та низьку ефективність роботи водопровідних станцій, і створення безпечних умов життєдіяльності людини розроблено спосіб інтенсифікації окиснення органічних речовин озоном за рахунок використання попередньої магнітної обробки природних вод. Уперше знайдені закономірності спільного застосування магнітної обробки та озонування можуть бути використані для удосконалення технологічних схем очищення на централізованих водопровідних станціях. Визначено конструктивні співвідношення та оптимальні режимні параметри роботи апаратів магнітної обробки, що дозволяють забезпечити зниження рівня потенційного ризику погіршення

здоров'я людини, спричиненого токсичною дією органічних речовин на організм людини.

Вихідні дані дослідно-промислових випробувань способу інтенсифікації окиснення органічних речовин озоном за рахунок використання магнітної обробки води перед подачею на озонування передані до ТОВ «Сумитеплоенерго» (акт впровадження від 17.03.2016 р.).

Розроблені в дисертації математичну модель та інженерний метод розрахунку конструктивних параметрів апаратів магнітної обробки упроваджено в навчальний процес кафедри прикладної екології Сумського державного університету у дисциплінах «Основи створення екологічно безпечних технологій» і «Техноекологія» (акт впровадження від 29.09.2014 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним, завершеним дослідженням автора в галузі екологічної безпеки. Автором зібрано і проаналізовано статистичний матеріал, виконано його оброблення та наукове узагальнення, обґрунтовано методи дослідження і вирішено поставлені в роботі завдання дослідження. Розроблено спосіб інтенсифікації озонування природних вод за рахунок використання попередньої МО води на міських централізованих водопровідних станціях. Установлено нові закономірності перебігу процесу МО і побудовано регресійні рівняння для використання в інженерних розрахунках.

Вибір теми дисертаційної роботи, постановка завдань, обговорення одержаних результатів було проведено разом із науковим керівником – доктором технічних наук, професором Л. Д. Пляцуком. Внесок автора у роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: щорічних науково-технічних конференціях факультету технічних систем та енергоефективних технологій Сумського державного університету (м. Суми, 2011, 2013, 2015 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні» (м. Київ, квітень 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «III Всеукраїнський з'їзд екологів» (м. Вінниця, вересень 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Карпатська конференція з проблем охорони довкілля» (м. Мукачеве, травень 2011 р.); I Всеукраїнській студентській науковій конференції «Екологія та екологічна освіта» (м. Київ, 2011 р.); VII Міжнародній XVIII Традиційній науково-практичній конференції «Екологічний інтелект – 2012» (м. Дніпропетровськ, квітень 2012 р.); II Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, квітень 2012 р.); Міжнародній конференції «Цілі збалансованого розвитку для України» (м. Київ, червень 2013 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми інженерних наук у галузі промисловості, екології та охорони водних ресурсів» (м. Пенза, 2013 р.); III Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, квітень 2014 р.); XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, 2015 р.); IV Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, квітень 2016 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія і захист навколишнього середовища» (м. Мінськ, травень 2016 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 22 наукові праці: 8 статей, з яких 5 – у спеціалізованих виданнях, які входять до списку МОН України, 1 – у спеціалізованому зарубіжному виданні, 2 статті – у збірниках матеріалів конференцій, 1 патент України на корисну модель і 13 тез доповідей на конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, шістнадцяти додатків. Загальний обсяг роботи становить 184 сторінки. Дисертаційна робота містить 43 рисунки та 17 таблиць за текстом. Список використаних джерел у кількості 194 найменувань на 21 сторінці. Додатки розміщені на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання досліджень, представлено наукову новизну, практичну цінність одержаних результатів, а також особистий внесок здобувача.

У першому розділі викладено результати аналізу літературних і статистичних даних щодо показників якості та безпечності питної води. Виявлено, що якість питної води корелює з екологічним станом поверхневих джерел водопостачання, що свідчить про низьку ефективність роботи водопровідних станцій. Постійно фіксується перевищення вмісту органічних речовин за показником перманганатної окиснюваності. Установлено, що діючі в Україні водопровідні станції спроектовані десятки років тому за класичною технологічною схемою очищення питної води, не орієнтованою на сучасну якість води у джерелах водопостачання. Органічне забруднення джерел водопостачання характерне для всіх водних об'єктів України, де вміст органічних речовин за показниками біохімічного (БСК) та хімічного (ХСК) споживання кисню постійно перевищує встановлені норми в 1,5–2 рази. Проблема погіршується відсутністю ефективних технологій очищення води від органічних речовин на водопровідних станціях.

Проведено огляд та аналіз патентної й технічної інформації щодо існуючих методів видалення органічних речовин із питної води на водопровідних станціях. Показано, що для якості води у джерелах водопостачання, характерної для водних об'єктів України, ефективним є окиснення органічних речовин озоном. Проведений літературно-патентний огляд засвідчив, що одним із перспективних способів видалення органічних речовин є використання озонування із попередньою магнітною обробкою води.

Запропоновано класифікацію апаратів МО і встановлено основні конструктивні та режимні фактори, що впливають на ефективність МО. Ці рішення використано під час розроблення лабораторного зразка апарата МО для проведення досліджень.

У другому розділі описані об'єкт і методи дослідження, методики проведення експериментів та математичні методи оброблення одержаних даних.

Обґрунтовано вибір розчинів щавлевої кислоти як модельних розчинів для проведення досліджень і вивчення спрямованого впливу різних параметрів МО на ефективність подальшого окиснення органічних речовин озоном.

Для вивчення спрямованого впливу МО на ефективність подальшого окиснення озоном та зменшення впливу випадкових факторів використовували хімічно чисті розчини щавлевої кислоти. Розчини готували розчиненням точної наважки у дистильованій воді з подальшим розведенням розчину до необхідної концентрації. Ви-

значення концентрації оксалат-іонів проводили відповідно до стандартної методики, що ґрунтується на титруванні розчину щавлевої кислоти перманганатом калію в кислому середовищі за температур 333–353 К.

За результат вимірювань брали середнє арифметичне результатів трьох паралельних аналізів. Ефективність окиснення щавлевої кислоти розраховували за виразом

$$E = \frac{c_{\text{поч}} - c_i}{c_{\text{поч}}} \cdot 100, \quad (1)$$

де c_i – кінцева (після озонування) концентрація оксалат-іонів у водному розчині, кг/м³; $c_{\text{поч}}$ – початкова (до озонування) концентрація оксалат-іонів у водному розчині, кг/м³.

Ефективність МО визначали за формулою

$$E_{\text{м.о}} = \frac{E' - E}{E} \cdot 100, \quad (2)$$

де E – ефективність окиснення щавлевої кислоти озоном без попередньої МО, %; E' – ефективність окиснення щавлевої кислоти озоном після попередньої МО, %.

У розділі 2 описана лабораторна та експериментальна установки для проведення МО водних розчинів перед подачею на озонування. Усі дослідження проводили на експериментальній установці, що працювала в дві послідовні стадії: магнітна обробка розчину щавлевої кислоти в апараті МО та окиснення щавлевої кислоти озоном у барботажному реакторі.

Дослідження з вивчення впливу МО на ефективність подальшого окиснення щавлевої кислоти проводили з використанням апарата МО трансформаторного типу, що являє собою ярмо з електротехнічної сталі з котушкою, на яку подається постійний струм. Трубка для проходження водного розчину в апараті МО розміщена в зазорі між полюсами магнітів і виконана зі скла як діамагнітного матеріалу для запобігання екрануванню зовнішнього магнітного поля.

Експерименти проводили за однаковою схемою організації процесу однократного проходження оброблюваного розчину в зазорі апарата МО. Швидкість руху розчину в магнітному полі визначали залежно від витрати розчину, яку вимірювали водним ротаметром РМ-0,63Ж УЗ. Оброблений у магнітному полі розчин надходив у барботажник реактор – колону об'ємом 1 дм³. Для зменшення появи неконтрольованих фотокаталітичних реакцій за участі озону та ультрафіолетового спектра денного світла колона була захищена від проникнення світла усередину.

У заповнений реактор озono-повітряну суміш подавали через керамічний диспергуючий елемент, розміщений в основі реактора. Об'єм газу, пропущеного через розчин, вимірювали за допомогою газового ротаметра РМ-0,63Г УЗ. Озоно-повітряну суміш одержували за допомогою озонатора «Шторм-911», що працює за принципом утворення озону з кисню повітря при впливі бар'єрного електричного розряду. Також у цьому розділі описані основні принципи підбору режимно-технологічних параметрів процесів МО та озонування.

Третій розділ присвячений дослідженню наукової проблеми з'ясування природи впливу МО на фізико-хімічні властивості водних розчинів.

Проведено серію дослідів із визначення впливу МО на ефективність подальшого окиснення органічних речовин озоном. Результати вимірювань при різних величинах магнітної індукції подані на рис. 1. Інші параметри МО та озонування встановлювали на постійному рівні. Контрольний дослід з окиснення щавлевої кислоти проводили в аналогічних умовах: пропускання водного розчину через апарат МО без підключення магнітного поля.

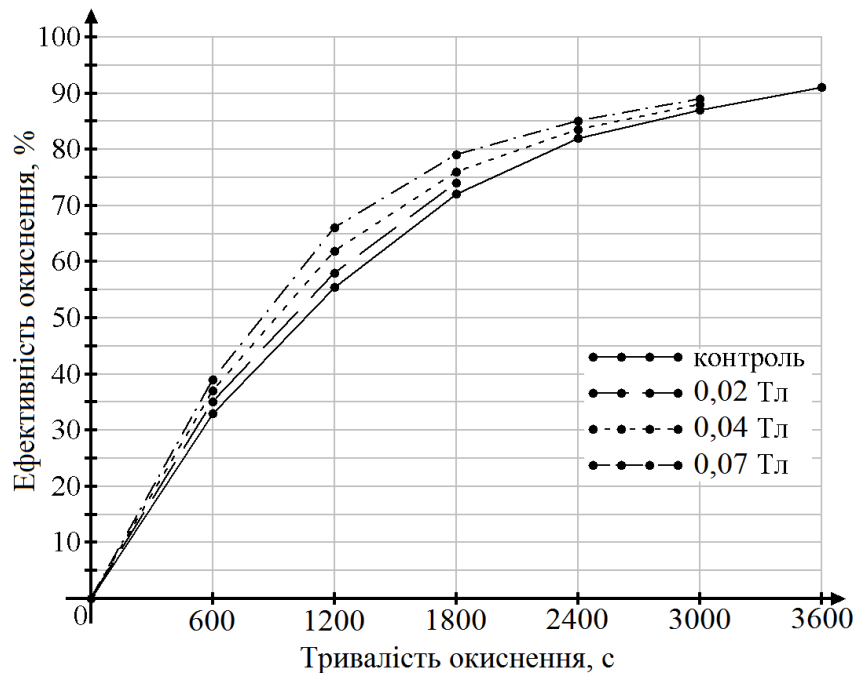


Рисунок 1 – Ефективність окиснення щавлевої кислоти при різних величинах магнітної індукції

У процесі аналізу одержаних експериментальних даних було виявлено, що використання попередньої МО дозволяє підвищити ефективність подальшого окиснення щавлевої кислоти озоном від 2 до 11 %. При цьому зміна величини індукції за незмінних інших параметрів МО не приводить до монотонного зростання ефективності окиснення.

На основі установлених закономірностей сформована фізична модель, що підтверджує фізико-хімічні основи впливу МО на структуру води та кінетику проходження окисно-відновних реакцій. Фізична модель базується на таких положеннях:

1. Передумовою зміни швидкості хімічних реакцій є зміна структури водних розчинів, обумовлена наявністю водневих зв'язків. Зважаючи на величини індукції при МО, зовнішньої енергії, що надходить у водний розчин від магнітного поля, недостатньо для безпосереднього розриву або послаблення водневих зв'язків. Визначальним параметром МО, який більшою мірою, ніж величина індукції, визначає ефективність МО, є неоднорідність магнітного поля.

2. Молекули води постійно здійснюють лібраційні коливання, у результаті яких протони водню, розміщені на лінії водневого зв'язку, обертаються по еліпсоподібних траєкторіях (ЕПТ). Доведено, що наявність таких обертань приводить до появи ортоізомерів молекул води, в яких протони водню однієї молекули обертаються в одному напрямку, та параізомерів, у яких протони водню обертаються в протилежних напрямках. Перший вид ізомерів утворює по два водневі зв'язки та є більш рухливим і хімічно активним, на відміну від другого виду ізомерів, що утворює по чотири водневі зв'язки.

3. У водних розчинах нормальне співвідношення двох ізомерів порушується і зміщується в бік параізомерів більше ніж удвічі, що пов'язано із синхронізацією лібраційних коливань параізомерів у надмолекулярних структурах. Водний розчин є нерівноважною системою, і будь-які зовнішні впливи, наприклад підвищення температури, спричиняють порушення синхронізації цих коливань і перехід параізомерів в ортоізомери (пара-орто конверсія) та появу змін фізико-хімічних властивостей водних розчинів.

Базуючись на результатах експерименту, на основі теоретичного дослідження встановлено, що втрата синхронності лібраційних коливань параізомерів відбувається за впливу неоднорідного магнітного поля на протон водню, що обертається по ЕПТ, радіус якої постійно обертається, зміщуючись на фазу оберту θ . Доведено, що під час руху молекули води в неоднорідному магнітному полі виникає сила Лоренца, що викликає додаткове зміщення фази обертання радіуса ЕПТ навколо лінії водневого зв'язку на величину $\Delta\theta$ в напрямку дії сили. Встановлено, що поява сили Лоренца в неоднорідному магнітному полі є результатом зміни густини магнітного потоку, що пронизує замкнений контур – ЕПТ.

Через те що молекули води в об'ємі розчину орієнтуються довільно, зміщення фаз обертання радіусу ЕПТ неоднакове для сусідніх молекул, це спричиняє асиметрію лібраційних коливань, порушення їх синхронності та появу пара-орто конверсії. Зміна характеру або швидкості проходження фізико-хімічних процесів у водних розчинах після МО пов'язано із зростанням кількості ортоізомерів, що є більш активними в фізичному і хімічному плані, вони швидше перебудовуються в гідратних оболонках навколо реагуючих частинок під очікуваний активований комплекс, що істотно впливає на кінетику окисно-відновних реакцій.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень у роботі встановлено, що одним із визначальних параметрів МО є швидкість зміни магнітної індукції. Установлено, що цей параметр відображає неоднорідність магнітного поля і залежить від величини перепаду магнітної індукції на ділянці труби апарата МО та швидкості руху водного розчину на цій ділянці, яка визначає швидкість перепаду магнітної індукції:

$$v_B = \frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot v_{e.p.}}{l} = \frac{(B_{\max} - B_{\min}) \cdot v_{e.p.}}{l}, \quad (3)$$

де B_{\min} , B_{\max} – відповідно мінімальна та максимальна величини індукції магнітного поля на ділянці труби, де змінюється магнітна індукція, Тл; Δt – час, за який водний розчин проходить відстань l , с; l – довжина ділянки труби, на якій індукція магнітного поля змінюється від B_{\min} до B_{\max} або навпаки, м; $v_{e.p.}$ – швидкість руху водного розчину, м/с.

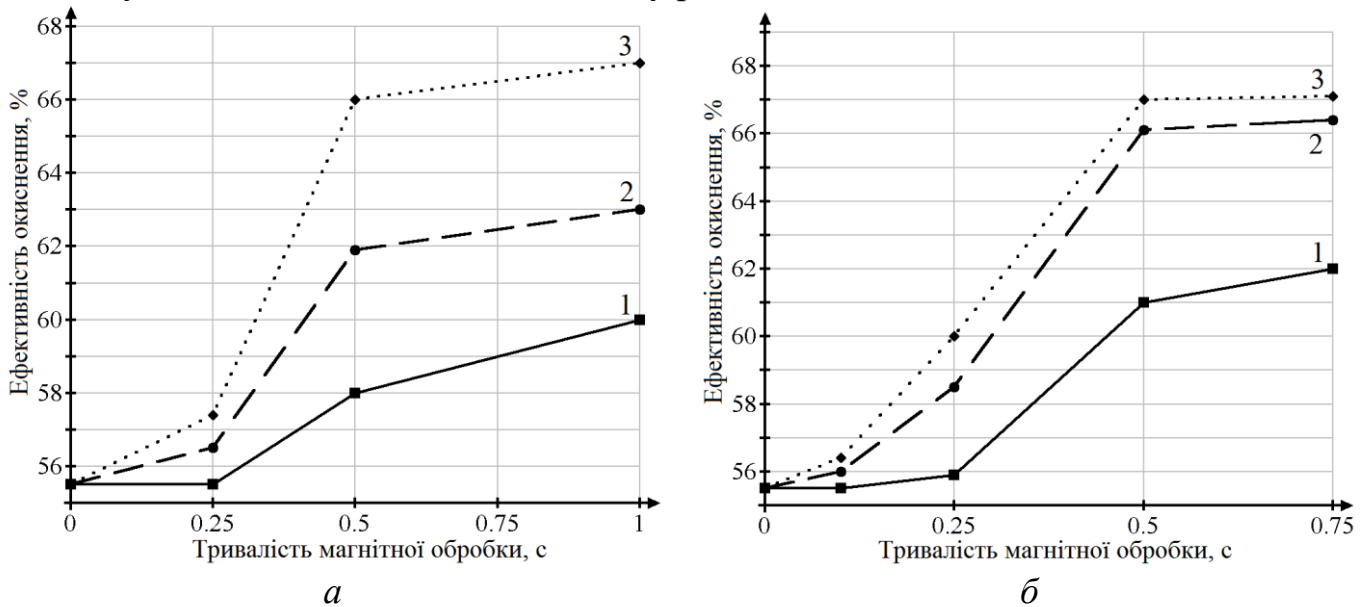
Четвертий розділ присвячений експериментальному дослідженню впливу МО водних розчинів на ефективність подальшого окиснення органічних речовин озоном. Підбрано оптимальні технологічні та режимні параметри роботи апаратів МО. Установлено, що основними параметрами МО, які визначають її ефективність, є величина магнітної індукції, швидкість руху води в магнітному полі, тривалість обробки та швидкість зміни магнітної індукції.

У роботі досліджено вплив режимних параметрів роботи апаратів МО. Серії дослідів проводили за однаковою схемою процесу – одноразове проходження роз-

чину в магнітному полі та подача на подальше озонування. Критерієм оцінки інтенсивності впливу параметра МО стала зміна ефективності окиснення щавлевої кислоти озonom.

У дослідженнях використовувалися експериментальні розчини з постійною концентрацією щавлевої кислоти $c(C_2H_2O_4) = 0,1 \text{ кг/м}^3$, початковий рівень кислотнo-лужної реакції pH брали в межах 7, температура розчину становила $293 \pm 0,2 \text{ К}$. Подальше озонування оброблених у магнітному полі розчинів в усіх дослідах проводилося в аналогічних умовах із постійною витратою озono-повітряної суміші $1,67 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ і концентрацією в ній озону $c(O_3) = 0,16 \text{ кг/м}^3$. Процес озонування здійснювали в реакторі барботажного типу, упродовж 1200 с.

У роботі експериментально визначено вплив тривалості МО на ефективність подальшого окиснення озonom. Результати вимірювань при варіації тривалості МО, швидкості руху водного розчину та величини магнітної індукції подані на рис. 2. Підбір тривалості МО проводили шляхом зміни кратності проходження розчину між полюсами апарата МО. При цьому всі інші режимні і конструктивні параметри МО та озонування залишалися на постійному рівні.

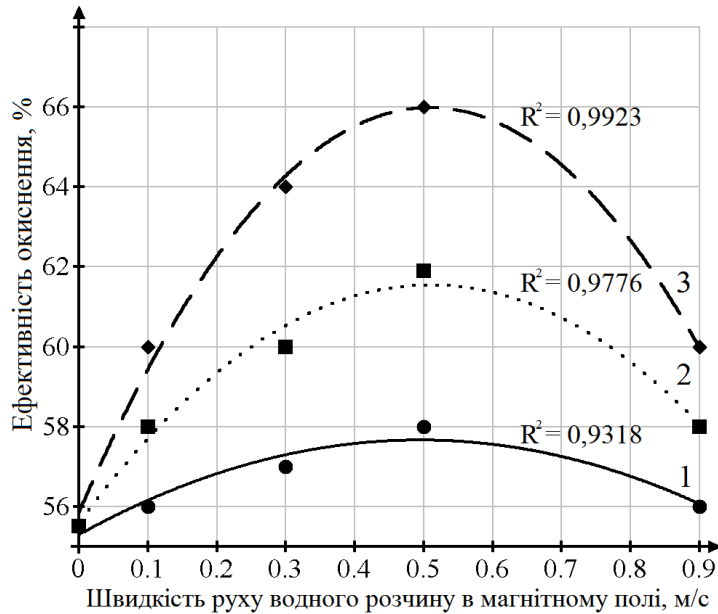


а – швидкість руху водного розчину $v_{в,р} = 0,5 \text{ м/с}$; б – швидкість руху водного розчину $v_{в,р} = 0,9 \text{ м/с}$; 1 – $B = 0,02 \text{ Тл}$; 2 – $B = 0,04 \text{ Тл}$; 3 – $B = 0,07 \text{ Тл}$

Рисунок 2 – Ефективність окиснення щавлевої кислоти залежно від тривалості МО

За одержаними результатами (рис. 2) встановлено, що ефективність впливу МО досягає максимуму при тривалості 1 с і не зростає монотонно. Залежності на рис. 2 свідчать про складність взаємозв'язку між швидкістю руху розчину $v_{в,р}$ у магнітному полі, величиною індукції B та загальною тривалістю обробки. Так, при однаковій тривалості МО $\tau = 0,5 \text{ с}$ та індукції $B = 0,04 \text{ Тл}$ при швидкості $v_{в,р} = 0,5 \text{ м/с}$ ефективність окиснення досягає 62 %, а при збільшенні швидкості до 0,9 м/с ефективність зростає до 66 %. Таким чином, встановлено, що при забезпеченні однакової тривалості МО вплив швидкості руху водного розчину в магнітному полі має самостійне значення.

У наступній серії дослідів було вивчено вплив швидкості руху водного розчину в магнітному полі на ефективність подальшого окиснення. За результатами проведених досліджень побудована графічна залежність на рис. 3.



точки – експеримент; лінії – теорія; 1 – $B = 0,02$ Тл; 2 – $B = 0,04$ Тл; 3 – $B = 0,07$ Тл
Рисунок 3 – Ефективність окиснення щавлевої кислоти залежно від швидкості руху розчину в магнітному полі з індукцією B

Установлено, що поряд зі зменшенням тривалості МО зростання швидкості руху розчину в магнітному полі в межах від 0,1 до 0,5 м/с підвищує ефективність окиснення при всіх величинах магнітної індукції. При цьому підвищення швидкості до 0,9 м/с зменшує ефективність впливу МО, що пов'язано зі значним зниженням тривалості МО.

У роботі досліджено вплив режиму руху розчину в трубі апарата МО на ефективність МО. Зміну режиму руху здійснювали шляхом підбору числа Рейнольдса Re . Серія дослідів проведена для різних величин магнітної індукції при МО. При цьому інші параметри МО встановлювалися на постійному рівні. Із таблиці 1 бачимо, що при переході від ламінарного до турбулентного режиму ефективність МО зростає і досягає своїх максимальних значень незалежно від величини магнітної індукції, що використовується при МО.

Таблиця 1 – Залежність ефективності МО від числа Рейнольдса

Режим руху	Число Рейнольдса (Re)	Магнітна індукція (B), Тл		
		0,02	0,04	0,07
Ламінарний	1 992	0,9	8,26	14,68
Перехідний	4 980	4,59	11,93	19,27
	7 470	6,42	12,84	20,18
Турбулентний	9 960	5,5	13,76	19,26
	13 446	5,4	13,51	19,8

Виходячи з одержаних результатів (табл. 1), вплив режиму руху, вираженого через число Re , на ефективність МО апроксимується таким рівнянням регресії:

$$E_{m.o.} = -4,054 + 272,901B + 0,001Re - 488,987B^2 - 0,006 \cdot 10^{-5} Re^2 + 0,005B \cdot Re. \quad (4)$$

Коефіцієнт детермінації R^2 становить 0,9702, стандартна похибка – 1,2966.

Під час аналізу одержаних експериментальних даних (табл. 1) визначено, що низька ефективність МО при ламінарному режимі руху пов'язана зі зниженням

швидкості зміни магнітної індукції для шарів розчину із наближенням до стінок труби, де швидкість руху шарів знижується до нуля. При цьому швидкість зміни магнітної індукції, що прямо пропорційно залежить від швидкості руху водного розчину (вираз 3), також знижується до нуля, а магнітній обробці піддається не весь розчин, що рухається в магнітному полі.

Беручи до уваги одержані складні залежності ефективності МО від тривалості МО (рис. 2), швидкості руху водного розчину (рис. 3), а також базуючись на положеннях, розроблених у третьому розділі цієї роботи, для оптимізації процесу МО необхідним було розглянути вплив швидкості зміни магнітної індукції ν_B на ефективність МО. Результати оцінювання ефективності МО при варіації величини швидкості зміни магнітної індукції і тривалості МО подано на рис. 4. При цьому інші фактори встановлювалися на постійному рівні: рівень кислотно-лужної реакції pH становив 7, температура розчину становила $293 \pm 0,2$ К.

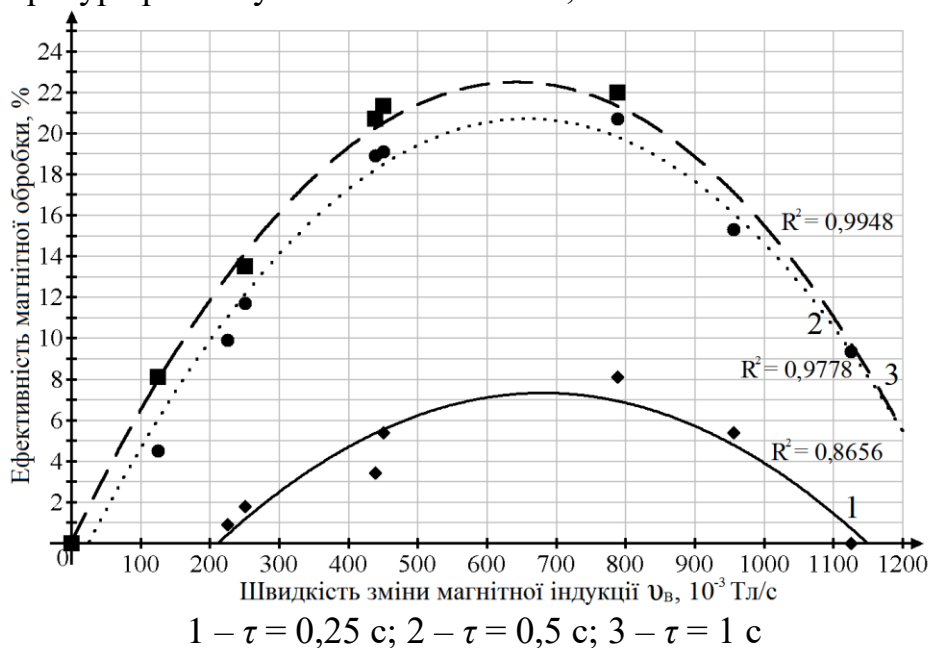


Рисунок 4 – Ефективність МО залежно від швидкості зміни магнітної індукції ν_B і тривалості МО τ

Аналіз одержаних даних (рис. 4) показав, що залежність ефективності МО від швидкості зміни магнітної індукції (ν_B) і тривалості МО (τ) апроксимується таким рівнянням регресії:

$$E_{m.o} = -14,653 + 38,670\nu_B + 45,656\tau - 35,975\nu_B^2 - 30,851\tau^2 + 22,845\nu_B \cdot \tau. \quad (5)$$

Коефіцієнт детермінації R^2 становить 0,9137, стандартна похибка – 2,3343.

Як бачимо з рис. 4, найбільша ефективність МО спостерігається при $\tau = 1$ с і $\nu_B = 800 \cdot 10^{-3}$ Тл/с та становить 22 %. Найбільший приріст ефективності МО спостерігається в діапазоні швидкостей зміни магнітної індукції від $450 \cdot 10^{-3}$ до $800 \cdot 10^{-3}$ Тл/с. При цьому максимальна ефективність МО при різних величинах ν_B встановлюється вже при тривалості МО $\tau = 0,5$ с, а збільшення тривалості обробки в два рази не призводить до значного підвищення ефективності МО.

Зі збільшенням швидкості зміни магнітної індукції вище $800 \cdot 10^{-3}$ Тл/с, яке проводилося шляхом створення різкого перепаду магнітної індукції ΔB із викорис-

танням більших величин магнітної індукції, спостерігається зниження ефективності МО, за інших постійних параметрів обробки.

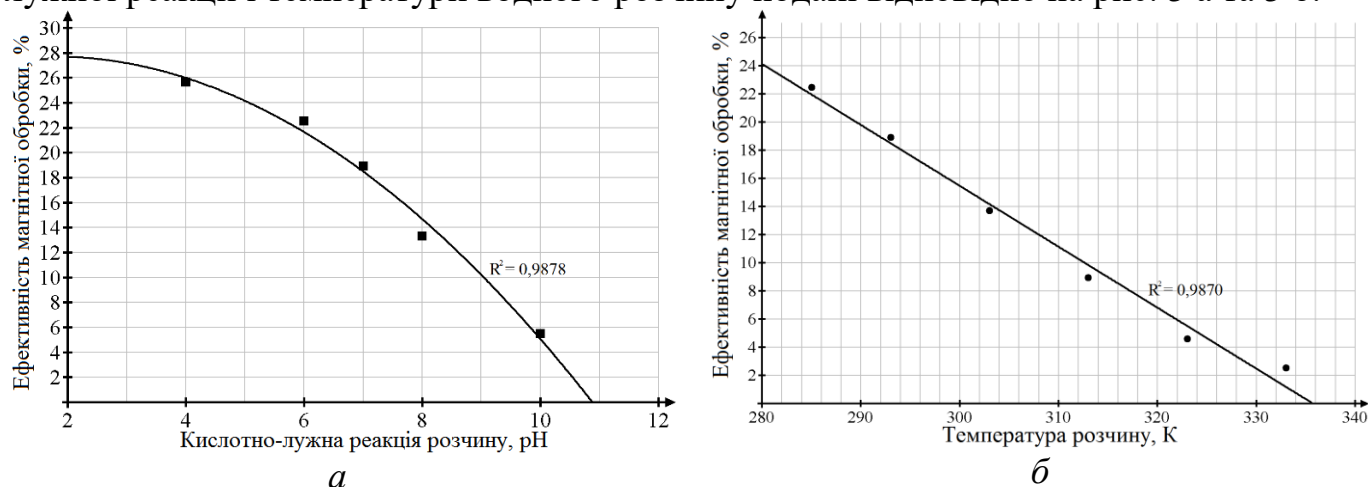
На основі теоретичних досліджень встановлено, що під час руху протона водню по ЕПТ утворюється магнітний момент ЕПТ, що є вектором магнітного поля, який у неоднорідному магнітному полі з індукцією B розміщується як магніт у зовнішньому магнітному полі. При цьому енергія взаємодії магнітного моменту обертання протона водню із зовнішнім магнітним полем зростає на величину

$$W = \mu_{\text{ЕПТ}} \cdot B, \quad (6)$$

де W – енергія взаємодії магнітного моменту ЕПТ із зовнішнім магнітним полем, Дж; $\mu_{\text{ЕПТ}}$ – магнітний момент ЕПТ, Дж/Тл; B – індукція зовнішнього магнітного поля, Тл.

Зі зростанням взаємодії магнітного моменту ЕПТ із сильним зовнішнім магнітним полем його орієнтація стабілізується у напрямку магнітного поля, що знижує ймовірність здійснення пара-орто конверсії, оскільки конверсія є можливою за умови рівності енергій теплового руху і обертового кванта (енергія необхідна для зміни напрямку обертання протона і магнітного моменту на протилежний) та їх резонансного обміну при зіткненні молекул води.

У роботі експериментально досліджено вплив фізико-хімічних властивостей водного розчину на ефективність МО. Результати вимірювань при варіації кислотно-лужної реакції і температури водного розчину подані відповідно на рис. 5 а та 5 б.



а – кислотно-лужна реакція розчину; б – температура розчину

Рисунок 5 – Ефективність МО залежно від фізико-хімічних властивостей розчину

Із рис. 5 а видно, що найбільша ефективність МО спостерігається для розчинів із кислою реакцією pH від 2 до 6, де ефективність МО досягає від 22 до 28 %. У випадку обробки водних розчинів із нейтральною і лужною реакцією (рис. 5 а) ефективність МО знижується. Встановлено, що ефективність МО істотно знижується для розчинів із pH 10, що пов'язано з процесами розкладання озону з утворенням неспецифічних більш реакційноздатних радикалів $\cdot\text{OH}$.

За одержаними результатами (рис. 5 а) вплив кислотно-лужної реакції розчину на ефективність МО апроксимується таким рівнянням регресії:

$$E_{\text{м.о}} = -0,33pH^2 + 1,135pH + 26,729. \quad (7)$$

Коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,9878$, стандартна похибка – 0,88.

Згідно з одержаними даними (рис. 5 б) встановлено, що найбільша ефективність МО досягається при низьких температурах водних розчинів у межах від 285 до 300 К. При цьому із підвищенням температури оброблюваних розчинів ефективність МО істотно знижується до 2 % при $T = 333$ К. Зниження ефективності МО пов'язане із прямим прискоренням реакції подальшого окиснення озоном згідно із правилом Вант-Гоффа та інтенсифікацією розкладання озону з утворенням радикалів. На фоні цих процесів МО, яка чинить вплив, подібний до зростання фізичної температури розчину, не дає значного приросту кінетики окиснення.

Аналіз одержаних даних (рис. 5 б) показав, що вплив температури розчину на ефективність МО апроксимується таким рівнянням регресії:

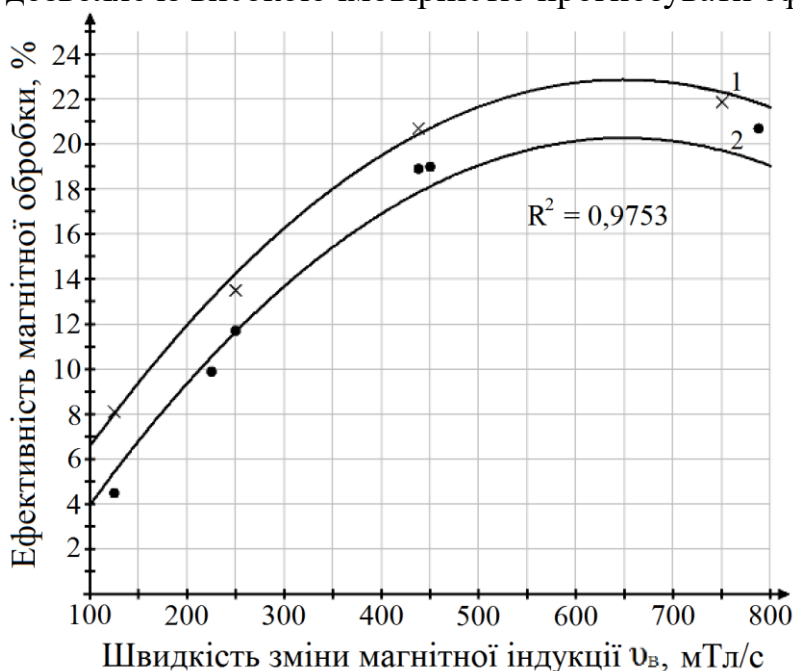
$$E_{\text{м.о}} = -0,43271T + 145,28006. \quad (8)$$

Коефіцієнт детермінації R^2 становить 0,9870, стандартна похибка – 0,9020.

Ураховуючи значну кількість факторів, що впливають на ефективність МО, для вибору оптимальних конструктивних та режимних параметрів, у роботі побудовано математичну модель із припущенням про поліноміальну залежність. Для побудови регресійної моделі та проведення розрахунків шуканих величин використано спеціалізований програмний продукт Maple 7. Модель одержала вигляд:

$$E_{\text{м.о}} = -38,4895 + 0,1296v_B - 0,4244T + 91,1216\tau + 3,1151pH - 0,000054v_B^2 - 0,00099v_B \cdot T - 0,00566v_B \cdot pH + 0,0644T \cdot pH - 57,2914\tau^2 - 0,3586pH^2. \quad (9)$$

Перевірка адекватності математичної моделі результатам експериментальних досліджень, подана на рис. 6, показала наявність тісного кореляційного зв'язку, а одержана модель дозволяє із високою імовірністю прогнозувати ефективність МО.



точки – експеримент; лінії – теорія; 1 – $\tau = 1$ с; 2 – $\tau = 0,5$ с

Рисунок 6 – Залежність ефективності МО від швидкості зміни магнітної індукції при температурі 20 °С та при pH 7

У зв'язку з певними незручностями практичного використання одержаної моделі у роботі побудовано лінії відгуку, де при фіксованих значеннях T і pH величина $E_{м.о}$ є функцією від двох змінних – v_B і τ (рис. 7).

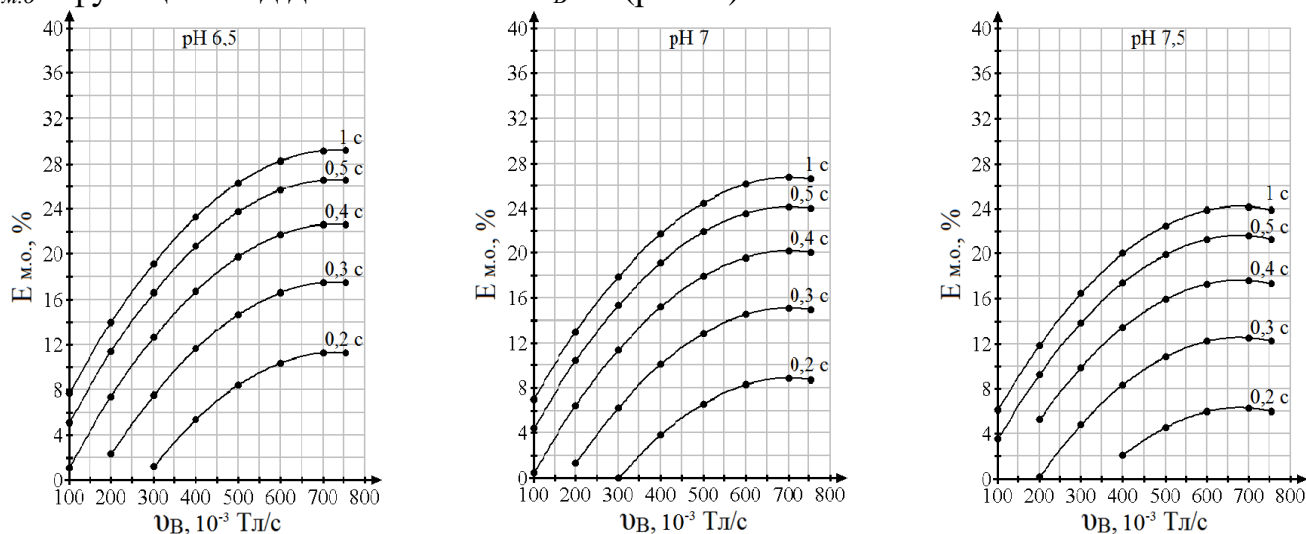


Рисунок 7 – Ефективність МО залежно від швидкості зміни магнітної індукції v_B і тривалості МО: при температурі оброблюваної води $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та за різних значень pH

Проведене у роботі оцінювання прогнозних властивостей одержаної моделі на воді, відібраній із поверхневого джерела, показало, що модель має високі імітаційні властивості та може використовуватися для визначення очікуваної ефективності МО.

У п'ятому розділі розроблено механізм управління екологічною безпекою водопостачання, де запропоновано якість питної води оцінювати як джерело небезпеки, а систему водопостачання – комплекс технологій та процесів, що забезпечують захищеність здоров'я людини.

У роботі сформовано підхід до оцінювання показників безпеки питної води, що передбачає перехід від існуючої загальнозастосовної методики оцінювання якості питної води за принципом «відповідає – не відповідає», до встановлення кількісних наслідків негативного впливу на здоров'я людини з урахуванням ряду факторів: екологічного стану джерел водопостачання, ефективності роботи водопровідних станцій, статевих та вікових відмінностей населення. В основу покладено оцінювання потенційних втрат у вигляді років життя, що можуть бути втрачені при впливі на людину екологічного фактора упродовж тривалого часу.

У роботі потенційні втрати при вживанні питної води запропоновано оцінювати за показником $DALY$, який дозволяє оцінювати суму років нормального (здорового) життя, що можуть бути втрачені в результаті передчасної смерті, та років, що можуть бути втрачені через незадовільний стан здоров'я (роки, прожиті в стані хвороби або інвалідності). З метою урахування вікових та статевих відмінностей населення показник $DALY$ запропоновано розраховувати окремо за віковими та статевими групами та представляти у вигляді очікуваних індивідуальних втрат $DALY_i$ (вираз 10) або загальної кількості втрачених років для населення у певній віковій групі $DALY_s$ (вираз 11).

$$DALY_i = \underbrace{Risk \cdot L}_{YLL} + \underbrace{Risk \cdot DW \cdot (L - YLL)}_{YLD}, \quad (10)$$

де YLL – кількість років життя, втрачених через передчасну смерть, роки; YLD –

кількість років, прожитих в стані хвороби або інвалідності, роки; $Risk$ – ймовірність порушення здоров'я або настання смерті; L – залишок життя (наприклад, при середній тривалості життя 80 років, для новонароджених $L = 80$ років, для людей віком 60 років $L = 20$ років), роки; DW – тяжкість захворювання, за яким проводиться розрахунок.

$$DALYs = N \cdot DALYi, \quad (11)$$

де N – кількість людей, які мають однаковий вік.

Запропоновано оцінювання кількісних втрат у вигляді $DALY$ здійснювати за умови, що при збереженні наявного рівня небезпеки в системі водопостачання людина відповідного віку впродовж очікуваного залишку життя постійно піддаватиметься небезпеці при вживанні питної води. Ймовірність настання небезпеки оцінюється за величиною ризику $Risk$, що розраховується за чинними методиками. При розрахунку величини ризику $Risk$ необхідним є урахування сумарного впливу всіх домішок у питній воді, що мають загальнотоксичний характер на рівні малих концентрацій й характеризуються однотипним неспецифічним впливом та призводять до прояву однакових клінічних симптомів:

$$Risk_{сум} = 1 - (1 - Risk_1) \cdot (1 - Risk_2) \cdot (1 - Risk_3) \cdot \dots \cdot (1 - Risk_n). \quad (12)$$

де $Risk_{сум}$ – ризик для здоров'я від сумарного впливу всіх домішок у питній воді; $Risk_1, \dots, Risk_n$ – ризик для здоров'я від впливу окремої домішки.

Розроблений у роботі підхід до оцінки рівня екологічної небезпеки в питному водопостачанні міст використано на прикладі м. Києва, що є одним із великих міст України, де проживає велика кількість населення, що постійно піддається небезпеці при вживанні питної води, підготовленої з поверхневих джерел (річки Десна та Дніпро), а на діючих у м. Києві Деснянській (ДесВС) та Дніпровській (ДнВС) водопровідних станціях реалізована класична схема очищення води.

Результати оцінки величин сумарних ризиків (рис. 8) показали, що питна вода є джерелом небезпеки для здоров'я та життя людей. При подальшому збереженні показників якості питної води вміст домішок, що не перевищує встановлених законодавством норм, викликатиме хронічне отруєння організму. При цьому тривале споживання питної води призведе до порушень у стані здоров'я та появи неспецифічної патології у людей, які проживають у м. Києві.

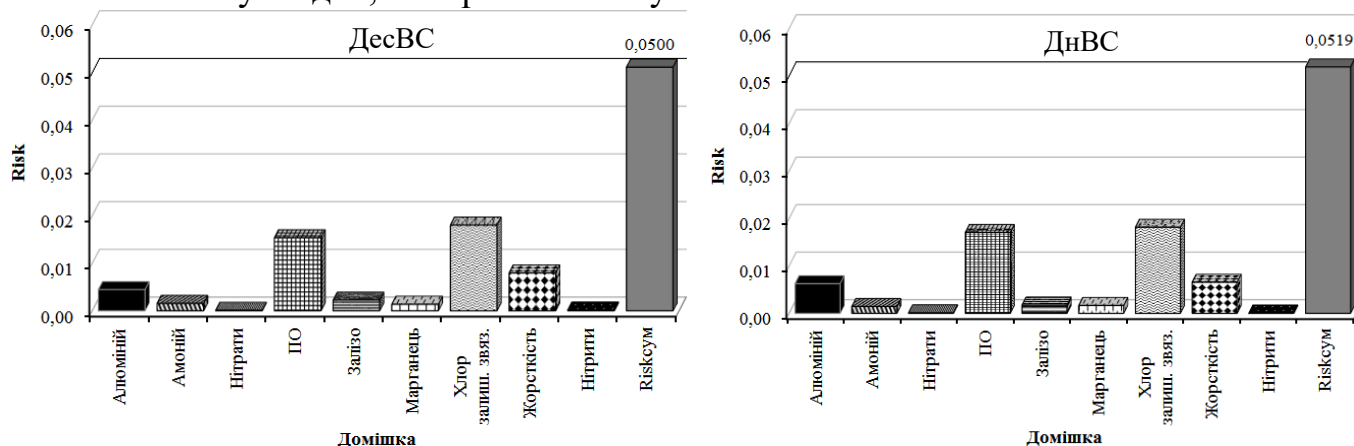
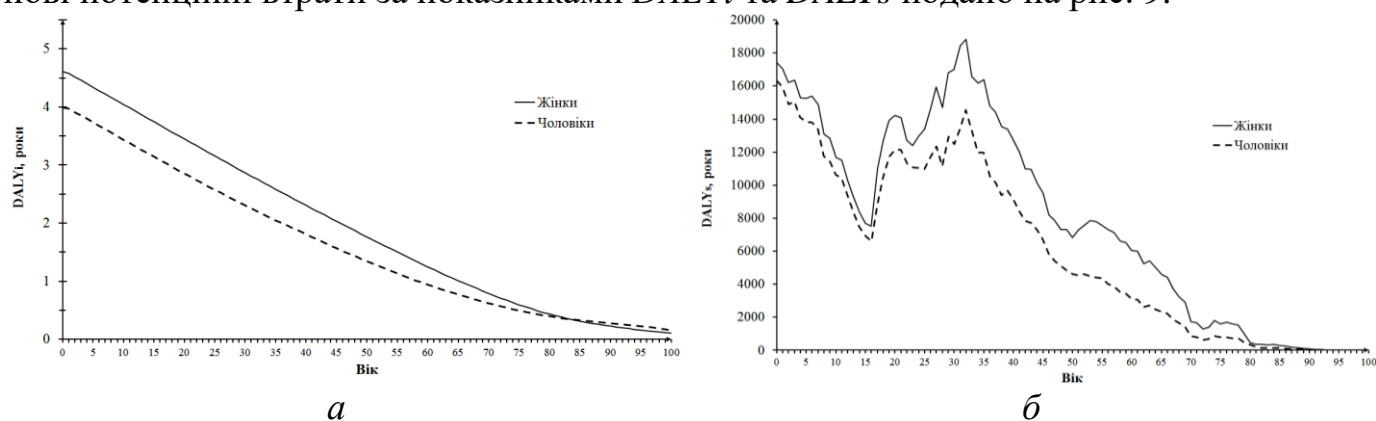


Рисунок 8 – Порівняння величин неканцерогенних ризиків при вживанні питної води у м. Києві станом на 2015 рік

Величина сумарного ризику для частини населення м. Києва, яке вживає питну воду з ДнВС, за результатами розрахунків становить 0,0519, розраховані на її основі потенційні втрати за показниками $DALY_i$ та $DALY_s$ подано на рис. 9.



а – індивідуальні втрати для людини певного віку; б – сумарні втрати в окремих вікових групах

Рисунок 9 – Розподіл втрат років нормального життя залежно від віку населення м. Києва, яке споживає питну воду з ДнВС

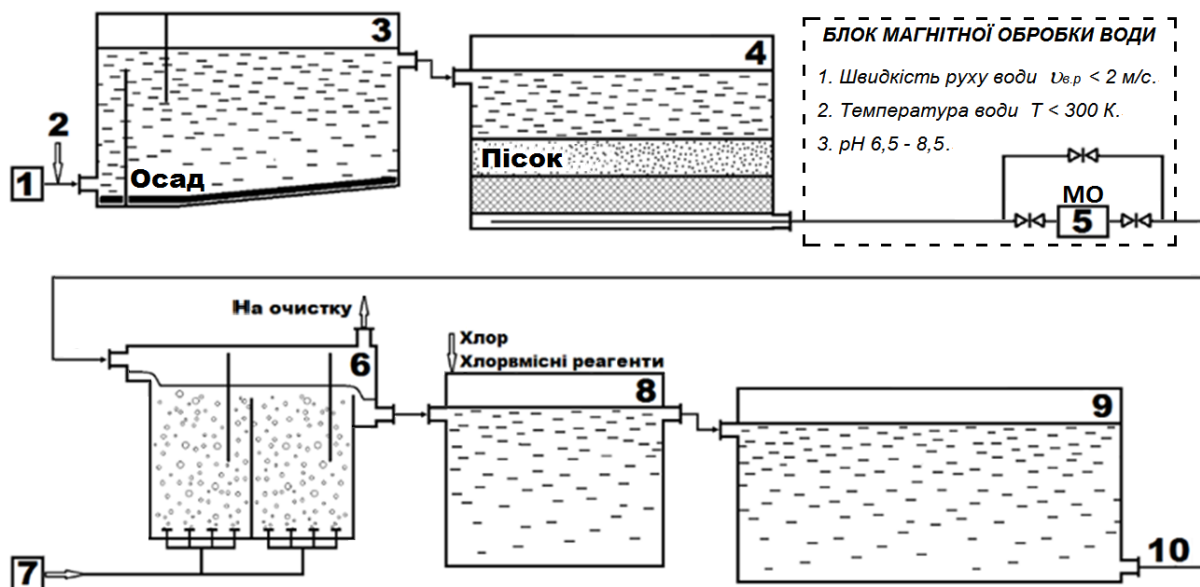
Одержані у роботі результати (рис. 9) показали, що найбільші потенційні втрати необхідно очікувати для жіночої частини населення, що обумовлено більшою середньою тривалістю життя жінок. Для новонароджених втрати становитимуть від 4 до 4,5 років. Оцінка структури загальних потенційних збитків, яких зазнають окремі вікові групи за показником $DALY_s$, показала, що очікувані сумарні втрати є значними, а подальше вживання питної води є небезпечним.

З метою покращання медико-екологічної ситуації в м. Києві здійснено прогноз розміру попереджених втрат при впровадженні розробленого у роботі методу видалення органічних речовин із питної води в технологічну схему ДнВС. Так, наявність у питній воді ДнВС органічних речовин у концентрації, що не перевищує гранично допустиму концентрацію, порівняно з іншими домішками істотно впливає на величину $Risk_{сум}$, що свідчить про низьку ефективність її роботи. Сьогодні на ДнВС реалізована класична схема реагентного очищення води з відстоюванням, фільтруванням та подвійним хлоруванням, також впроваджено блок озонування води, який використовується посезонно винятково для зниження надлишкового вмісту марганцю.

Проведені у роботі розрахунки доводять, що включення МО та озонування до стаціонарного режиму роботи ДнВС дозволить знизити середньорічний вміст органічних речовин у питній воді, а розрахований сумарний ризик становитиме 0,0445, що є прийнятним і в даному випадку, не очікуватиметься появи несприятливих медико-екологічних тенденцій, а потенційні втрати, виражені через показник $DALY_i$, будуть дорівнювати нулю, оскільки негативний вплив на здоров'я людини буде відсутній.

У шостому розділі здійснено проектування технологічної схеми підготовки води на водопровідних станціях питного водопостачання із використанням МО. Наведено принципову технологічну схему очищення природних вод із використанням МО.

За основу взяті традиційні технологічні схеми діючих станцій водопостачання, доповнені блоком озонування з попередньою МО води (рис. 10). Простота реалізації МО, низькі капітальні та експлуатаційні затрати, а також компактність апаратів МО дозволять легко реалізувати її на базі діючих водопровідних станцій.



1 – механічне очищення; 2 – змішувальні резервуари; 3 – відстійник; 4 – піщаний фільтр; 5 – апарат МО; 6 – камера озонування; 7 – озонаторна станція; 8 – камера знезаражування; 9 – резервуар очищеної питної води; 10 – подача споживачу
Рисунок 10 – Принципова технологічна схема очищення природних вод від органічних речовин на водопровідних станціях питного водопостачання із використанням одноступеневого озонування і попередньої МО

Запропонована технологічна схема забезпечує:

- підвищення доступності методу озонування за рахунок зниження експлуатаційних затрат при використанні попередньої магнітної обробки води;
- підвищення ефективності окиснення органічних речовин озоном;
- забезпечення виконання вимог екологічної безпеки до якості питної води.

Розроблено інженерну методику розрахунку конструктивних параметрів апаратів магнітної обробки води, що дозволяє проектувати високоефективні апарати в промислових масштабах.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене актуальне науково-практичне завдання підвищення рівня екологічної безпеки систем питного водопостачання за рахунок удосконалення технологічних схем очищення води із використанням МО води перед подачею на озонування. Розроблено спосіб інтенсифікації окиснення органічних речовин, що попереджує загрози здоров'ю та життю людини, які виникають при впливі техногенних та природних процесів на поверхневі джерела питного водопостачання.

1. Установлено, що екологічний стан поверхневих джерел питного водопостачання за ступенем чистоти води відповідає категорії помірно забруднених. За рівнем трофності всі водні об'єкти України, що є джерелами питного водопостачання, належать до евтрофного типу. Якість води за середніми рівнями показників відповідає III класу якості – «Задовільні». Упродовж останніх років постійно фіксується перевищення вмісту органічних речовин за показниками БСК та ХСК.

2. Аналіз даних щодо якості питної води, що подається населенню, показав низьку ефективність роботи діючих централізованих водопровідних станцій щодо видалення органічних речовин із води.

3. Обґрунтовано використання магнітної обробки питної води перед подачею на озонування для інтенсифікації подальшого окиснення та підвищення ступеня видалення органічних речовин із води.

4. Установлено, що МО водних розчинів є «каталізатором» появи ряду послідовних процесів: порушення синхронних лібраційних коливань молекул води у надмолекулярних структурах, руйнування надмолекулярних структур, вивільнення параізомерів молекул води, конверсія параізомерів в ортоізомери та зміщення орто/пара співвідношення у бік ортоізомерів. Зростання кількості ортоізомерів в об'ємі водного розчину пояснює зміни фізико-хімічних властивостей водних розчинів, що спостерігаються після МО. Додатково встановлена природа квантових відмінностей двох видів ізомерів молекул води, яка обумовлена характером лібраційних коливань молекул води.

5. Проведено дослідження з вивчення впливу режимних та конструктивних параметрів МО на ефективність подальшого окиснення органічних речовин озonom. Визначені оптимальні режими МО водних розчинів для підвищення ефективності окиснення органічних речовин при подальшому озонуванні – оптимальна тривалість обробки перебуває у межах від 0,5 до 1 с; оптимальна швидкість зміни магнітної індукції – в інтервалі від $400 \cdot 10^{-3}$ до $800 \cdot 10^{-3}$ Тл/с.

6. Установлено, що ефективність МО зростає при переході від ламінарного режиму руху розчину в апараті МО до турбулентного і не залежить від числа Рейнольдса в області турбулентного режиму руху.

7. Проведено дослідження з вивчення впливу кислотно-лужної реакції розчину і його температури на ефективність МО. Встановлено, що в лужному середовищі ефективність МО знижується через появу озонкаталітичних процесів. Із підвищенням температури розчину вклад МО в ефективність подальшого озонування знижується, що пов'язано із прямим прискоренням реакції окиснення озonom згідно із правилом Вант-Гоффа та інтенсифікацією розкладання озону з утворенням радикалів.

8. Проведено відбір та обґрунтування факторів, що обумовлюють ефективність роботи апаратів МО. До них належать гідродинамічні (швидкість руху води в магнітному полі), фізико-хімічні властивості води (водневий показник, температура) та конструктивні особливості апарата МО (величина магнітної індукції, швидкість зміни магнітної індукції, довжина робочої зони).

9. Побудована регресійна модель для розрахунку очікуваної ефективності МО залежно від режимних та конструктивних параметрів обробки. Перевірка адекватності математичної моделі результатам експериментальних досліджень встановила збіг на рівні 97 %.

10. Запропоновано механізм управління екологічною безпекою систем питного водопостачання та оцінювання їх ефективності з позицій екологічної безпеки. Запропоновано використовувати величину *DALY* як оцінку потенційних втрат нормальних (здорових) років життя людини від вживання питної води певної якості. Дієвість запропонованого підходу перевірена на прикладі м. Києва.

11. Доведено, що використання розробленого у роботі способу інтенсифікації окиснення органічних речовин вирішує завдання зниження рівня екологічної небезпеки в питному водопостачанні та забезпечення безпечних умов життєдіяльності людини.

12. Розроблено рекомендації з експлуатації апаратів МО. Запропоновано методику інженерного розрахунку конструктивних параметрів апаратів МО.

13. Оцінювання передбачуваного економічного ефекту від упровадження запропонованого у роботі способу підтвердило його економічну доцільність.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пляцук Л. Д. Підвищення екологічної безпеки використання водних ресурсів за рахунок магнітогідродинамічної обробки стічних вод / Л. Д. Пляцук, І. О. Рой // Екологічна безпека. – 2011. – № 2 (12). – С. 14–16.

Здобувачем описана технологія магнітогідродинамічної (магнітної) обробки водних розчинів та визначена її специфіка. Проаналізовані сучасні та перспективні напрямки використання магнітної обробки.

2. Рой І. О. Використання магнітної обробки природних вод для інтенсифікації окислення органічних сполук озonom / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Екологічна безпека. – 2013. – № 2 (16). – С. 103–106.

Здобувачем проаналізовані переваги та недоліки існуючих методів очищення природних вод від органічних речовин. Подані результати експериментальних досліджень, що підтвердили перспективність використання магнітної обробки в системах водопостачання.

3. Рой І. О. Аналіз досліджень очистки стічних вод із застосуванням магнітного поля / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук, О. П. Будьоний // Екологія и промисленность. – 2014. – № 1(38). – С. 51–55.

Здобувачем проведено аналіз існуючих гіпотез механізму магнітної обробки та наявних в літературі результатів експериментальних досліджень. Одержано висновки, що дозволяють пояснити зміну мінерального складу забруднених вод після магнітної обробки.

4. Рой І. О. Оцінка екологічної безпеки систем централізованого питного водопостачання в Україні / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Journal of Engineering Sciences. – 2014. - Vol. 1, Issue 1. – P. 7–14.

Здобувачем проведені оцінювання та аналіз ефективності роботи систем централізованого питного водопостачання в Україні з позицій екологічної безпеки. Запропоновано механізм управління екологічною безпекою систем питного водопостачання. Обґрунтовано необхідність вдосконалення існуючої системи оцінювання ефективності роботи систем питного водопостачання.

5. Рой І. О. Математичне моделювання ефективності магнітної обробки в процесах очистки природних вод / І. О. Рой // Екологія и промисленность. – 2014. – № 3(40). – С. 47–52.

6. Roy I. Purification of natural water from organic substances using magnetic treatment / I. Roy, L. Plyatsuk, J. Adamenko, T. Kachala // Scientific bulletin of North University of Baia Mare. Series D. – 2013. – Vol. XXVII, No. 1. – P. 117–120.

Здобувачем здійснено дослідження сучасного стану водних ресурсів та екологічних проблем питного водопостачання, пов'язаних з органічним забрудненням природних вод. Запропоновано технологічну схему проведення окиснення органічних речовин озonom із використанням попередньої магнітної обробки води.

7. Пляцук Л. Д. Шляхи використання магнітного поля в системах зворотного водопостачання / Л. Д. Пляцук, І. О. Рой // Збірник наукових статей III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю «Екологія/Ecology-2011». – Вінниця : ВНТУ, 2011. – Том 2. – С. 350–353.

Здобувачем проведено аналіз впливу водокористування на природне середовище і стан водних ресурсів. Розглянуто основні шляхи вирішення проблем раціонального використання водних ресурсів. Обґрунтовано можливість використання маг-

нітної обробки для інтенсифікації методів очищення забруднених вод. Описанні, розроблені на цей час гіпотези, що пояснюють механізм магнітної обробки водних розчинів.

8. Пляцук Л. Д. Расчет конструктивных параметров аппаратов магнитной обработки воды в процессах водоподготовки / Л. Д. Пляцук, И. А. Рой // Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы инженерных наук в области промышленности, экологии и охраны водных ресурсов». – Пенза : ПГУАС, 2013. – С. 216–223.

Здобувачем запропоновано інженерний метод розрахунку конструктивних параметрів апаратів магнітної обробки води, що дозволяє проектувати високоефективні апарати в промислових масштабах.

9. Установка для очищення води від органічних сполук : пат. на корисну модель 88709 України, МПК (2006.01) C02F1/78 / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук ; заявник та утримувач патенту Сумський державний університет. – № u201313039 ; заявл. 11.11.2013 ; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6.

Здобувачем розроблено установку для очищення води від органічних речовин, що дозволяє підвищити ефективність їх видалення з питної води під час озонування за рахунок використання попередньої магнітної обробки води.

10. Пляцук Л. Д. Інтенсифікація процесів водопідготовки в системах оборотного водопостачання / Л. Д. Пляцук, І. О. Рой // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій, м. Суми, 18–22 квітня 2011 р. – Суми : СумДУ, 2011. – Ч. III. – С. 61.

Здобувачем розглянуті існуючі способи інтенсифікації процесів очистки вод.

11. Рой І. О. Технологія магнітної обробки як метод очистки стічних вод від забруднюючих речовин / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Карпатська конференція з проблем охорони довкілля», 15–18 травня, 2011 р., Мукачєво–Ужгород. – Мукачєво, 2011. – С. 361–362.

Здобувачем розглянуто вплив магнітної обробки на водно-дисперсні системи.

12. Рой І. О. Використання магнітного поля з метою «активації» дисперсної фази для очистки стічних вод / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і студентів «Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні» : зб. тез доп. – К. : КНУБА, 2011. – Ч. 2. – С. 106–107.

Здобувачем проаналізовано механізм впливу магнітної обробки на властивості водних розчинів.

13. Рой І. О. Сутність і роль магнітної обробки водних розчинів для вирішення екологічних проблем / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Екологія та екологічна освіта : матеріали I Всеукраїнської наукової студентської конференції – Київ : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2011. – С. 93–93.

Здобувачем представлено огляд практичного досвіду використання магнітної обробки як способу інтенсифікації традиційних методів очищення вод та проблем на шляху широкого впровадження магнітної обробки в системах очищення.

14. Рой І. О. Апаратна реалізація магнітогідродинамічної обробки стічних вод / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Екологічний інтелект – 2012 : матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної науково-практичної конференції, 24–25 квітня

2012 р. – Дніпропетровськ : Дніпроп. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. – С. 158–159.

Здобувачем досліджено конструктивні рішення апаратів магнітної обробки.

15. Рой І. О. Використання магнітної обробки для інтенсифікації озонування рідких радіоактивних відходів / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві», м. Суми, 17–20 квітня, 2012 р. – Суми : СумДУ, 2012. – Ч. 2. – С. 58–59.

Здобувачем розглянута перспектива використання магнітної обробки для інтенсифікації окиснення органічних речовин озоном.

16. Рой І. О. Розроблення екологічно безпечних технологій із водопідготовки в системах питного водопостачання міст / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів ф-ту технічних систем та енергоефективних технологій, м. Суми, 23–26 квітня 2013 р. – Суми : СумДУ, 2013. – Ч. 2. – С. 195.

Здобувачем запропоновано використання магнітної обробки в системах питного водопостачання для підвищення ефективності видалення органічних речовин із питної води при озонуванні.

17. Рой І. О. Перспектива використання магнітної обробки в системах питного водопостачання / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Цілі збалансованого розвитку для України : матеріали Міжнародної конференції (Київ, 18–19 червня, 2013 р.). – К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2013. – С. 51–53.

Здобувачем проаналізовано умови ефективного використання магнітної обробки в системах питного водопостачання міст.

18. Рой І. О. Інтенсифікація процесів окиснення органічних речовин у питному водопостачанні / І. О. Рой // Матеріали III Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві», м. Суми, 22–25 квітня 2014 р. – Суми : СумДУ, 2014. – Ч. 2. – С. 57.

19. Рой І. О. Вплив водневого показника на ефективність магнітної обробки / І. О. Рой, Л. Д. Пляцук // Екологія. Людина. Суспільство : збірник тез доповідей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 2015 р.). – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – С. 125.

Здобувачем досліджено механізм впливу водневого показника на ефективність магнітної обробки.

20. Олійник Л. В. Сучасний підхід до оцінки екологічної безпеки систем питного водопостачання / Л. В. Олійник, І. О. Рой // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студ. ф-ту технічних систем та енергоефективних технологій (м. Суми, 14–17 квітня 2015 р.). – Суми : СумДУ, 2015. – Ч. 2. – С. 165–166.

Здобувачем проаналізовано сучасні підходи до оцінювання рівня екологічної безпеки в системах питного водопостачання.

21. Рой І. О. Принципова технологічна схема водопідготовки із використанням магнітної обробки / І. О. Рой // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма IV Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції, м. Суми, 19–22 квітня 2016 р. : у 2 ч. – Суми : СумДУ, 2016. – Ч. 2. – С. 51–52.

22. Рой И. А. Прогнозирование экологической ситуации, связанной с употреблением питьевой воды / И. А. Рой, Л. Д. Пляцук // Экология и защита окружающей

среды : сборник тезисов докладов III Международной научно-практической конференции, Минск, 19 мая 2016 г. – Минск : БГУ, 2016. – С. 88–91.

Здобувачем запропоновано методикау прогнозування рівня екологічної небезпеки, пов'язаної із споживанням питної води.

АНОТАЦІЯ

Рой І. О. Підвищення екологічної безпеки питного водопостачання шляхом інтенсифікації процесу окислення органічних речовин. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2017.

Дисертація присвячена підвищенню рівня екологічної безпеки питного водопостачання і попередження загрози для здоров'я та життя людини, що виникає при функціонуванні техногенних і природних систем, шляхом удосконалення станцій очищення питної води із застосуванням апаратів магнітної обробки води перед подачею на озонування.

Проведено системний аналіз процесів формування екологічної небезпеки в питному водопостачанні. Запропоновано спосіб інтенсифікації процесу окиснення органічних речовин озоном за рахунок використання попередньої магнітної обробки води.

Експериментально визначені оптимальні технологічні параметри роботи апаратів магнітної обробки в процесах очищення питної води. Розроблено принципову технологічну схему реалізації магнітної обробки на діючих водопровідних станціях та запропоновано методикау інженерного розрахунку конструктивно-технологічних параметрів апаратів магнітної обробки.

Ключові слова: органічні речовини, питна вода, магнітна обробка, озонування, екологічна безпека питного водопостачання.

АННОТАЦИЯ

Рой И. А. Повышение экологической безопасности питьевого водоснабжения путем интенсификации процесса окисления органических веществ. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Сумский государственный университет Министерства образования и науки Украины, Сумы, 2017.

Диссертация посвящена повышению уровня экологической безопасности питьевого водоснабжения и снижению угрозы для здоровья и жизни человека, возникающей при функционировании техногенных и природных систем, путем усовершенствования станций очистки питьевой воды с применением магнитной обработки воды перед подачей на озонирование.

Определена проблематика формирования экологической опасности в питьевом водоснабжении. Проведена оценка экологического состояния поверхностных источников питьевого водоснабжения за показателями содержания органических веществ. Установлена корреляция между качеством питьевой воды, которая подается населению, и качеством воды в источниках водоснабжения, что свидетельствует о низкой эффективности работы станций водоснабжения. Проведен анализ тех-

нологических схем действующих в Украине водопроводных станций. Исследованы отечественные и зарубежные технологии удаления органических веществ из питьевой воды. Обоснован выбор наиболее перспективного способа интенсификации озонирования.

Изучено влияние квантовых различий изомеров молекул воды и их соотношения на особенности прохождения физико-химических процессов в водных растворах. Установлена природа существования двух видов изомеров молекул воды, обусловленная наличием либрационных колебаний молекул воды. Также объяснена причина появления неоднородности плотности воды. Основываясь на полученных результатах, предложена физическая природа влияния магнитной обработки на свойства водных растворов и кинетику окислительно-восстановительных реакций.

Исследовано влияние режимных и конструктивных параметров МО на эффективность последующего окисления органических веществ озоном. Исследовано влияние режима движения жидкости в магнитном поле на эффективность МО, отмечено возрастание эффективности МО при переходе от ламинарного к переходному и турбулентному режимам. Наибольшая эффективность МО достигается при скорости изменения магнитной индукции в пределах от $700 \cdot 10^{-3}$ до $800 \cdot 10^{-3}$ Тл/с и продолжительности МО в пределах от 0,5 до 1 с. Объяснена природа снижения эффективности МО при повышении величины скорости изменения магнитной индукции выше $800 \cdot 10^{-3}$ Тл/с. Установлено снижение эффективности МО с повышением кислотно-щелочной реакции водного раствора. Отмечено, что с повышением температуры водного раствора вклад МО в увеличение эффективности окисления органических веществ озоном существенно снижается.

Разработана математическая модель расчета ожидаемой эффективности МО в зависимости от конструктивных и режимных параметров аппаратов МО и свойств обрабатываемого водного раствора. Проведена проверка адекватности полученной математической модели и ее прогнозных свойств. Построены линии отклика в виде графических зависимостей.

Проведены оценка и анализ эффективности работы систем централизованного питьевого водоснабжения с позиций экологической безопасности на примере г. Киева. Доказана необходимость учета одновременного воздействия на здоровье всех веществ, содержащихся в воде. Установлено, что оценка качества воды по показателям соответствия нормам ПДК не отражает всех опасностей, возникающих при употреблении питьевой воды. Предложена методика анализа экологической безопасности систем питьевого водоснабжения, основанная на установлении величины риска развития опасности для жизни и здоровья человека Risk и количественной оценке негативных последствий, что реализуется в виде суммы лет нормальной (здоровой) жизни DALY, которые могут быть потеряны в результате преждевременной смерти, и лет, потерянных из-за неудовлетворительного состояния здоровья.

Использование предложенной методики на примере г. Киева доказала ее эффективность при прогнозировании ожидаемых последствий с учетом уровня опасности, а также возрастных и половых отличий населения. Экологический эффект от включения магнитной обработки и озонирования в стационарный режим работы станции ДнВС подтвердил экологическую целесообразность разработанной технологии.

Разработана принципиальная технологическая схема реализации магнитной обработки на действующих водопроводных станциях. Предложены рекомендации

по эксплуатации аппаратов МО в системах питьевого водоснабжения и методика инженерного расчета конструктивно-технологических параметров аппаратов МО.

Ключевые слова: органические вещества, питьевая вода, магнитная обработка, озонирование, экологическая безопасность питьевого водоснабжения.

SUMMARY

Roy I. O. Increase of ecological safety of drinking water supply by intensifying the process of oxidation of organic substances. – Manuscript.

Thesis for academic degree of the Candidate of Engineering Science in specialty 21.06.01 – environmental safety. – Sumy State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2017.

The thesis is devoted to improving the environmental safety of drinking water and prevent threats to human health and life, arising from the functioning technogenic and natural systems by improving drinking water purification stations using magnetic water treatment before giving on ozonation.

The author conducted the system analysis of the formation of ecological danger in drinking water systems. Intensification ozonation method by using pre magnetic water treatment was proposed.

The optimal technological parameters of magnetic treatment devices in the process of drinking water were experimentally determined. The author developed the principal technological scheme of magnetic treatment on the existing water treatment plants. Methods of engineering calculation of structural and technological parameters of magnetic treatment devices was proposed.

Key words: organic substances, drinking water, magnetic treatment, ozonation, ecological safety of drinking water.

Підписано до друку 30.12.2016
Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл. - вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. № 24.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.