

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ**

**ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ
ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ**

Поштаренко Анна Віталіївна



УДК 628.33:664.642 (043.3)

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД
ДРІЖДЖОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі біотехнології Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор
Ісаєнко Володимир Миколайович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мальований Мирослав Степанович,
завідувач кафедри екології та збалансованого природокористування Інституту екології, природоохоронної діяльності та туризму імені В'ячеслава Чорновола Національного університету «Львівська політехніка»;

доктор технічних наук, професор
Дичко Аліна Олегівна,
професор кафедри геоінженерії,
заступник директора з наукової та науково-технічної роботи студентів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Захист відбудеться «25» березня 2021 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Василя Липківського, 35, корп. 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Василя Липківського, 35, корп. 2, і на сайті: www.dea.edu.ua.

Автореферат розіслано «23» лютого 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 26.880.01, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник



Т. Г. Іващенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення рівня екологічної безпеки за рахунок впровадження та розроблення маловідходних енергоефективних технологій захисту довкілля, високоефективного очисного обладнання, створення замкнених систем обігу ресурсів є пріоритетним напрямком розвитку сучасної української економіки.

На сьогодні, підприємства з виробництва хлібопекарських дріжджів є практично в кожній області України, де їх технологічний цикл призводить до виникнення великої кількості стічної води. Стічна вода містить високі концентрації органічних забруднень, сполуки азоту, сульфати, сполуки фосфору, а також багато стійких до біологічного розкладу речовин та сильно забарвлених речовин. Небезпека стічних вод дріжджових підприємств ще виявляється в тому, що вони окрім забруднювальних речовин містять дріжджові клітини та інші мікроорганізми, які здатні продовжувати свою життєдіяльність при надходженні в природне навколишнє середовище. Збільшення кількості мікроорганізмів у природних водоймах призводить до зменшення кількості розчиненого кисню у воді, а в подальшому до загибелі водних організмів.

У даний час підприємства, які виробляють дріжджі, мають проблему, пов'язану із знезараженням стічних вод перед їх скиданням у міську каналізацію з метою зниження навантаження на органічні речовини та попередження екологічної небезпеки при можливих взаємодіях компонентів стічної води із загальним стоком.

На дріжджовому виробництві стічна вода направляється після значного розбавлення водою на очисні споруди, які обслуговують декілька промислових об'єктів. Наявне на виробництві обладнання для фільтрації та сепарації практично не в змозі виділити з водяного розчину значну частину продуктів в зв'язку з високою дисперсністю дріжджів. Концентрація органіки в стічній воді дуже висока і досягає $80000 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Така стічна вода може направлятись на переробку на очисні споруди тільки після значного розбавлення водою. Підприємства, що виробляють дріжджі несуть значні витрати на воду. Втрачається значна кількість органічного продукту, який може бути використаний як частина сировини при виробництві дріжджів.

Щоб зменшити негативний вплив стічних вод на навколишнє середовище особливої актуальності набуває удосконалення існуючих і впровадження нових перспективних технологій водоочищення, здатних знезаражувати і очищати воду незалежно від ступеня її хімічного чи біологічного забруднення.

Висунуто ідею, що зменшити негативний вплив на навколишнє середовище можливо шляхом удосконалення існуючих фізико-хімічних способів та повернення очищеної води в технологічний цикл.

Розробка теоретичних основ фізико-хімічних способів очищення стічних вод розглядається в ряді робіт вітчизняних і зарубіжних дослідників [Мальований М.С., 2017, Білявський Г.О., 2002, Дичко А.О., 2016,

Айрапетян Т.С., 2017, Саблій Л.А., 2011, Хмелев В.Н., 2010, Попович О. Р., 2018, Баран Б.А., 2000, Лошицький П.П., 2011, Іванько О. М., 2012].

Встановлення закономірностей впливу параметрів на процес очищення та знезараження стічних вод дріжджового виробництва є актуальною науковою задачею, розв'язання якої дозволить знизити негативний вплив на об'єкти їх утворення та розміщення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до реалізації Закону України «Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII; Розпоряджень КМУ «Концепція реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього середовища в Україні» від 31 травня 2017 р. № 616-р. Робота виконувалась відповідно до плану наукових досліджень кафедри біотехнології Національного авіаційного університету і є складовою НДР «Удосконалення очистки стічних вод дріжджових виробництв» (№ ДР 0086U100205, 2009–2011 рр.), у якій автор брав участь, як відповідальний виконавець.

Ідея роботи полягає у зменшенні шкідливого впливу стічних вод дріжджових підприємств на навколишнє середовище та місця їх утворення і розміщення, а також у вдосконаленні процесу їх очищення шляхом добору параметрів фізико-хімічних способів для повторного використання в технологічному циклі або скидання в каналізаційну мережу.

Мета дослідження – підвищення рівня екологічної безпеки підприємств дріжджової галузі шляхом удосконалення фізико-хімічних способів очищення стічних вод.

Для досягнення визначеної мети необхідно було вирішити такі задачі дослідження:

- проаналізувати сучасний стан утворення стічних вод дріжджового виробництва, їх шкідливий вплив на навколишнє середовище, а також виявити шляхи вдосконалення процесу їх очищення;
- провести експериментальне дослідження з виявлення впливу технологічних параметрів електродіалізу, ультразвуку, змінного магнітного поля, низькочастотного електромагнітного поля і надвисокочастотного випромінювання на склад стічних вод дріжджового виробництва;
- розробити математичні моделі залежностей впливу параметрів фізико-хімічних способів на процес очищення стічних вод;
- дати економічну оцінку ефективності вдосконаленого процесу фізико-хімічного очищення стічних вод дріжджового виробництва;
- розробити вихідні дані для створення промислового технологічного процесу очищення стічних вод з використанням фізико-хімічних способів.

Об'єкт дослідження – процес очищення стічних вод дріжджового виробництва під дією електродіалізу, ультразвуку, змінного магнітного поля, низькочастотного електромагнітного поля і надвисокочастотного випромінювання.

Предмет дослідження – вплив параметрів фізико-хімічних способів на процес очищення стічних вод дріжджового виробництва.

Методи дослідження. Для досягнення визначеної в дослідженні мети та розв'язання поставлених задач використано такі методи: планування проведення експериментів, статистичний аналіз; аналітичні та експериментальні методи, а саме: органолептичні, електрохімічні, гравіметричні, титрометричні та фотоелектроколориметричні методи. Для визначення загальної кількості мікроорганізмів використовували метод граничних розведень з подальшим висівом на чашки Петрі.

Використовувались також методи математичної статистики для обробки експериментальних даних та узагальнення отриманих результатів, методи математичного моделювання параметрів процесу очищення стічних вод з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel 2016.

Наукова новизна отриманих результатів досліджень

уперше:

- обґрунтовано доцільність застосування фізико-хімічного очищення стічних вод дріжджових підприємств, яке забезпечує підвищення екологічної безпеки підприємств за рахунок зменшення обсягів накопичення стічних вод та запобігає наднормативному скиданню шкідливих речовин у навколишнє середовище;

- встановлено закономірність впливу фізико-хімічних параметрів: інтенсивності, магнітної індукції, напруги та частоти на процес очищення стічних вод дріжджового виробництва;

удосконалено:

- процес очищення стічних вод цехів сепарації хлібопекарських дріжджів при дії електродіалізу шляхом зміни параметрів обробки;

- процес ультразвукового очищення стічних вод дріжджового виробництва за рахунок зміни тривалості та інтенсивності обробки;

набуло подальшого розвитку:

- застосування математичних моделей, які дозволяють прогнозувати зміни в процесі очищення стічних вод у залежності від параметрів обробки;

- застосування фізико-хімічних способів у технологічних процесах очищення стічних вод дріжджового виробництва з визначеними параметрами.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечено критичним аналізом літературних і патентних джерел, відповідністю методів дослідження поставленим в роботі меті і задачам, коректним застосуванням методів математичного моделювання, відповідними теоретичними розрахунками та проведенням експериментальних досліджень, задовільною збіжністю результатів моделювання та експериментальних результатів, застосуванням сучасних фізико-хімічних методів аналізу, а також поширеною апробацією результатів досліджень.

Практичне значення отриманих результатів

1. Дібрано параметри фізико-хімічного очищення стічних вод, що дасть можливість значно знизити техногенне навантаження підприємств харчової промисловості, зокрема дріжджових підприємств на навколишнє середовище.

2. Розроблено спосіб очищення стічних вод від дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* за допомогою ультразвуку, що дозволяє збільшити ефективність очищення стоків та зменшити собівартість очищення.

Новизна та корисність отриманих результатів досліджень підтверджена патентом України на корисну модель (Патент України № 144885 «Спосіб руйнування дріжджових клітин *Saccharomyces cerevisiae* в стічній воді дріжджового виробництва»).

Практична цінність основних теоретичних результатів, науково-технічних та практичних пропозицій підтверджується актом упровадження у навчальний процес Національного авіаційного університету (Акт упровадження від 02.12.2020 р.)

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі літературних джерел, загальній постановці проблеми, плануванні та особистому проведенні експериментальних досліджень, узагальненні та формулюванні основних висновків, підготовці заявки на патент.

Основні експериментальні дані, одержані здобувачем особисто: визначено фізико-хімічні та мікробіологічні показники стічних вод дріжджового підприємства, проведено і встановлено параметри процесу очищення та знезараження стічних вод електродіалізом, ультразвуком, магнітним полем, низькочастотним електромагнітним полем і надвисокочастотним випромінюванням, розроблено математичні моделі залежностей впливу параметрів на процес очищення стічних вод.

У роботах [3, 7, 10 – 16 20, 22, 23] здобувачу належить аналіз результатів експериментальних досліджень; у [3, 4, 5, 6, 7, 10 – 16, 20, 22, 23, 24] – вибір методики досліджень та аналіз їх результатів; у [1, 2, 4 – 7, 9, 17, 20 – 23, 24] – аналіз існуючих та обґрунтування обраних способів очищення стічних вод, у [4, 7, 8, 9, 17, 18, 21, 24] – формулювання мети дослідження та висновків.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи були представлені та обговорювались на конференціях різного рівня: Міжнародна наукова конференція студентів та молодих учених «Політ» (м. Київ, 2005-2008); Міжнародна науково-технічна конференція «Авіа-2007» (м. Київ, 2007); Всеукраїнська наукова конференція студентів і аспірантів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 2009–2020); Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю «Екологія/Ecology – 2009" (м. Вінниця, 2009); Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених «Екологічні проблеми сільськогосподарського виробництва» (м. Київ, 2009); Міжнародний конгрес студентів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної медицини» (м. Київ, 2009); Всеукраїнська науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» (м. Кременчук, 2009); Міжнародна науково-практична конференція «Біорізноманіття України в контексті сучасних природних умов середовища» (м. Тернопіль, 2020); Міжнародний Конгрес «Авіація в ХХІ столітті» (м. Київ, 2020).

Публікації результатів досліджень. За матеріалами дисертаційного дослідження опубліковано 24 наукові праці, у тому числі 4 статті у фахових

виданнях, одна стаття у виданні Scopus, 19 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня. Отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 210 найменувань; містить 29 рисунків, 24 таблиці. Загальний обсяг роботи складає 196 сторінок, у тому числі 156 сторінок основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету, поставлено основні завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, встановлено її зв'язок з науковими програмами та роботами, представлено основну інформацію щодо публікації та апробації результатів роботи.

Перший розділ присвячено актуальності проблеми охорони гідросфери від техногенного забруднення внаслідок підвищеного вмісту органічних та хімічних забруднень у стічних водах. Проаналізовано переваги та недоліки найпоширеніших методів очищення стічних вод харчової промисловості. Показано перспективність і ефективність використання фізико-хімічних способів для процесу очищення стічних вод дріжджового виробництва. Розкрито поняття та механізм дії електродіалізу, ультразвуку, магнітного поля, низькочастотного електромагнітного поля та надвисокочастотного випромінювання в процесах очищення стічних вод.

Результати обґрунтування використання фізико-хімічних способів очищення стічних вод представлені на основі аналізу праць вітчизняних і закордонних учених (Г. Білявський, М. Мальований, А. Дичко, Л. Кульський, W. Merkel, Г. Комолова, М. Промтов, В. Хмельов, С. Душкін, Б. Баран, П. Лошицький, В. Сабадаш, А. Запольський, T. Wolski); ученими обґрунтовано можливість використання електродіалізу (М. Брик, В. Гребенюк, М. Гнусін, М. Мархол), ультразвуку (О. Келлер, Л. Шевчук, М. Кудрявцев), магнітного поля (В. Хабаров, В. Кожинов, П. Строкач), низькочастотного електромагнітного поля (М. Васильєв, О. Мосін, М. Курика), надвисокочастотного випромінювання (О. Діденко, М. Девятков, В. Петросян, Ю. Сидорук) для вирішення поставленого науково-практичного завдання з метою підвищення рівня екологічної безпеки підприємств дріжджової промисловості.

У **другому розділі** наведено етапи експериментальної частини роботи, коротку характеристику об'єктів, устаткування, методів дослідження параметрів впливу фізико-хімічних способів на ефективність очищення стічних вод (рис. 1).

Досліджувались стічні води 3-х ступенів сепарації хлібопекарських дріжджів та загального скиду.

Дослідження проводили на лабораторному електродіалізері з оргскла. У середній частині апарату встановлена мембрана з тканини «бельтінг», анод виготовлений з суцільної пластини товщиною 1 мм з нержавіючої сталі, катод виготовлений з несучільної пластини товщиною 1 мм з титану. Відстань між

катодом та анодом становила 48 мм. Силу струму та напругу вимірювали за допомогою амперметра та вольтметра класу 0,5.



Рис. 1. Етапи експериментальної частини роботи

Детально розглянуто методики експериментального дослідження дії ультразвуку (УЗ) на очистку та знезараження стічних вод на лабораторній установці SONAR. Наведено методику експериментального дослідження очищення стічних вод змінним магнітним полем (МП) на лабораторній установці МС-92. Розглянуто методику експериментального дослідження впливу низькочастотного електромагнітного поля (НЧ ЕМП) на процес очищення стічних вод на лабораторній установці ГЗ – 111. Наведено методику експериментального дослідження очищення стічних вод надвисокочастотним (НВЧ) вузькосмуговим випромінюванням на лабораторній установці «ЯВЬ-1» та надвисокочастотним широкосмуговим шумовим сигналом на установці «Ораторія – IV».

Для визначення оптимального значення факторів, що впливають, проводили повнофакторний експеримент 2^2 .

Відбір зразків для дослідження здійснювали за стандартними методиками. Водневий показник рН вимірювали потенціометричним методом за допомогою рН-метра. Хлориди визначали аргентометричним методом. Азот загальний і сульфати визначали фотоелектроколориметричним методом. Завислі речовини та прокалений осад визначали гравіметричним методом. Хімічне споживання кисню визначали дихроматним методом. Мікробіологічні дослідження проводили за стандартними методиками. Обробку результатів експериментів проводили з застосуванням програми Excel 2016.

Третій розділ присвячено дослідженню фізико-хімічного та мікробіологічного складу стічних вод дріжджового підприємства. На основі проведеного аналізу було встановлено (табл. 1), що стічні води мають високі значення за показниками вмісту хлоридів та хімічного споживання

кисню(ХСК), низький рівень рН, високий рівень забарвлення, значною є концентрація завислих речовин та сульфатів.

Таблиця 1

Фізико-хімічні і мікробіологічні показники складу стічних вод
($P = 0,95 \pm \delta, \%$)

Показники	Стічна вода I ступеня	Стічна вода II ступеня	Стічна вода III ступеня	Стічна вода заг. скиду	Норма для скиду
рН	4,80 ± 0,05	4,90 ± 0,05	5,20 ± 0,05	4,70 ± 0,05	6,5-9,0
Хлориди, мг/дм ³	2147 ± 1	1093 ± 1	814 ± 1	1351 ± 1	350
Азот заг., мг/дм ³	10,8 ± 1,5	8,9 ± 1,5	6,2 ± 1,5	11,8 ± 1,5	50,0
Завислі речовини, мг/дм ³	6800 ± 1,0	2000 ± 1,0	800 ± 1,0	3200 ± 1,0	300
Прокалений залишок, мг/дм ³	3600 ± 0,9	800 ± 0,9	400 ± 0,9	1600 ± 0,9	-
Сульфати, мг/дм ³	6089,0 ± 0,7	2798,2 ± 0,7	1481,4 ± 0,7	3456,6 ± 0,7	400,0
ХСК, мгО ₂ /дм ³	31096 ± 1	15504 ± 1	8120 ± 1	18240 ± 1	500
ЗМЧ, КУО/см ³	12,0·10 ⁷ ± 0,2	21,0·10 ⁶ ± 0,2	12,0·10 ⁶ ± 0,2	12,0·10 ⁶ ± 0,2	100

З наведених результатів видно, що показник рН у всіх досліджуваних зразках нижче за норму, хлориди перевищують норму на 2,3-6,1 %, завислі речовини – на 2,7–22,7 %, сульфати – на 3,7–15,2 %, ХСК – на 16,2–62,2 %. Загальне мікробне число (ЗМЧ) у десятки тисяч разів перевищує норму на скид.

Викладено результати досліджень з обґрунтуванням параметрів процесу очищення стічних вод під дією електродіалізу. Встановлено залежність впливу тривалості обробки електродіалізу на фізико-хімічні та мікробіологічні показники (табл. 2, 3).

Визначено тривалість дії електродіалізу на процес очищення та знезараження стічних вод, при якій досягаються найкращі результати – 20 хв.

Для стічної води 1-го ступеню сепарації дріжджів такі показники як азот, завислі речовини, прокалений залишок, сульфати та ХСК є нижчими за початкові значення на 10, 60, 50, 65 та 53 % відповідно для анодної зони, і на 52, 70, 75, 36 та 46 % відповідно для катодної зони. Ступінь знезараження становить 99,04–99,69 %.

Для стічної води 2-го ступеню сепарації дріжджів такі показники як азот, завислі речовини, прокалений залишок, сульфати та ХСК є нижчими за початкові значення на 17, 62, 55, 63 та 53 % відповідно для анодної зони, і на 56, 75, 79, 37 та 50 % відповідно для катодної зони. Ступінь знезараження становить 96,76–97,05 %.

Для стічної води 3-го ступеню сепарації дріжджів такі показники як азот, завислі речовини, прокалений залишок, сульфати та ХСК є нижчими за початкові значення на 21, 75, 100, 56 та 87 % відповідно для анодної зони, і на 58, 75, 100, 55 та 85 % відповідно для катодної зони. Ступінь знезараження становить 97,30–98,57 %.

Таблиця 2

**Результати фізико-хімічних та мікробіологічних досліджень стічних вод
3-х ступенів сепарації після дії електродіалізу ($P = 0,95 \pm \delta, \%$)**

Показники		Час обробки, хв.											
		Стічна вода 1-го ступеню сепарації				Стічна вода 2-го ступеню сепарації				Стічна вода 3-го ступеню сепарації			
		5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20
рН	Анод	4,7	4,66	4,6	4,57	4,8	4,75	4,7	4,62	5,0	4,9	4,7	4,65
	Катод	5,0	5,25	5,45	5,7	5,2	5,5	5,9	6,29	5,5	6,0	7,0	7,7
Хлориди, мг/дм ³	Анод	2522	2897	3272	3650	3878	6663	9448	12233	3357	5902	8447	10992
	Катод	3810	5473	7136	8800	2105	3117	4129	5141	1496	2179	2862	3546
Азот заг., мг/дм ³	Анод	10,5	10,2	9,9	9,7	8,5	8,1	7,8	7,4	5,9	5,6	5,2	4,9
	Катод	9,4	8,0	6,6	5,2	7,6	6,4	5,2	3,9	5,3	4,4	3,5	2,6
Завислі речовини мг/дм ³	Анод	5780	4760	3740	2720	1700	1400	1100	800	650	500	350	200
	Катод	5610	4420	3230	2040	1650	1300	950	600	630	520	300	200
Прокалений залишок, мг/дм ³	Анод	3150	2700	2250	1800	700	600	500	400	300	200	100	0
	Катод	2925	2250	1575	900	650	500	350	200	330	180	120	0
Сульфати мг/дм ³	Анод	5099	4109	3119	2131	2345	1892	1439	987	1275	1069	863	658
	Катод	5541	4993	4445	3896	2551	2304	2057	1810	1276	1071	866	660
ХСК, мгО ₂ /дм ³	Анод	26976	22856	18736	14615	13466	11428	9390	7352	6360	4600	2840	1080
	Катод	27520	23944	20368	16791	13741	11978	10215	8451	6404	4688	2972	1254
ЗМЧ, КУО· 10 ⁶ /см ³	Анод	4,20	2,20	1,08	0,363	0,32	1,15	0,522	0,619	0,60	0,60	0,54	0,171
	Катод	26,0	4,80	1,86	1,15	1,71	3,63	0,20	0,68	1,30	1,20	0,93	0,32

Таблиця 3

**Фізико-хімічний та мікробіологічний склад стічних вод загального
скиду після дії електродіалізу**

Показники		Час обробки, хв.			
		5	10	15	20
рН	Анод	4,65	4,6	4,55	4,5
	Катод	4,8	4,95	5,1	5,2
Хлориди, мг/дм ³	Анод	2786	4221	5656	7092
	Катод	1457	1563	1669	1773
Азот заг., мг/дм ³	Анод	9,2	6,5	3,9	1,3
	Катод	9,3	6,7	4,2	1,6
Завислі речовини, мг/дм ³	Анод	2700	2200	1700	1200
	Катод	2750	2300	1850	1400
Прокалений залишок, мг/дм ³	Анод	1402	1204	1006	810
	Катод	1296	992	688	385
Сульфати, мг/дм ³	Анод	3127	2798	2469	2139
	Катод	3086	2716	2346	1975
ХСК, мгО ₂ /дм ³	Анод	15966	13692	11418	9145
	Катод	16094	13948	11802	9654
ЗМЧ, КУО/см ³	Анод	$6,1 \cdot 10^5$	$5,9 \cdot 10^5$	$5,0 \cdot 10^5$	$82,0 \cdot 10^4$
	Катод	$1,4 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^6$	$8,9 \cdot 10^5$	$88,0 \cdot 10^4$

Для стічних вод загального скиду (табл. 3) завислі речовини, прокалений залишок, сульфати та ХСК нижче аналогічних показників контрольних зразків для анодної зони на 89, 63, 38 та 50 % відповідно, а для катодної зони на 86, 56, 43 та 47 % відповідно. Ступінь знезараження становить 92,60–93,16 %.

Отримано залежність впливу електродіалізу на знезараження стічних вод від тривалості обробки на кількість мікроорганізмів (рис. 1–4).

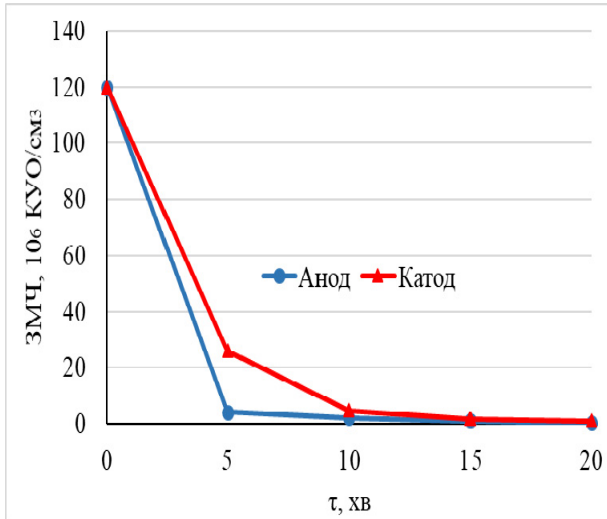


Рис. 1. Залежність впливу тривалості обробки (τ) електродіалізу на ЗМЧ стічних вод 1-го ступеня сепарації дріжджів

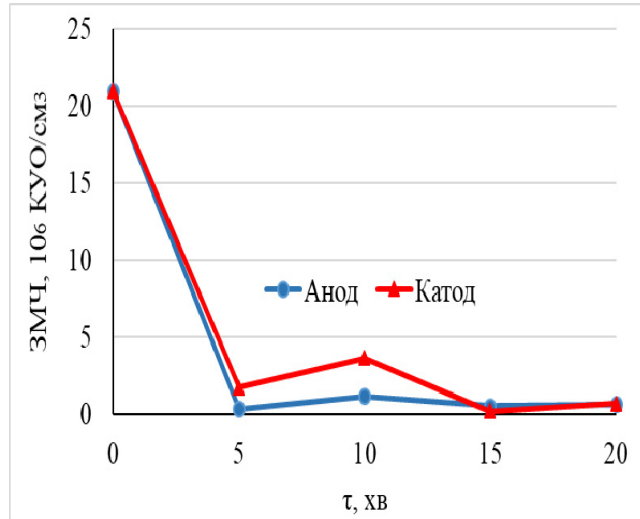


Рис. 2. Залежність впливу тривалості обробки (τ) електродіалізу на ЗМЧ стічних вод 2-го ступеня сепарації дріжджів

Зі збільшенням часу дії електродіалізу, як і очікувалося, знижувалося ЗМЧ стічних вод (рис.1). При цьому значне зниження кількості мікроорганізмів у стічній воді відбувалося впродовж перших 5 хвилин і далі з часом продовжувало зменшуватись. В діапазоні часу від 5 до 20 хв. зниження ЗМЧ було практично лінійним. Така залежність дозволяє говорити, що межа зниження вмісту мікроорганізмів ще не вичерпана, і можливо ще більше зменшення кількості мікроорганізмів, яке можна забезпечити більш тривалим впливом електричного поля.

Для стічної води 2-го ступеню сепарації хлібопекарських дріжджів показник ЗМЧ є нижчим за початкові значення на 97,05 % відповідно для анодної зони, і на 96,76 % відповідно для катодної зони (рис. 2). Ефективність процесу очищення стічних вод зростає при тривалості обробки 15–20 хв.

Для стічної води 3-го ступеню сепарації дріжджів показник ЗМЧ є нижчим за початкові значення на 98,57 % відповідно для анодної зони, і на 97,30 % відповідно для катодної зони (рис.3). Показник ЗМЧ має найменше значення при тривалості дії 20 хв.

Для стічної води загального скиду показник ЗМЧ є нижчими за початкові значення на 93,16 % відповідно для анодної зони, і на 92,60 % відповідно для катодної зони (рис.4). При тривалості обробки 15–20 хв досягається найменший показник кількості мікроорганізмів.

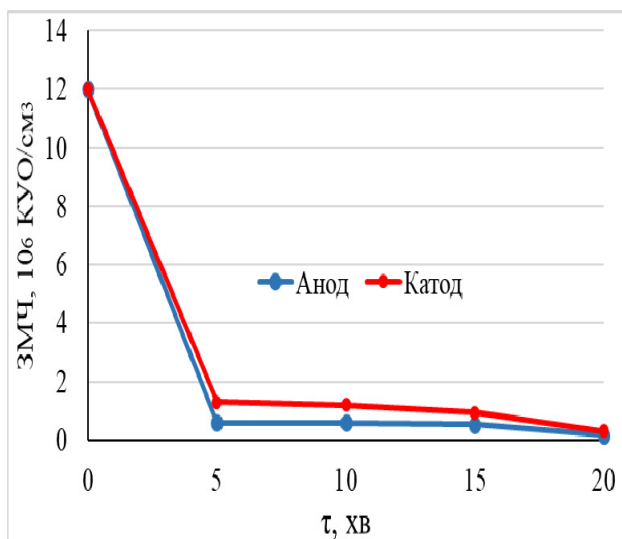


Рис. 3. Залежність впливу тривалості обробки (τ) електродіалізу на ЗМЧ стічних вод 3-го ступеня сепарації дріжджів

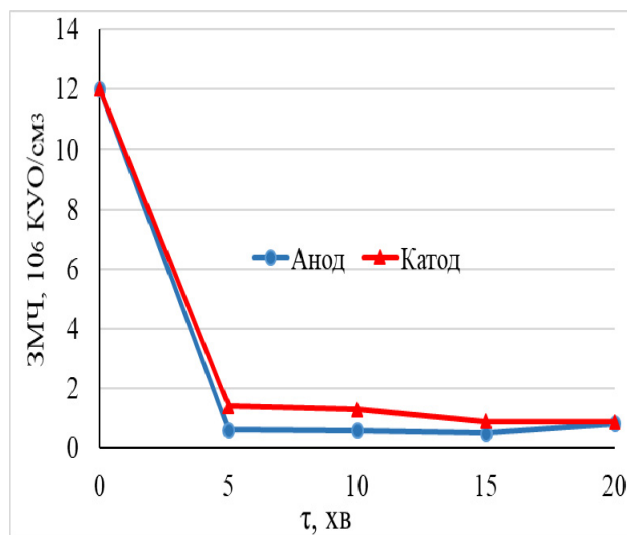


Рис. 4. Залежність впливу тривалості обробки (τ) електродіалізу на ЗМЧ стічних вод загального скиду

Найбільший ступінь знезараження стічної води спостерігається в анодній зоні в зв'язку з накопиченням в процесі електродіалізу в прианодній зоні хлорид-іонів та атомарного кисню, які сприяють окисленню органічних речовин та збільшують знезаражуючу дію на мікроорганізми.

У четвертому розділі описано результати експериментальних досліджень процесу очищення стічних вод загального скиду дріжджового виробництва ультразвуком, змінним магнітним полем, низькочастотним електромагнітним полем та надвисокочастотним випромінюванням.

Для дослідження впливу ультразвуку на очищення стічних вод було проведено досліди за $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, частоти 840 кГц ($\lambda = 1,8\text{ мм}$), потужності 91 Вт, інтенсивності 0,3–0,7 Вт/см² і тривалістю до 12 хв. Загальна кількість мікроорганізмів у контрольному зразку становила $12 \cdot 10^6$ КУО/см³.

Отримана залежність впливу ультразвуку на знезараження стічних вод загального скиду від тривалості обробки та інтенсивності на ЗМЧ (рис. 5).

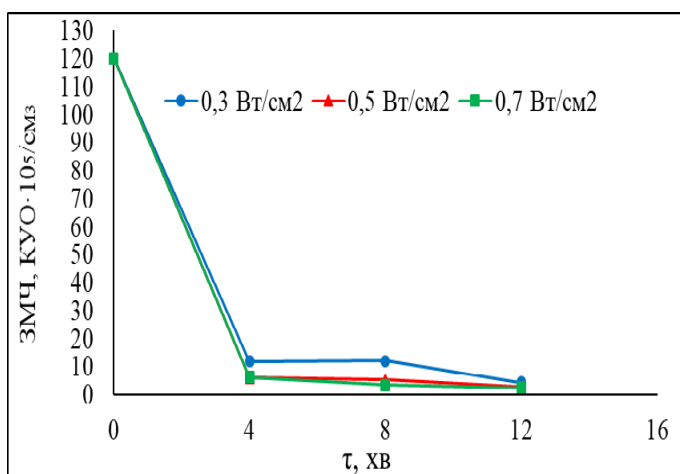


Рис. 5. Залежність впливу тривалості обробки (τ) і інтенсивності ультразвуку на ЗМЧ стічних вод загального скиду

Порівнюючи величини ЗМЧ, спостерігаємо, що ступінь знезараження мікроорганізмів при використанні ультразвукових коливань, інтенсивністю 0,3 Вт/см² упродовж 12 хвилин знаходиться в межах 89,9 – 96,33 %.

Ефективність знезараження стічної води, яку піддавали дії ультразвуку інтенсивністю 0,5 Вт/см² зі збільшенням часу обробки від 4 до 12 хвилин зростає і становить 95 – 97,5 %.

При обробці стічної води ультразвуком інтенсивністю $0,7 \text{ Вт/см}^2$ тривалістю 4, 8 та 12 хв ступінь руйнування клітин мікроорганізмів становить 94,83 %, 97,17 %, та 97,91 % відповідно.

Встановлено, що найбільший ступінь знезараження мікроорганізмів в стічній воді під дією ультразвукових коливань досягається при робочій частоті 840 кГц, потужності 91 Вт, інтенсивності $0,7 \text{ Вт/см}^2$ та тривалості $\tau = 12$ хвилин і становить 97,91%.

Обробка стічних вод загального скиду ультразвуковим способом призводить до покращення фізико-хімічних показників (табл. 4).

Таблиця 4

Фізико-хімічний склад стічних вод після впливу ультразвуку

Показники	Після ультразвуку
рН	6,20
Хлориди, мг/дм ³	297,2
Азот, мг/дм ³	3,0
Завислі речовини, мг/дм ³	960,0
Прокалений залишок, мг/дм ³	480,0
Сульфати, мг/дм ³	725,9
ХСК, мгО ₂ /дм ³	10032,0

З наведених результатів видно, що ХСК зменшилось до $10032 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, що в 1,8 рази менше порівняно з вихідним $\text{ХСК}_{\text{поч}} = 18240 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Концентрація завислих речовин зменшилась до 960 мг/дм^3 , що в 3,3 рази менше початкової величини 3200 мг/дм^3 . В 4,8 рази зменшилась концентрація сульфатів до $725,9 \text{ мг/дм}^3$ порівняно з вихідним значенням $3456,6 \text{ мг/дм}^3$. Рівень рН, концентрація хлоридів, азоту загального в стічних водах після дії ультразвуку відповідає нормі на скид.

Подальші дослідження очищення та знезараження стічних вод загального скиду проводили при дії змінного магнітного поля (МП) за $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, частоти магнітних імпульсів 50 Гц, інтенсивності магнітної індукції 50 мТл і 75 мТл впродовж 4,7,10 та 13 хв.

Загальна кількість мікроорганізмів у контрольному зразку становила $12 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$.

Отримана залежність впливу магнітного поля на знезараження стічних вод загального скиду від тривалості обробки та магнітної індукції на ЗМЧ (рис. 6).

При величині магнітної індукції 50 – 75 мТл та $\tau = 4\text{--}10$ хв, досягається найменше значення показника ЗМЧ. Найменш ефективним виявилось застосування МП інтенсивністю магнітної індукції 50 мТл і $\tau = 13$ хв – у 2,6 разів ($\text{ЗМЧ} = 8,4 \cdot 10^6 \text{ КУО/см}^3$). Дія магнітного поля на стічну воду інтенсивністю магнітної індукції 50 мТл, $\tau = 4\text{--}13$ хвилин виявилась у тому, що ступінь руйнування дріжджових клітин був у межах 30 – 65 %.

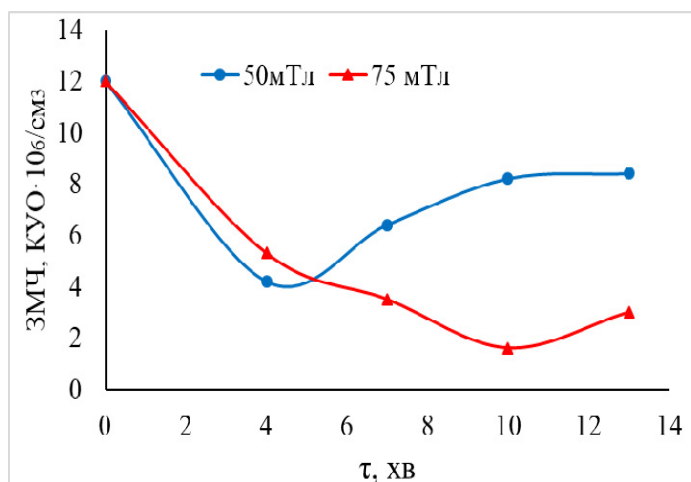


Рис. 6. Залежність впливу тривалості обробки (τ) і магнітної індукції на ЗМЧ стічних вод загального скиду

Виявлено, що незначний вплив магнітного поля інтенсивністю магнітної індукції 50 мТл мав зразок стічної води, який був оброблений протягом 13 хвилин, а найбільший вплив мало магнітне поле тієї ж інтенсивності протягом 4 хвилин. Тобто, в даному випадку зі збільшенням часу обробки стічних вод магнітним полем спостерігається процес активації мікроорганізмів.

У зразках стічної води, оброблених магнітним полем

інтенсивністю магнітної індукції 75 мТл експозицією в 4, 7, 10 та 13 хвилин, ступінь руйнування дріжджових клітин становить 55,83 %, 70,83 %, 86,67 % та 75 % відповідно. Тобто, із збільшенням часу дії магнітного поля зростає інактивація мікроорганізмів.

Установлено, що при дії магнітного поля при інтенсивності магнітної індукції 75 мТл упродовж 10 хв досягнуто найвищого ступеня руйнування мікроорганізмів, він становив 86,67 %.

Обробка стічних вод загального скиду змінним магнітним полем призводить до покращення фізико-хімічних показників (табл. 5).

Показники табл. 5 свідчать про те, що після дії змінного магнітного поля досягається значне зниження показників ХСК на 72 %, хлоридів – 70 %, азоту загального – 66 %, завислих речовин і прокаленого залишку – 50 %, сульфатів – 67 %.

Таблиця 5

Фізико-хімічний склад стічних вод після дії магнітного поля

Показники	Після магнітного поля
рН	6,0
Хлориди, мг/дм ³	405
Азот, мг/дм ³	4
Завислі речовини, мг/дм ³	1600
Прокалений залишок, мг/дм ³	800
Сульфати, мг/дм ³	1152
ХСК, мгО ₂ /дм ³	5107

Викладено результати досліджень впливу низькочастотного електромагнітного поля на процес очищення і знезараження стічних вод за $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, частоти 100 кГц, амплітуди напруги 3 В і 5 В впродовж 5, 9, 13 та

17 хв. Загальна кількість мікроорганізмів у контрольному зразку становила $12 \cdot 10^6$ КУО/см³.

Отримана залежність впливу низькочастотного випромінювання на знезараження стічних вод загального скиду від тривалості обробки і напруги на показник ЗМЧ (рис. 7).

Протягом 5 хв показник ЗМЧ зменшився на 21,67 %, при 9 хв – на 55 %, при 13 хв – на 66,67 % та при 17 хв – на 70 %.

ЗМЧ при напрузі 5 В, $\tau = 5-17$ хв лежить у межах 21,67–75,83 %.

Найбільший показник ЗМЧ встановлено в зразках стічних вод з $\tau = 5$ хв при напрузі 3 В та $\tau = 9$ хв при напрузі 5 В.

Найбільше зменшення ЗМЧ на 75,83 % встановлено при частоті 100 кГц напрузі 5 В $\tau = 17$ хв.

Обробка стічних вод загального скиду НЧ ЕМП призводить до зміни фізико-хімічних показників (табл. 6).

Таблиця 6

Фізико-хімічний склад стічних вод після дії низькочастотного випромінювання

Показники	Після НЧ ЕМП
рН	6,00
Хлориди, мг/дм ³	337
Азот заг., мг/дм ³	3,5
Завислі речовини, мг/дм ³	704
Прокалений залишок, мг/дм ³	352
Сульфати, мг/дм ³	933
ХСК, мгО ₂ /дм ³	7296

Встановлено, що в стічних водах збільшується рН середовища до 6, зменшується вміст хлоридів на 75 %, азоту заг. – на 70 %, завислих речовин і прокаленого залишку – на 78 %, сульфатів – на 73 %, ХСК – на 60 %.

Викладено результати досліджень процесу очищення і знезараження стічних вод загального стоку надвисокочастотним вузькосмуговим випромінюванням з частотою модуляції 90 ГГц, потужністю 10 мВт/см², тривалістю обробки 6, 12, 18, 24 та 30 хв., а для широкосмугового шумового сигналу використовували спектральну щільність шуму $\square 10^{-18}$ Вт/Гц, частоту – 60 ГГц, інтегральну потужність випромінювання – 10^{-10} Вт/см², тривалість обробки 6, 12, 18, 24 та 30 хв.

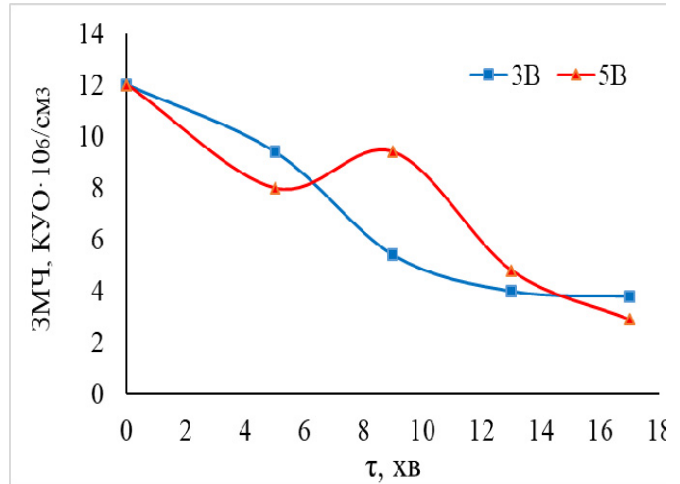


Рис. 7. Залежність впливу тривалості обробки (τ) і напруги НЧ ЕМП на ЗМЧ стічних вод загального скиду

Досліди проводили при температурі води $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Загальна кількість мікроорганізмів у контрольному зразку становила $12 \cdot 10^6$ КУО/см³.

Отримана залежність впливу надвисокочастотного випромінювання на знезараження стічних вод загального скиду від тривалості обробки і частоти на показник ЗМЧ (рис. 8).

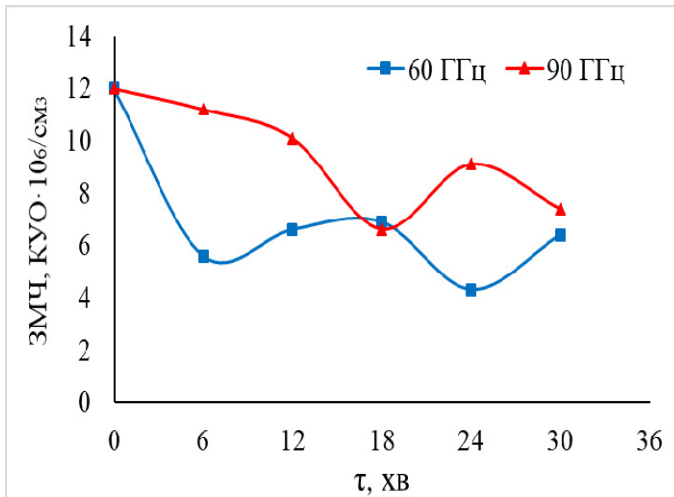


Рис. 8. Залежність впливу тривалості обробки (τ) і частоти НВЧ випромінювання на ЗМЧ стічних вод загального скиду

Зменшення ЗМЧ встановлено при частоті 60 ГГц $\tau = 24$ хв і при частоті 90 ГГц $\tau = 18$ хв на 64,17 % та 49 % відповідно. При частоті 90 ГГц упродовж 6 хв встановлено найменше зниження ЗМЧ на 24,17 %. При збільшенні тривалості впливу НВЧ випромінювання кількість мікроорганізмів у стічній воді зменшується.

Обробка стічних вод загального скиду при дії НВЧ призводить до зміни фізико-хімічних показників (табл. 7).

Таблиця 7

Фізико-хімічний склад стічних вод після дії надвисокочастотного випромінювання

Показники	Після НВЧ
рН	6,5
Хлориди, мг/дм ³	284
Азот, мг/дм ³	7,1
Завислі речовини, мг/дм ³	640
Прокалений залишок, мг/дм ³	320
Сульфати, мг/дм ³	968
ХСК, мгО ₂ /дм ³	6384

Результати свідчать про зростання рН води до 6,5, значне зниження вмісту хлоридів на 79 %, азоту заг. – на 40 %, завислих речовин і прокаленого залишку – на 80 %, сульфатів – на 72 %, ХСК – на 65 %.

У п'ятому розділі наведено математичні моделі, розроблені на основі теорії планування повнофакторного експерименту, що адекватно описують та дозволяють прогнозувати процес фізико-хімічного очищення стічних вод.

З отриманих числових результатів визначили, що в процесі електродіалізу показник ЗМЧ поблизу катода на протязі перших 5 хвилин спадає до рівня 0,13, а протягом наступних 15 хвилин зменшується ще в 3 рази. З іншого боку,

поблизу анода ЗМЧ за перші 5 хвилин спадає до 0,028 від початкового значення і подальші зміни ЗМЧ в анодній зоні не спостерігаються.

В процесі УЗ знезараження стоків показник ЗМЧ при інтенсивності 0,3 Вт/см² на протязі перших 4 хвилин знижується до рівня 0,099 від початкового значення, а протягом наступних 12 хвилин зменшується ще в 2,7 рази. При інтенсивності 0,5 Вт/см² ЗМЧ за перші 4 хвилини спадає до 0,05 від початкового значення, а протягом наступних 12 хвилин зменшується ще в 2 рази. При інтенсивності 0,7 Вт/см² впродовж перших 4 хвилин показник ЗМЧ зменшується до рівня 0,051 від початкового значення, а протягом наступних 12 хвилин зменшується ще в 2,5 рази.

При дії змінного МП, встановлено, що показник ЗМЧ при магнітній індукції 50 мТл на протязі перших 4 хвилин знижується до рівня 0,35 від початкового значення, а протягом наступних 13 хвилин зменшується ще в 0,5 раз. При магнітній індукції 75 мТл ЗМЧ за перші 4 хвилини спадає до 0,44 від початкового значення, а протягом наступних 13 хвилин зменшується ще в 1,7 рази.

Дія НЧ ЕМП показала, що показник ЗМЧ при напрузі 3 В на протязі перших 5 хвилин знижується до рівня 0,78 від початкового значення, а протягом наступних 17 хвилин зменшується ще в 2,5 рази. При напрузі 5 В ЗМЧ за перші 5 хвилини спадає до 0,67 від початкового значення, а протягом наступних 17 хвилин зменшується ще в 2,7 рази.

В процесі знезараження стоків при дії НВЧ випромінювання показник ЗМЧ при частоті 60 ГГц на протязі перших 6 хвилин знижується до рівня 0,47 від початкового значення, а протягом наступних 30 хвилин зменшується ще в 0,9 раз. При частоті 90 ГГц ЗМЧ за перші 6 хвилини спадає до 0,93 від початкового значення, а протягом наступних 30 хвилин зменшується ще в 1,5 рази.

У шостому розділі обґрунтовано економічну ефективність застосування ультразвукового очищення стічних вод з метою покращення екологічного стану водних об'єктів.

Ультразвукова обробка води є не тільки високоефективною для очищення від різноманітних забруднень, а й економічно ефективною. Розраховані сумарні витрати на скид стічних вод та розмір відшкодування збитків, внаслідок аварійного або самовільного скиду забруднюючих речовин зі зворотними водами.

Застосування запропонованого ультразвукового способу очищення дозволить зменшити техногенне навантаження на водні об'єкти, а також суттєво зменшити величину збитків від скидання неочищених стоків.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науковою роботою, в якій наведено розв'язання актуальної наукової задачі – підвищення рівня екологічної безпеки дріжджових підприємств шляхом удосконалення процесу очищення стічних вод із застосуванням фізико-хімічних способів (ультразвуку, магнітного поля, низькочастотного електромагнітного поля, надвисокочастотного випромінювання). При цьому було одержано результати, які наведено нижче.

1. За результатами проведеного аналізу сучасного стану шкідливого впливу стічних вод на довкілля виявлено, що стічні води дріжджових підприємств є постійним джерелом забруднення внаслідок наявності в їх складі органічних речовин, сполук азоту, сульфатів, хлоридів, а також багатьох стійких до біологічного розкладу речовин та сильно забарвлених речовин. Небезпека ще виявляється в тому, що вони окрім забруднювальних речовин містять дріжджові клітини та інші мікроорганізми, які здатні продовжувати свою життєдіяльність при надходженні в природне навколишнє середовище.

2. Експериментально встановлено, що при дії електродіалізу напругою 18–19 В, тривалістю 20 хвилин досягнуто високого ступеня очищення стічних вод від завислих речовин (до 89 %), прокаленого залишку (до 63 %), сульфатів (40 %), ХСК (50 %) та мікроорганізмів (92 %).

3. Експериментально доведено ефективність очищення та знезараження стічних вод при дії ультразвуку частотою 840 кГц, потужністю 91 Вт, інтенсивністю $0,7 \text{ Вт/см}^2$, тривалістю обробки 12 хв, при цьому зменшується ХСК в 1,8 рази, завислі речовини – в 3,3 рази, сульфати – в 4,8 рази, ЗМЧ – на 97,91 %.

4. Визначено параметри ефективної дії магнітного поля: частота магнітних імпульсів 50 Гц, магнітна індукція 75 мТл, тривалість дії 10 хвилин, що призводить до збільшення рН середовища до 6, зменшення показників ХСК на 72%, хлоридів – 70 %, азоту загального – 66 %, завислих речовин і прокаленого залишку – 50 %, сульфатів – 67 %, ЗМЧ – 86,67 %.

5. Встановлено, що низькочастотне електромагнітне поле з частотою 100 кГц, напругою 5 В, тривалістю 17 хвилин призводить до зміни рН середовища до 6, зниження вмісту хлоридів на 75 %, азоту заг. – на 70 %, завислих речовин і прокаленого залишку – на 78 %, сульфатів – на 73 %, ХСК – на 60 % та ЗМЧ – на 75,83 %.

6. Експериментально визначено параметри ефективної дії надвисокочастотного випромінювання: спектральна щільність шуму 10^{-18} Вт/Гц , частота 60 ГГц, інтегральною потужністю випромінювання 10^{-10} Вт/см^2 , тривалістю 24 хвилини, що дозволяють зменшити концентрацію хлоридів на 79 %, азоту заг. – на 40 %, завислих речовин і прокаленого залишку – на 80 %, сульфатів – на 72 %, ХСК – на 65 % та ЗМЧ – на 64,17 %.

7. Розроблено математичні моделі, які описують і дають змогу прогнозувати біологічні процеси інактивації мікроорганізмів, оптимізувати параметри очищення стічних вод, проведена перевірка їх адекватності.

8. Виконано економічне обґрунтування та розрахована еколого-економічна ефективність від використання ультразвукового способу очищення стоків.

9. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено вихідні дані для створення промислового технологічного процесу очищення стічних вод дріжджового виробництва із використанням ультразвуку.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті Scopus:

1. **A V Poshtarenko**. Optimization of the process of electrochemical wastewater treatment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE), 2021.

Особистий внесок – аналіз результатів експериментальних досліджень електродіалізу, побудова математичних моделей.

Статті у наукових фахових виданнях України, які індексуються міжнародними науко-метричними базами даних:

2. **Поштаренко А.В.** Пригнічення росту та активності культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* за допомогою надвисокочастотного електромагнітного випромінювання // Проблеми екологічної біотехнології: електронний фаховий науковий журнал. – Електронні дані. – [Київ : Національний авіаційний університет, 2014]. – № 2(2014). – Режим доступу: <http://nau.edu.ua>.

Особистий внесок – вибір методики дослідження процесу очищення та знезараження стічної води та аналіз результатів експериментальних досліджень.

3. **Поштаренко А.В.** Вплив харчової промисловості на екологічну безпеку природних вод // Проблеми екологічної біотехнології: електронний фаховий науковий журнал. – Електронні дані. – [Київ: Національний авіаційний університет, 2015]. – № 2(2015). – Режим доступу: <http://nau.edu.ua>.

Особистий внесок – аналіз існуючих та обґрунтування обраних способів очищення стічних вод.

4. Ісаєнко В.М., **Поштаренко А.В.** Інтенсифікація процесу очищення стічної води фізико-хімічними способами // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва, Випуск 96, Частина 1 , 2020. – С. 167-178.

Особистий внесок – аналіз результатів експериментальних досліджень, узагальнення та формування висновків.

5. **Poshtarenko A.V.** Application of alternating magnetic field in wastewater treatment at yeast enterprises. Ukrainian Journal of Ecology. 2021. № 11(1). P. 158–162.

Особистий внесок – вибір методики дослідження та аналіз результатів експериментальних досліджень впливу змінного магнітного поля на ступінь очищення стічних вод.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Геращенко Л.В., Кисла Л.В., **Струтинська А.В.**, Плигун О.В. Екологічні аспекти дріжджової промисловості і методи їх покращення// Матеріали V Міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених "Політ", 12-13 квітня 2005 р. – Київ: НАУ, 2005. С. 765

Особистий внесок – аналіз існуючих та обґрунтування обраних способів очищення стічних вод.

7. **Струтинська А.В.**, Кисла Л.В., Геращенко Л.В., Шевченко Ю.С. Електродіалізні процеси в спиртовій промисловості // Політ: Матеріали V Міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених. – К. : НАУ, 2005. –С. 243.

Особистий внесок – аналіз та обґрунтування фізико-хімічного способу очищення стічних.

8. **Струтинська А.В.**, Геращенко Л.В., Обухівська О.Б., Кисла Л.В. Використання електрохімічних процесів в виробництві хлібопекарських дріжджів // Політ: Матеріали VI Міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених. –К.: НАУ, 2006. С. 299

Особистий внесок – аналіз існуючих та обґрунтування обраних способів очищення стічних вод.

9. Застосування електроактивування в області виробництва дріжджів [Текст] / **А.В. Струтинська** // Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції "АВІА-2007", 25-27 квітня 2007 року / Бабак В.П., гол. оргком.; Національний авіаційний університет. — Київ, 2007. С. 44.62–44.65.

Особистий внесок – обґрунтування методики досліджень та аналіз результатів.

10. **Струтинська А.В.**, Максименко О.А. Загальна характеристика стічних вод дріжджового заводу та методи їх утилізації // Політ: Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених. – К. : НАУ, 2008. С. 457.

Особистий внесок – визначення складу стічних вод дріжджового виробництва.

110. Максименко О.А., Кисла Л.В., **Струтинська А.В.** Технологія очищення стічних вод у дріжджовому виробництві // Політ: Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених. – К. : НАУ, 2008. С. 455.

Особистий внесок – формулювання мети дослідження та висновків.

12. **Струтинська А.В.**, Гаркава К.Г., Косоголова Л.О. Електрохімічне знезараження післядріжджової барди // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів і аспірантів "Екологічна безпека держави". – К. : НАУ, 2009. С. 184.

Особистий внесок – аналіз результатів експериментальних досліджень.

13. **Струтинська А.В.**, Гаркава К.Г., Косоголова Л.О. Перспективи застосування фізичних методів для очищення стічних вод біотехнологічних виробництв. // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених «Екологічні проблеми сільськогосподарського виробництва». – Київ, 22–25 вересня 2009 року. – Київ: ТОВ «ДІА», 2009. С. 29–30.

Особистий внесок – аналіз результатів експериментальних досліджень.

14. **Струтинська, А. В.** Використання низьких та надзвичайно високих частот для очистки стічних вод / А.В. Струтинська, Л.О. Косоголова, К.Г. Гаркава // Український науково-медичний молодіжний журнал: Наук. журн./ Глав. ред. О.В. Курченко. – Київ, 2009. N 3. С. 152. – ISSN 1996-353X.

Особистий внесок – аналіз результатів експериментальних досліджень.

15. **Струтинська А.В.**, Косоголова Л.О., Лошицький П.П., Ніжанківська В.Є. Застосування електрохімічних методів для очистки стічної води / VII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля

технічних і біологічних об'єктів». Тези наукових доповідей. – Кременчук: КДУ імені Михайла Остроградського, 2009. С. 292–294.

Особистий внесок – вибір методики досліджень та аналіз результатів експериментальних досліджень.

16. **Струтинська А.В.**, Косоголова Л.О., Гаркава К.Г., Нежанківська В.Є. Сучасні підходи очищення стічної води біотехнологічних виробництв / II Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2009) // Збірник наукових статей. – Вінниця, 23-26 вересня 2009 року. – Вінниця: ФОП Данилюк, 2009. С. 55–58.

Особистий внесок – аналіз існуючих способів очищення стічних вод та вибір критеріїв оцінки ефективності процесу очищення.

17. Бржезицкий В.А., Гаран Я.А., Драпей М.В., Косоголова Л.А., Лошицкий П.П., Лобатенко В.А., **Струтинская А.В.** Очистка сточных вод биотехнологического производства физическими методами // Электроника и связь: научно-технический журнал. - №2(55), 2010. С. 197–199.

Особистий внесок – опис методики дослідження та аналіз результатів експериментальних досліджень.

18. **Струтинська А.В.**, Косоголова Л.О., Ковтун С., Сіленко В. Оцінка впливу магнітного поля на ступінь знезараження стічних вод дріжджового виробництва // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Екологічна безпека держави”. –К.: НАУ, 2010. С. 195.

Особистий внесок – вибір методики досліджень та аналіз результатів експериментальних досліджень.

19. **Поштаренко А.В.**, Франко І.Р., Косоголова Л.О. Вплив ультразвуку на виживання дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* // Перспективи і напрями сучасної біотехнології : наук.-практ. семінар, 14-15 жовтня 2011 р.: тези доп. – К.: Вид-во «Мегапринт», 2011. С. 117.

Особистий внесок – вибір методики досліджень та аналіз результатів експериментальних досліджень.

20. **Поштаренко А.В.**, Косоголова Л.О., Франко І.Р., Лошицкий П.П., Веселовська Т.Є. Використання ультразвуку при обробці стічної води дріжджового виробництва // Біотехнологія XXI століття: VII Всеукр. наук.-практ. конф., 5 квітня 2012р.: тези доп. – К., 2012. С. 76.

Особистий внесок – опис методики ультразвукового дослідження та аналіз результатів експериментальних досліджень.

21. **Поштаренко А.В.** Ефективність фізичних методів в очистці стічної води дріжджової промисловості // Новітні досягнення біотехнології та нанофармакології : III Міжн. наук.-практ. конф., 20-22 жовтня 2015 р.: тези доп. – К.: Вид-во «Мегапринт», 2015. С. 94–95.

Особистий внесок – аналіз результатів експериментальних досліджень.

22. **Поштаренко А.В.**, Юзвенко Ю.В. Вплив дріжджових підприємств на стан водних об'єктів // Екологічна безпека держави: X Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів, 21 квітня 2016 р.: тези доп. – К., 2016. С. 116.

Особистий внесок – аналіз існуючих та обґрунтування обраних способів очищення стічних вод.

23. **Поштаренко А.В.**, Гладишева В.О. Спосіб руйнування дріжджових клітин в стічній воді дріжджового виробництва // Екологічна безпека держави: тези доповідей XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. – К.: НАУ, 2020. С. 41.

Особистий внесок – аналіз результатів експериментальних досліджень.

24. **Поштаренко А.В.**, Решетняк Л.Р. Характеристика фізико-хімічних показників стічної води процесу сепарації дріжджів // Міжнародна науково-практична конференція «Біорізноманіття України в контексті сучасних природних умов середовища». – Тернопіль, 2020. С. 6162.

Особистий внесок – визначення показників складу стічних вод, аналіз результатів експериментальних досліджень.

Патенти:

25. Патент України №144885 «Спосіб руйнування дріжджових клітин *Saccharomyces cerevisiae* в стічній воді дріжджового виробництва».

Особистий внесок – участь у патентному пошуку, проведені експериментальних досліджень та оформленні патенту.

АНОТАЦІЯ

Поштаренко А.В. Удосконалення процесу очищення стічних вод дріжджового виробництва. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. – Національний авіаційний університет. – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-практичного завдання підвищення рівня екологічної безпеки дріжджового виробництва шляхом застосування фізико-хімічних способів (електродіаліз, ультразвук, магнітне поле, низькочастотне електромагнітне поле та надвисокочастотне випромінювання) для очищення та знезараження стічних вод. Визначено перелік основних способів очищення виробничих стоків від органічного, мінерального та біологічного забруднення. Встановлено переваги та недоліки цих методів очищення. Детально розглянуто застосування фізико-хімічних технологій очищення стічних вод дріжджового виробництва в Україні та закордоном, визначено характеристики фізико-хімічних способів, галузь та умови їх застосування. Відзначено перспективність застосування електродіалізу, ультразвуку, магнітного поля, низькочастотного електромагнітного поля та надвисокочастотного випромінювання, як способів очищення та знезараження стічних вод дріжджового виробництва. За допомогою фізико-хімічного та мікробіологічного аналізу досліджено фізико-хімічний та мікробіологічний склад стічних вод 3-х ступенів сепарації дріжджів та стічної води загального скиду (дріжджовий завод Київської області). З метою отримання інформації про перебіг процесу очищення проведено

експериментальні дослідження на лабораторних установках, за результатами яких встановлено параметри дії фізичних чинників, при яких спостерігається збільшення ефективності процесу очищення та знезараження.

При використанні електродіалізу в стічній воді збільшився рівень рН, концентрація вільного хлору, знизилась кольоровість і окиснюваність. Найкраще знезараження стічної води відбулося в анодній зоні при тривалості впливу електродіалізу 20 хвилин.

Після очищення ультразвуком з робочою частотою 840 кГц, потужністю 91 Вт, інтенсивністю 0,7 Вт/см² та тривалістю 12 хвилин ступінь очищення води за фізико-хімічними показниками знаходиться в межах 55 – 79 %, а ступінь знезараження дорівнює 98%.

Після дії магнітного поля інтенсивністю магнітної індукції 75 мТл експозицією 10 хвилин відбулося зниження фізико-хімічного показника ХСК на 72 %. Ступінь очищення за іншими показниками знаходиться в межах 30–50 %, а ступінь знезараження мікроорганізмів становить 87 %.

Результат дії низькочастотного електромагнітного поля частотою 100 кГц, напругою 5 В впродовж 17 хвилин показав зменшення рівня органічних речовин на 60 %, мінеральних речовин – 73 %, ступінь знезараження складає 76 %.

Результати очищення надвисокочастотним випромінюванням з частотою 60 ГГц, довжиною хвилі 270 мм експозицією 24 хвилини свідчать про зниження завислих речовин, хлоридів і сульфатів в межах 72–80 %, ступінь знезараження становить 64 %.

Таким чином, використання фізико-хімічних способів очищення стічної води дозволяє отримати високий антимикробний ефект і значне зниження забруднювальних речовин, що сприяє поліпшенню санітарно епідеміологічних показників якості стічних вод.

Експериментально підтверджено, що серед усіх досліджених фізико-хімічних способів процес очищення та знезараження стічної води дріжджового виробництва найбільш ефективно пройшов при дії ультразвуку.

Наукова новизна роботи полягає у наступному. Вперше теоретично обґрунтовано та експериментально підібрано параметри дії електродіалізу, ультразвуку, змінного магнітного поля, низькочастотного електромагнітного поля та надвисокочастотного випромінювання. Встановлено зниження вмісту забруднювальних речовин та мікроорганізмів в стічних водах за допомогою фізико-хімічних способів до нормативних значень скиду. Отримали подальший розвиток знання щодо впливу електродіалізу, ультразвуку, змінного магнітного поля, низькочастотного електромагнітного поля та надвисокочастотного випромінювання на процес очищення стічних вод дріжджового виробництва в залежності від їх параметрів та тривалості дії.

Результати дослідження можуть бути використані для створення промислового технологічного процесу очищення стічних вод дріжджового виробництва.

Ключові слова: екологічна безпека, стічна вода, електродіаліз, ультразвук, магнітне поле, низькочастотне електромагнітне поле, надвисокочастотне випромінювання.

ANNOTATION

Poshtarenko AV Improving the process of wastewater treatment of yeast production. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a degree candidate of Technical Sciences in specialty 21.06.01 – Environmental Safety. – National Aviation University. – State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2021.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 21.06.01 – Ecological safety. – National Aviation University, Kyiv, 2021. The list of the basic ways of clearing of industrial drains of organic, mineral and biological pollution is defined. The advantages and disadvantages of these cleaning methods are established. The application of physicochemical technologies for wastewater treatment of yeast production in Ukraine and abroad is considered in detail, the characteristics of physicochemical methods, industry and conditions of their application are determined.

The prospects of using electro dialysis, ultrasound, magnetic field, low- and ultra-high-frequency radiation as methods of purification and disinfection of yeast production wastewater are noted. Physicochemical and microbiological analysis was used to study the physicochemical and microbiological composition of wastewater of 3 stages of yeast separation and general discharge wastewater (yeast plant of Kyiv region).

In order to obtain information about the course of the cleaning process, experimental studies were conducted at laboratory facilities, the results of which established the optimal parameters of the action of physical factors, in which there is an increase in the efficiency of the cleaning and disinfection process.

When using electro dialysis in wastewater, the pH level, the concentration of free chlorine increased, the color and oxidation decreased. The best disinfection of wastewater occurred in the anode zone with a duration of exposure to electro dialysis of 20 minutes.

After ultrasonic cleaning with an operating frequency of 840 kHz, a power of 91 W, an intensity of 0.7 W / cm² and a duration of 12 minutes. the degree of water purification by physicochemical parameters is in the range of 55 - 79%, and the degree of disinfection is 98%.

After exposure to a magnetic field with a magnetic induction intensity of 75 mTl exposure for 10 minutes there was a decrease in the physico-chemical index of COD by 72 %. The degree of purification by other indicators is in the range of 30 - 50%, and the degree of disinfection of microorganisms is 87 %.

The result of low-frequency radiation with a frequency of 100 kHz, a voltage amplitude of 5 V for 17 minutes showed a decrease in the level of organic matter by 60 %, mineral matter – 73 %, the degree of disinfection is 76 %.

The results of purification by ultrahigh-frequency radiation with a frequency of 60 GHz, a wavelength of 270 mm with an exposure of 24 minutes indicate a decrease

in suspended solids, chlorides and sulfates in the range of 72–80 %, the degree of disinfection is 64 %.

Thus, the use of physico-chemical methods of wastewater treatment allows to obtain a high antimicrobial effect and a significant reduction in pollutants, which contributes to the improvement of sanitary and epidemiological indicators of wastewater quality.

It has been experimentally confirmed that among all the studied physicochemical methods, the process of purification and disinfection of yeast wastewater was most effective under the action of ultrasound, in which the degree of disinfection from microorganisms is 98 % and purification from organic and mineral substances - up to 71 %.

The scientific novelty of the work is as follows. For the first time, the optimal parameters of electro dialysis, ultrasound, magnetic field, low-frequency and ultra-high-frequency radiation were theoretically substantiated and experimentally selected. The reduction of the content of pollutants and microorganisms in wastewater by physico-chemical methods to the normative level has been established.

Knowledge on the influence of electro dialysis, ultrasound, magnetic field, low-frequency and ultra-high-frequency radiation on the process of wastewater treatment of yeast production depending on their parameters and duration of action was further developed.

The result of the research can be used to create an industrial technological process for the purification of waste water from a drip water plant.

Key words: ecological safety, sewage, electro dialysis, ultrasound, magnetic field, low - frequency radiation, ultrahigh - frequency radiation.

Підп. до друку 19.02.2021. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 1,39. Обл.-вид. арк. 1,5.
Тираж 100 пр. Замовлення № 20-1.

Видавець і виготівник
Національний авіаційний університет
03680. Київ – 58, проспект Любомира Гузара, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002