

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



БЕРНАЦЬКА НАТАЛІЯ ЛЮБОМИРІВНА

УДК 66.084; 628.31; 658.265; 534.29

**ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕНЬ ДРІЖДЖОВМІСНИХ
СТІЧНИХ ВОД В УМОВАХ КАВІТАЦІЇ**

21.06.01 – Екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2017

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі загальної хімії Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Старчевський Володимир Людвикович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
Міністерство освіти і науки України,
завідувач кафедри загальної хімії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Адаменко Ярослав Олегович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу,
Міністерство освіти і науки України,
завідувач кафедри екології

кандидат технічних наук
Стокалюк Олег Володимирович,
Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності,
Державна служба України
з надзвичайних ситуацій,
начальник відділу заочного
та дистанційного навчання

Захист відбудеться «12» травня 2017 року о 14 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.22 при Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79057, м. Львів, вул. Ген. Чупринки, 130, аудиторія 105.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. Професорська, 1

Автореферат розіслано «10» квітня 2017 року

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент



Сабадаш В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ефективність технології очищення стічних вод перед потраплянням у водойми – один з основних чинників, що визначає рівень антропогенного навантаження на стан водного середовища. За часи незалежності України об'єми скидів стічної води без попереднього очищення збільшилися майже в 2 рази. При цьому посилилася тенденція зниження ефективності роботи очисних споруд, що пояснюється зношеністю обладнання та його низьким технологічним рівнем.

Одним з основних джерел забруднення водного середовища є підприємства харчової промисловості. Переважна більшість цих стічних вод скидається неочищеними у природні водойми, на поля фільтрації чи в каналізацію, створюючи відчутне екологічне навантаження на довкілля.

Необхідність пошуку нових технологій очищення стічних вод обґрунтовано низькою ефективністю існуючих очисних споруд. Використання класичної технології біологічного очищення пов'язано з високими енерговитратами, утворенням надлишкової біомаси, що спричиняє забивання фільтрів очисних установок і вимагає додаткових витрат на її утилізацію. Стічні води підприємств харчової промисловості є біологічно та хімічно забрудненими, тому під час скидання у відкриті водойми у них продовжується низка хімічних та біологічних перетворень, що шкідливо впливає на стан довкілля.

Як показує аналіз типових технологічних схем і відповідного обладнання, більшість процесів у харчовій промисловості є енерговитратними та потребують використання сучасних методів інтенсифікації технологічних процесів.

Альтернативою існуючим методам зниження величини забруднень стічних вод може стати застосування кавітаційних технологій. Екологічна безпечність, висока адаптивність до існуючих технологій та ефективність дає змогу застосовувати кавітаційні технології як основні, так і як допоміжні методи інтенсифікації процесів очищення стоків і суттєво зменшити техногенне забруднення гідросфери.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри загальної хімії Інституту хімії та хімічних технологій Національного університету “Львівська політехніка”: “Дослідження кінетики і механізму процесів окиснення і співолімеризації органічних речовин з метою одержання нових речовин для обробки металів, волокнистих матеріалів. Застосування енергії акустичної кавітації для інтенсифікації окиснювальних процесів”.

Дисертація виконана в межах держбюджетних тем ДБ/Аргон “Комплексні адсорбційно-ультразвукові технології для процесів водоочищення та водопідготовки” (№ держреєстрації 0111U001231) і ДБ/Кавітація “Застосування віброкавітації для інтенсифікації хіміко-технологічних процесів” (номер держреєстрації 0113U001369).

Мета і завдання досліджень: Метою дисертаційної роботи є підвищення екологічної безпеки підприємств харчової промисловості методом кавітаційної обробки для очищення дріжджовмісних стічних вод.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- виявити та проаналізувати основні джерела екологічної небезпеки навколишньому середовищу від дріжджовмісних стічних вод;
- оцінити ефективність застосування кавітації для зміни концентрації дріжджів, патогенних мікроорганізмів та органічних речовин у водних розчинах;
- виявити кінетичні закономірності зменшення величини хімічного та біологічного забруднення модельних розчинів та стічної води з підприємств харчової промисловості (дріжджзавод та пивоварня);
- удосконалити технології очищення стічних вод з різними типами забруднень з використанням кавітації.

Об'єкт дослідження: екологічна безпека стічних вод підприємств дріжджової промисловості.

Предмет досліджень: кавітаційні процеси одночасного очищення дріжджовмісних стічних вод від хімічного та біологічного забруднення.

Методи досліджень: Оцінювання впливу акустичної кавітації на біологічні і хімічні об'єкти у водному середовищі виконували в лабораторних умовах з використанням модельних сумішей та стічних вод дріжджової та пивоварної промисловості. Швидкість диспергування колоній мікроорганізмів та їх набрякання під час кавітації визначали методом світлорозсіювання, седиментації та ультрамікроскопії. Швидкість руйнування мікроорганізмів вивчали методами мікроскопії та мікробіологічними методами: вирощування колоній мікроорганізмів на поживних середовищах різного типу. Зміну концентрації органічних речовин в середовищі під час обробки ультразвуком визначали за показником хімічного споживання кисню (ХСК), а концентрацію йонів водню – із застосуванням рН метра.

Наукова новизна:

- вперше експериментально встановлено закономірності зміни концентрації колоній мікроорганізмів та окремих клітин мікроорганізмів в умовах кавітації та на їх основі запропоновано математичну модель фізико-хімічних процесів в цій системі, що дало змогу встановити оптимальні умови оброблюваного середовища;
- вперше експериментально визначено вплив аерації середовища газами різної природи (киснем та аргоном) на кількість клітин дріжджів та концентрацію окислювальних органічних речовин у водному середовищі, на основі чого вибрано окисник органічних і біологічних забруднень;
- уточнено хімізм процесу окиснення органічних речовин під дією ультразвуку і встановлено закономірності розпаду окисника (пероксиду водню), відновника (глюкоза) і їх сумішей у досліджуваних умовах, що є підставою для встановлення механізму дії кавітації;
- вперше встановлено, що органічні сполуки, які утворюються в процесі руйнування мікроорганізмів, сповільнюють швидкість окиснення органічних речовин у водному середовищі, в той час як окиснення речовин у воді відбувається з більшою швидкістю, ніж руйнування мікроорганізмів;
- показано, що процес окиснення органічних речовин та руйнування клітин мікроорганізмів під дією ультразвуку можна описати рівнянням другого порядку,

тоді як руйнування самих мікроорганізмів та органічних сполук окремо перебігає за рівнянням реакції 1-го порядку, на основі чого можна розраховувати технологічне обладнання.

Практичне значення одержаних результатів. Встановлено умови процесу ультразвукової обробки рідини, які дають змогу збільшити концентрацію клітин дріжджів і швидкість технологічного процесу переробки реагентів середовища в цільові продукти. Показано можливість ефективного руйнування біологічного та хімічного забруднення води із застосуванням енергії кавітації та експериментально встановлено оптимальні умови цього процесу. Показано, що ефективність віброкавітаційних пристроїв є вищою, ніж ультразвукових генераторів за нижчого енергоспоживання. Водночас хімічні та біологічні ефекти під час застосування віброкавітації аналогічні ультразвуковим. Показано ефективність застосування віброкавітації для очищення стічних вод, що дає можливість знизити енергозатратність процесу знезараження промислових стічних вод і знизити ризики техногенного забруднення водного басейну регіону.

Запропоновано технологічну схему із застосуванням вібраційного електромагнітного кавітатора для очищення виробничих стоків підприємств харчової промисловості.

Результати роботи передано ЗАТ «Івано-Франківський завод тонкого органічного синтезу» для промислового випробовування, а також впроваджено в Інституті біології тварин НАН України.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто опрацьовано літературні джерела, розроблено методологію досліджень, проведено лабораторні дослідження, систематизовано й узагальнено результати експериментів. Обговорення результатів здійснювалось разом з науковим керівником проф. Старчевським В.Л. та проф. **Кисленком В.М.** та д.т.н., доц. Шевчук Л.І.

Апробація роботи. Основні результати, отримані в дисертаційній роботі, доповідалась на конференціях: XI, XII, XIII, XIV Науковій конференції «Львівські хімічні читання» (м. Львів, 2007, 2009, 2011, 2013); 11th, 12th, 13th Meeting of the European Society Sonochemistry (La Grande-Motte, France, 2008, Chania, Crete, Greece, 2010, Lviv 2012); VI, VII, VIII, IX, XI Міжнародній конференції «Стратегія качества в промышленности и образовании» (м. Варна, Болгарія, 2010, 2011, 2012, 2013, 2015), IV Всеукраїнській конференції «Домбровські читання». (м. Львів, 2010), Asia-Oceania Sonochemical Society (AOSS) meeting (Melbourne, Australia, 2013).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць у наукових фахових виданнях України, в тому числі 3 – в журналах, що входять до міжнародних науково-метричних баз даних, 18 тез наукових конференцій різного рівня, в тому числі – 13 міжнародних.

Обсяг та структура дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, п'ять розділів, висновки, список використаної літератури (130 найменувань) та додатки. Дисертацію викладено на 167 сторінках друкованого тексту. Робота містить 10 таблиць та 66 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано доцільність та актуальність роботи, сформульовано мету, наукову новизну і практичну цінність роботи.

У **першому розділі** проаналізовано основні екологічні загрози стічних вод підприємств харчової промисловості та існуючі методи їх очищення, які, однак, не є достатньо ефективними, тому актуальним є пошук найбільш економічного та високоефективного способу їх очищення. В першому розділі узагальнено літературні дані щодо ефективності застосування кавітаційних технологій для інтенсифікації процесів зниження величини органічного та біологічного забруднення стічних вод. Сформульовано задачі досліджень.

У **другому розділі** описано методи виконання досліджень, методики приготування модельних сумішей. Як модель органічних забруднень води вибрано розчини глюкози, яка є одним із головних продуктів руйнування мікроорганізмів. Для вивчення поведінки мікроорганізмів в УЗ полі використовували дисперсії сушених хлібопекарських дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* різних концентрацій. Для перевірки правильності вибраних моделей використовували стічні води з підприємств харчової промисловості (дріжджзавод та пивоварня), а також вода з природних водойм. Через неможливість індивідуального визначення всіх компонентів стічної води в практиці екологічного контролю використовують сумарне оцінювання їх вмісту за кількістю кисню, який витрачається на окиснення з використанням дихромату калію, визначаючи хімічне споживання кисню (ХСК). Описано методику визначення ХСК та мікробного числа (МЧ). Наведено схеми експериментальних установок.

У **третьому розділі** подано результати досліджень закономірностей та особливостей дезагрегації колоній та руйнування мікроорганізмів.

На першому етапі досліджень з'ясовано основні закономірності процесів, які відбуваються у воді під дією ультразвуку.

Під час проведення досліджень систем, що містять одночасно органічні та біологічні забруднення, вміст мікроорганізмів під час визначення вмісту органічної складової методом ХСК може давати похибку, оскільки наявні мікроорганізми у воді будуть також окислюватись дихроматом. В літературі не було описано залежності ХСК від концентрації мікроорганізмів, саме тому нами досліджено залежність ХСК від мікробного числа, яке пропорційне концентрації мікроорганізмів в одиниці об'єму системи. На рис. 1 показано залежність ХСК від мікробного числа для дисперсії дріжджів.

З рис. 1 видно, що і з збільшенням вмісту мікроорганізмів в системі значення ХСК зростає прямо пропорційно концентрації мікроорганізмів. Це дає змогу оцінювати значення ХСК, яке визначається концентрацією мікроорганізмів певної природи в присутності органічних речовин в воді. Встановлено, що достатньо висока концентрація мікроорганізмів ($10^5 - 10^6$ кл/см³) у воді спричиняє порівняно невелике (10-100 мг/см³) значення хімічного споживання кисню. Отже, можна вважати, що присутність мікроорганізмів у реальних водах із незначним вмістом МЧ (500 – 10000) суттєво не впливає на точність аналізу з визначення ХСК і

внеском біологічного забруднення у величину ХСК у реальних об'єктах можна знехтувати.

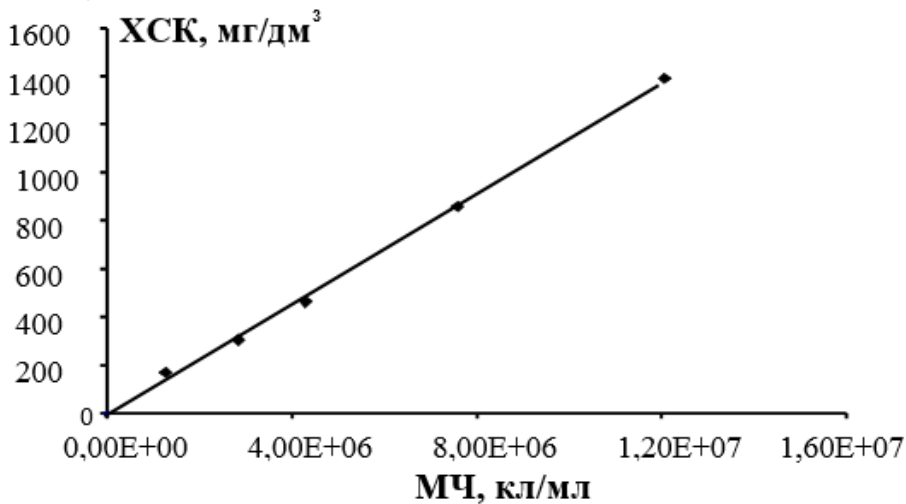


Рис. 1. Залежність ХСК від мікробного числа дисперсій мікроорганізмів з концентраціями дріжджів 0,8-20 г/л

робки ультразвуком, коли спостерігається руйнування колоній, а руйнування окремих клітин ще не відіграє значної ролі, спостерігається швидкий розвиток біомаси (рис. 2).

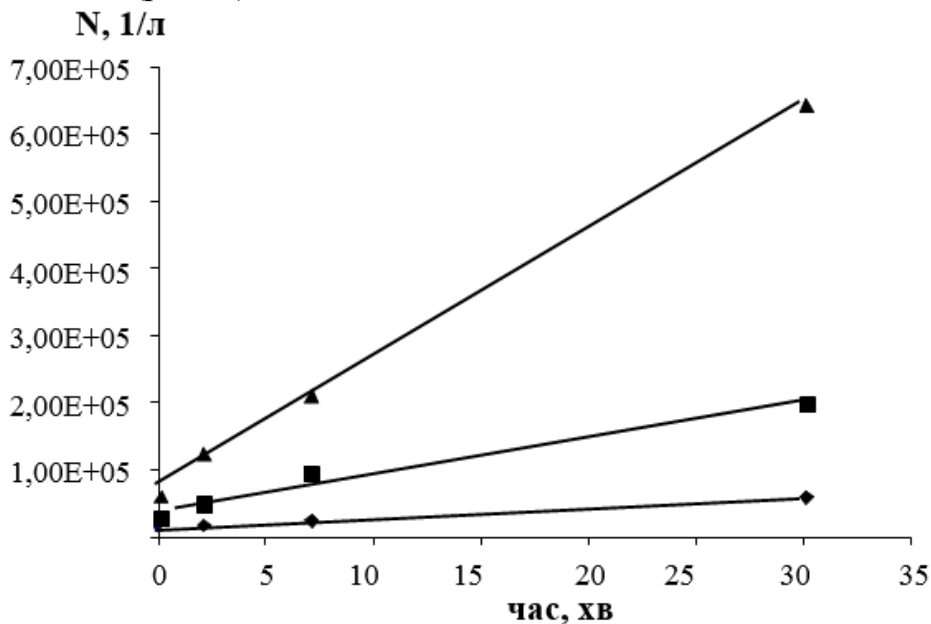


Рис. 2. Залежність числа колоній мікроорганізмів від тривалості обробки ультразвуком за початкової концентрації мікроорганізмів 8 (1), 4 (2) і 1,6 г/л (3)

Кількість клітин в дисперсії, не обробленій ультразвуком, за період часу 60 хв. змінюється мало, оскільки в колоніях є мало клітин, які знаходяться в зоні контакту з середовищем, а гідрофобні зони між клітинами перешкоджають проникненню води та поживних речовин в зону росту. Під час короткотермінової об-

Для опису руйнування колоній мікроорганізмів запропоновано кінетичну модель, яка враховує вплив кількості мікроорганізмів в колонії на площу поверхні клітин, яка пов'язує клітини між собою та виведено рівняння зміни кількості агрегатів в часі:

$$\ln\left[\frac{(N_1 - N)}{(N_1 - N_{in})}\right] = -kt \quad (1)$$

де N_1 – загальна кількість мікроорганізмів в агрегаті або окремих клітин в одиниці об'єму системи 1/л; N – число агрегатів клітин мікроорганізмів; k – константа швидкості руйнування колоній мікроорганізмів; t – час, хв.

Експериментальні дані в координатах рівняння (1) збігаються з теоретичними (рис. 3), що підтверджує адекватність запропонованої моделі і дає змогу розрахувати константи процесу дезагрегації.

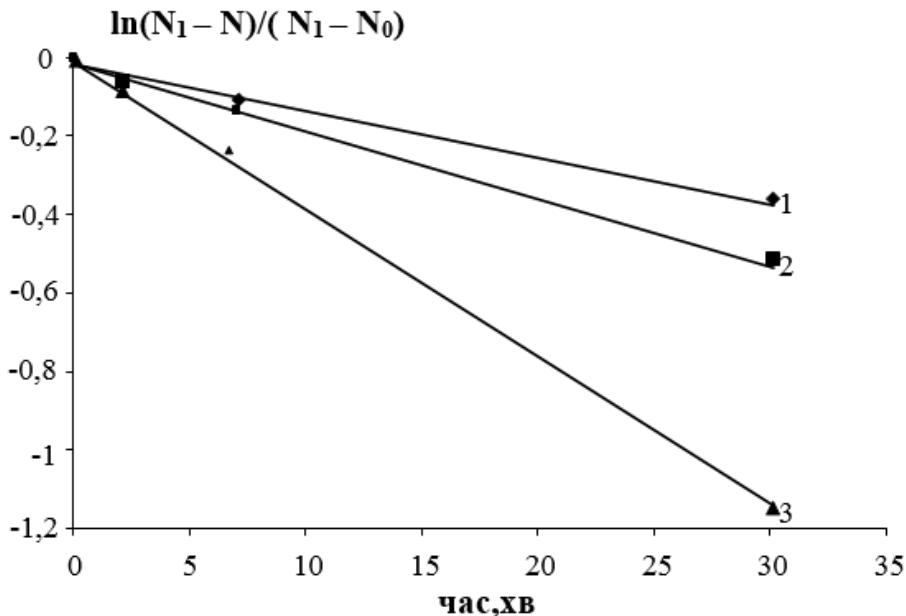


Рис. 3. Напівлогарифмічна анаморфозна залежність зміни концентрації колоній в системі від тривалості обробки ультразвуком за початкової концентрації мікроорганізмів 8 (1), 4 (2) і 1,6 г/л (3)

Інактивація мікроорганізмів перш за все пов'язана з фізичним та механічним ефектом кавітації. Під час розтріскування кавітаційної бульбашки утворюється енергія, достатня для послаблення чи руйнування клітин; хімічним ефектом кавітації у водній системі є формування радикалів $\cdot\text{H}$ та $\cdot\text{OH}$, а у присутності кисню – пероксирадикалів $\text{HO}\cdot_2$, які перш за все атакують білкові складові стінок бактеріальних клітин і

послаблюють її для дифузії складових середовища в клітину і розчинних органічних речовин назовні.

Мікрофотографії дисперсій мікроорганізмів показують, що дисперсія сухих *Saccharomyces cerevisiae* містила великі агломерати клітин мікроорганізмів (рис. 4a). Обробка агрегатів з допомогою ультразвуку призводить до їхньої деструкції з утворенням окремих клітин та агломератів невеликого розміру (рис. 4b). Середній розмір агрегатів клітин зменшується в часі і досягає мінімальної щільності за час до 30 хв. Надалі спостерігається інтенсивна деструкція мікроорганізмів з утворенням набряклих клітинних мембран та вивільненням плазми в оточуюче середовище (рис. 4c).

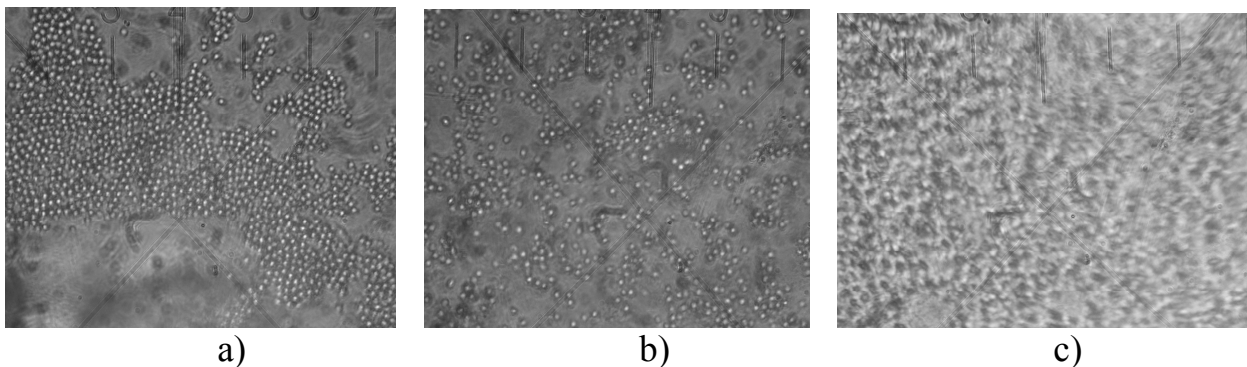


Рис. 4. Мікрофотографії дисперсій *Saccharomyces cerevisiae* (a) та після їхньої обробки з допомогою ультразвуку впродовж 30 (b) та 60 хв (c).

Четвертий розділ присвячено дослідженням кінетичних закономірностей руйнування мікроорганізмів та окиснення органічних продуктів у системах, що містять біологічне (дріжджі) та органічне (глюкоза) забруднення. Ступінь руйнування органічної складової модельної суміші визначали за показником ХСК:

$$E, \% = [(XCK_0 - XCK) / XCK_0] \cdot 100\%, \quad (2)$$

де XCK_0 – початкове хімічне споживання кисню досліджуваного зразка, мг/дм³.

Як видно з табл. 1, під час обробки ультразвуком впродовж години в атмосфері кисню, ступінь окиснення органічної складової становить 61% за концентрації дріжджів 40 г/дм³. З одержаних результатів дослідження впливу ультразвуку на зменшення значення ХСК нами встановлено, що із збільшенням концентрації дріжджів в системі ступінь перетворення мікроорганізмів у водорозчинні речовини та окиснення останніх зростає. Низький ступінь руйнування мікроорганізмів у воді під дією тільки кисню (5%) пов'язано з тим, що клітини дріжджів є аеробними мікроорганізмами і під час подавання кисню спостерігається їх розмноження та часткове нагромадження. Під час безперервного барботування кисню загальна біомаса зростає, поки клітини мають поживні речовини у воді, а коли всі необхідні складові для забезпечення існування мікроорганізмів розклались до CO₂ і H₂O, тоді кількість клітин зменшується і відбувається зниження показника хімічного споживання кисню.

Таблиця 1

Ефективність зменшення ХСК та константи швидкостей окиснення органічних забруднень води модельних сумішей за T=298K, p=1*10⁵ Па, частоти ультразвуку 22кГц та різних умов експериментів: 1 – O₂; 2 – УЗ; 3 – УЗ+O₂

Концентр. др., г/л	O ₂		УЗ		УЗ+O ₂	
	k, л/(мг·с)	E, %	k, л/(мг·с)	E, %	k, л/(мг·с)	E, %
1,6	(3,2±0,2)·10 ⁻⁸	2	(6,6±0,16)·10 ⁻⁸	4	(1,12±0,08)·10 ⁻⁷	7
8	(3,94±0,08)·10 ⁻⁸	5	(6,76±0,07)·10 ⁻⁸	7	(1,44±0,08)·10 ⁻⁷	14
40	(4,73±0,06)·10 ⁻⁸	20	(8,36±0,06)·10 ⁻⁸	31	(1,65±0,04)·10 ⁻⁷	61

Ефективність застосування тільки ультразвуку пов'язано з тим, що в кавітаційній бульбашці відбувається піролітичний розклад води до радикалів Н[•] і [•]ОН, тоді як за додаткового барботування кисню [•]ОН радикали перетворюються в радикали НО[•]₂, які значно прискорюють процес зменшення величини ХСК і покращують процес руйнування органічних сполук.

За впливу кавітації в присутності кисню зміна ХСК під час окиснення глюкози перебігає за реакцією 1-го порядку в діапазоні зміни її концентрацій 1,6-160 г/л (рис. 5), причому константа швидкості практично не залежить від початкової концентрації глюкози.

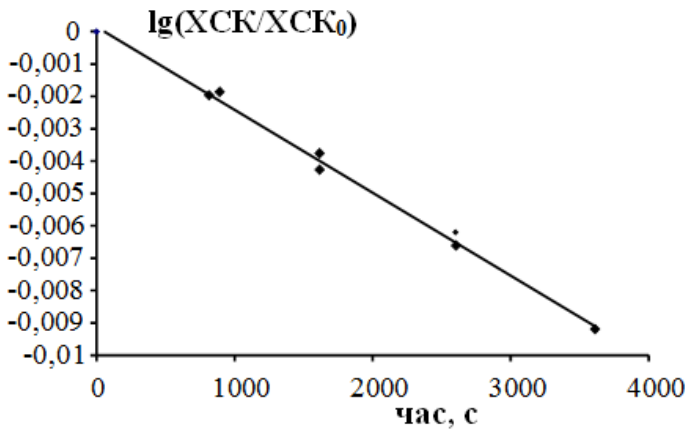


Рис. 5. Напівлогарифмічна залежність ХСК розчину глюкози в часі. Початкові концентрації глюкози 1.6-160 г/дм³.

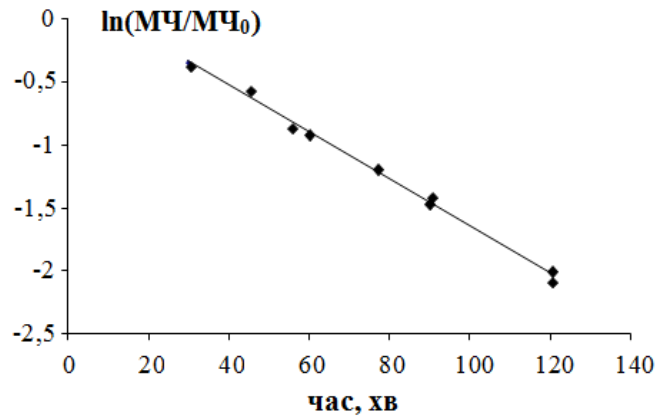


Рис. 6. Напівлогарифмічна залежність МЧ від часу обробки ультразвуком для модельної суміші при зміні концентрації дріжджів [1,6 - 8 г/л].

Дослідження кінетики руйнування мікроорганізмів з допомогою ультразвуку показало, що процес відбувається за рівнянням реакції 1-го порядку, що збігається з літературними даними (рис. 6).

Дезагрегація колоній мікроорганізмів призводить до збільшення гетерогенної поверхні протягом 5-10 хв., а далі мембрани мікроорганізмів руйнуються з виділенням водорозчинних органічних сполук, які окислюються в гомогенному середовищі. Під час дослідження кінетичних закономірностей впливу ультразвуку на розчин глюкози та дріжджів встановлено, що процес відбувається за реакцією 2-го порядку (рис. 7).

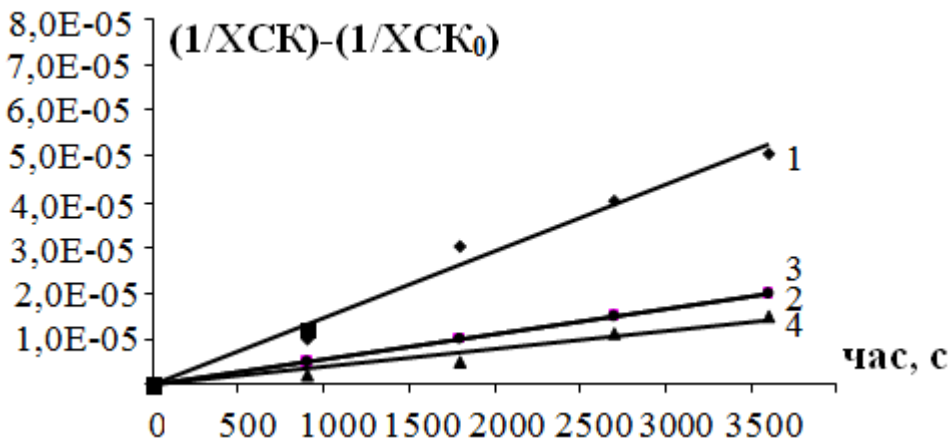


Рис. 7. Зміна ХСК модельної суміші з концентраціями глюкози та дріжджів (1,6 г/дм³, 1,6 г/дм³) в координатах рівняння 2-го порядку за різних умов експерименту: 1 – вплив ультразвуку в присутності кисню; 2 – вплив ультразвуку; 3 – вплив H₂O₂; 4 – вплив кисню

Окиснення на першому етапі відбувається тільки на поверхні мембрани мікроорганізмів.

Окиснення глюкози відбувається у гомогенній системі, а окиснення дріжджів – у гетерогенній системі. Існування гетерогенної фази, очевидно веде до утруднення дифузії кисню через мембрани мікроорганізмів в клітини з високою концентрацією органічних речовин, які легко окиснюються. Отже, окиснення на першому етапі відбувається тільки на поверхні мембрани мікроорганізмів.

Концентрація водорозчинних органічних сполук у середовищі не є сталою, а спочатку значно зростає за рахунок руйнування мікроорганізмів і в цей же час

Окиснення глюкози відбувається у гомогенній системі, а окиснення дріжджів – у гетерогенній системі. Існування гетерогенної фази, очевидно веде до утруднення дифузії кисню через мембрани мікроорганізмів в клітини з високою концентрацією органічних речовин, які легко окиснюються. Отже, окиснення на першому етапі відбувається тільки на поверхні мембрани мікроорганізмів.

зменшується за рахунок окиснення водорозчинних речовин, присутніх на початку процесу обробки системи ультразвуком. У той же час відбувається окиснення органічних речовин киснем, що зменшує їх концентрацію в системі.

У такій системі, на відміну від систем, що містять тільки органічне забруднення, окиснення органічних речовин можна описати кінетичним рівнянням другого порядку (рис. 5). В цих випадках спостерігається синергічний ефект дії кавітації та газу: $k_{\text{газу}+\text{УЗ}} > k_{\text{газу}} + k_{\text{УЗ}}$, у випадку додавання H_2O_2 він не прослідковується.

Таблиця 2.

Ефективність зменшення ХСК та константи швидкостей окиснення органічних забруднень води модельних сумішей за $T=298\text{K}$, $p=1\cdot 10^5$ Па, $\text{УЗ}=22\text{кГц}$ та різних умовах експериментів: 1 – $\text{УЗ}+\text{O}_2$; 2 – O_2 ; 3- УЗ ; 4 – $\text{УЗ}+\text{H}_2\text{O}_2$; 5 – H_2O_2

Кон-центр. др., г/л	1		2		3		4		5	
	k, л/(мг·с)	E, %	k, л/(мг·с)	E, %	k, л/(мг·с)	E, %	k, л/(мг·с)	E, %	k, л/(мг·с)	E, %
1,6	$1,13\cdot 10^{-7}$	7	$3,23\cdot 10^{-8}$	2	$6,59\cdot 10^{-8}$	4	$1,04\cdot 10^{-7}$	6	$4,02\cdot 10^{-8}$	2
8	$1,44\cdot 10^{-7}$	14	$4,95\cdot 10^{-8}$	5	$6,76\cdot 10^{-8}$	7	$1,41\cdot 10^{-7}$	12	$5,35\cdot 10^{-8}$	5
40	$2,55\cdot 10^{-7}$	61	$4,72\cdot 10^{-8}$	20	$8,36\cdot 10^{-8}$	31	$1,92\cdot 10^{-7}$	50	$5,63\cdot 10^{-8}$	21

Як видно з табл. 2, під час обробки ультразвуком в атмосфері кисню ступінь окиснення органічної складової становить 39%. З одержаних результатів дослідження впливу ультразвуку на зменшення значення ХСК нами встановлено, що із збільшенням значення ХСК_0 константа швидкості процесу зростає.

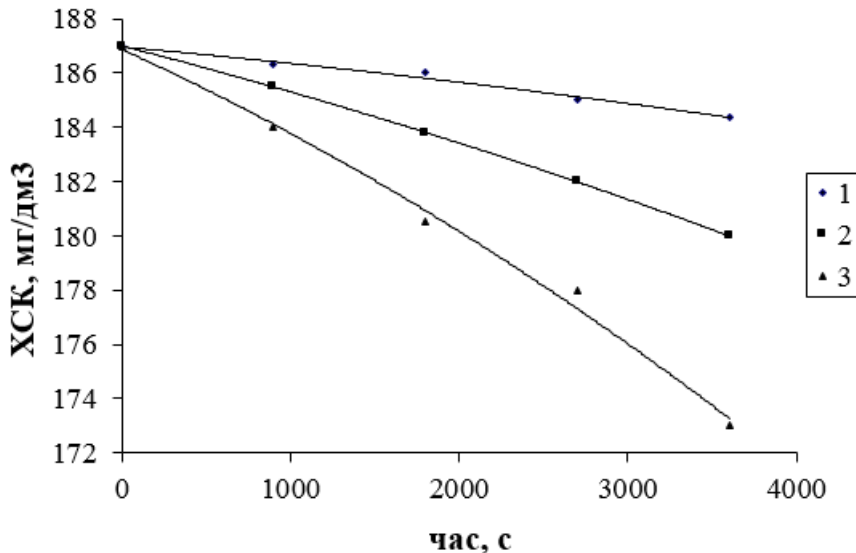


Рис. 8. Залежність ХСК від часу під час обробки ультразвуком стічної води дріжджзаводу за $T = 298\text{ K}$ і $p = 1\cdot 10^5$ Па, $\text{ХСК}_0=187\text{ мг/дм}^3$ та різних умов експерименту: 1 – O_2 ; 2 – УЗ ; 3 – $\text{УЗ}+\text{O}_2$

Для перевірки правильності запропонованих нами моделей та кінетичних рівнянь досліджено вплив ультразвуку на стічну воду ЗАТ «Ензим».

Як видно з рис. 8, під час обробки ультразвуком швидкість зменшення ХСК води значно більша, ніж її аерація киснем. У той же час одночасна обробка води ультразвуком під час її аерації киснем збільшує швидкість процесу окиснення органічних сполук у

воді. Проведення процесу за даних умов дає змогу зменшити ХСК води до прийнятих норм для води. Швидкість зменшення ХСК води значно більша, ніж її аерація киснем.

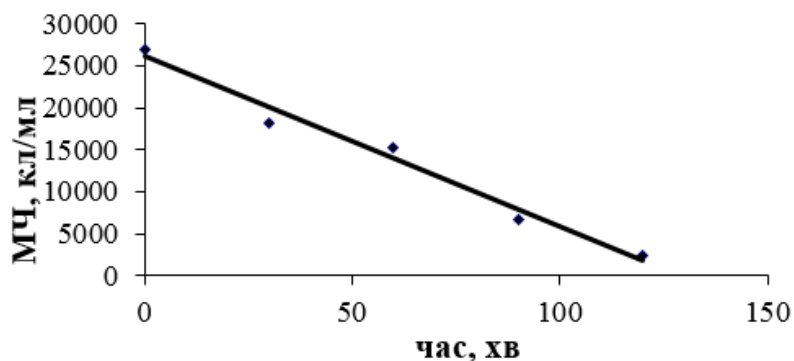


Рис. 9. Зміна в часі мікробного числа стічної води дріжджзаводу за $T=298\text{K}$. $p=1\cdot 10^5$ Па, $[MЧ_0]=27000$ кл/мл під час обробки ультразвуком та аерації киснем.

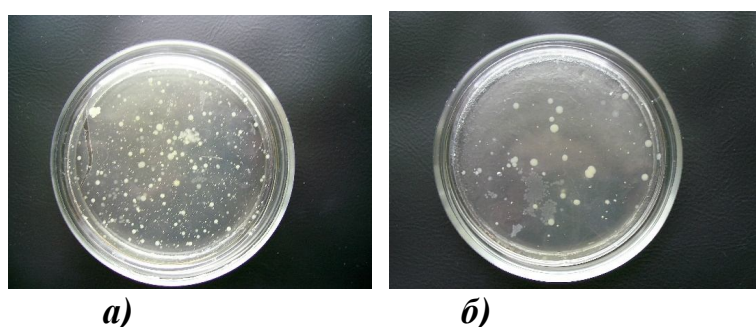


Рис.10. Мікрофотографії стічної води дріжджзаводу: а) до обробки ультразвуком і б) після обробки ультразвуком впродовж 60 хв.

$$(1/XСК) - (1/XСК_0)$$

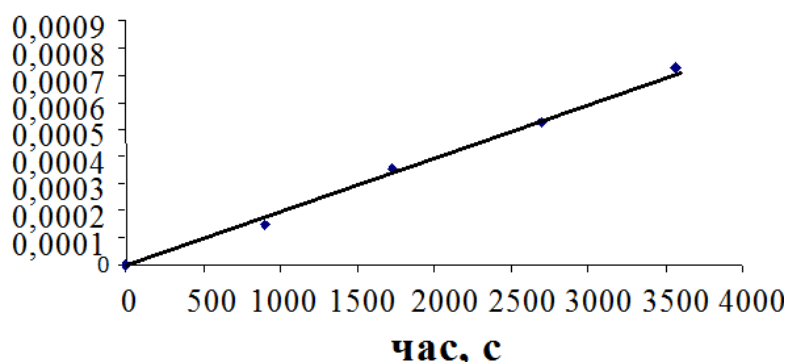


Рис. 11. Залежність XСК стічної води дріжджзаводу від тривалості обробки ультразвуком в координатах рівняння 2-го порядку.

Оскільки застосування УЗ кавітації в процесах очищення є дорогавартісним, нами виконано порівняння ефективності застосування розробленого на кафедрі загальної хімії віброкавітатора. З отриманих результатів видно (рис. 12 а, б, в), що

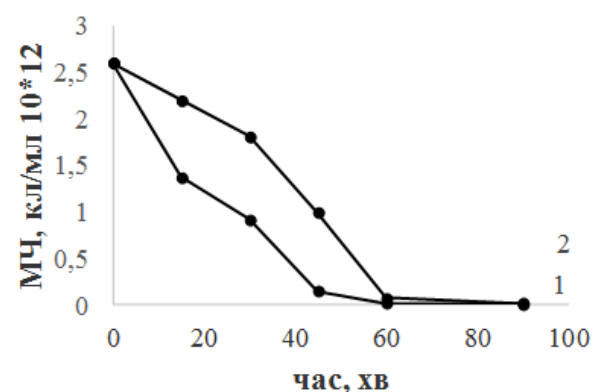
Під час обробки ультразвуком у присутності кисню відбувається значне зменшення мікробного числа (рис. 9) вже на перших хвиликах. Під час довготривалої обробки води ультразвуком з одночасною аерацією її киснем ступінь очищення води від біологічного забруднення може досягати 91% (рис. 9). Це є значно вище, ніж вимагають нормативи для деяких видів мікроорганізмів.

Значне зменшення мікробного числа підтверджується результатами мікрофотографічних експериментів (рис. 10). З мікрофотографій видно, що під час обробки забрудненої води значно зменшується кількість висіятих колоній мікроорганізмів.

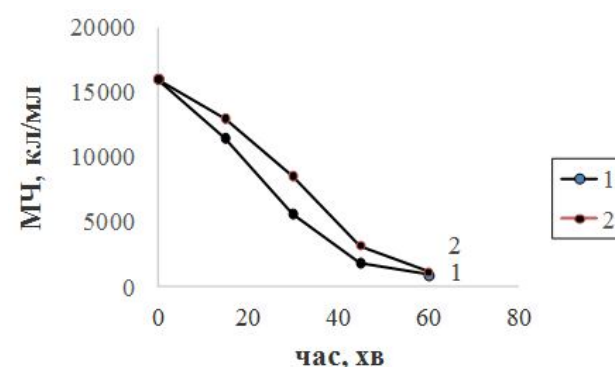
Як видно з рис. 11 зміна XСК води в цьому випадку описується рівнянням реакції 2-го порядку, як і у випадку обробки ультразвуком раніше досліджених нами модельних дисперсій дріжджів у водному розчині глюкози, причому в цьому випадку також спостерігається синергічний ефект дії кисню та ультразвукової кавітації.

Зменшення величини хімічного споживання кисню забрудненої води добре описується кінетичними рівняннями другого порядку.

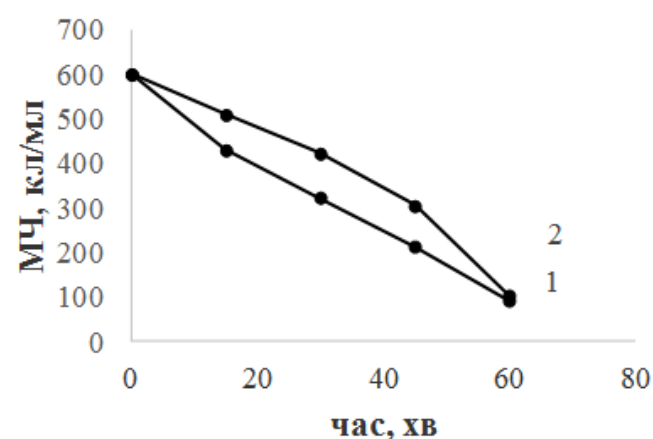
зменшення МЧ стічних вод пивоварні, дріжджового виробництва, дріжджових лізатів задовільно описується рівнянням реакції першого порядку як і у випадку модельних сумішей і відрізняється тільки константами розкладу (рис. 12, табл. 3).



а)



б)



в)

Рис. 12. (а, б, в) Кінетичні криві зміни МЧ дріжджових розчинів, отриманих з чистої культури а), стоків дріжджзаводу б) і пивоварні в) підчас застосування віброкавітації (1) та підчас обробки ультразвуком (2), віднесені на 100 Вт електричної потужності. Температура 20⁰С, частота 37 Гц.

Таблиця 3

Константи розкладу клітин дріжджів у розчинах отриманих чистої культури, стоків дріжджзаводу і пивоварні при застосуванні віброкавітації та при обробці ультразвуком, віднесені на 100 Вт електричної потужності. Температура 20⁰С, частота 37 Гц.

МЧ, кл/мл	Віброкавітація	УЗ кавітація
600	0,0342	0,0343
16000	0,0594	0,0563
2,6*10 ¹²	0,0878	0,0819

На рис. 12 (а, б, в) показано, що застосування віброкавітаційного пристрою дає аналогічний ефект як і при УЗ кавітації. Але якщо проаналізувати затрати електричної енергії на створення процесу кавітації, то УЗ генератор споживає 1,4 кВт, а випромінює тільки 100 Вт, що пов'язано із втратами енергії підчас перетворення електричної енергії в магнітне поле, а його – у механічні коливання магнітостріктора. Віброкавітатор споживає 800 Вт і випромінює також близько

800 Вт (к.к.д. приблизно 98%). Тому економічно доцільно для збурення кавітації використовувати віброрезонансні низькочастотні кавітатори.

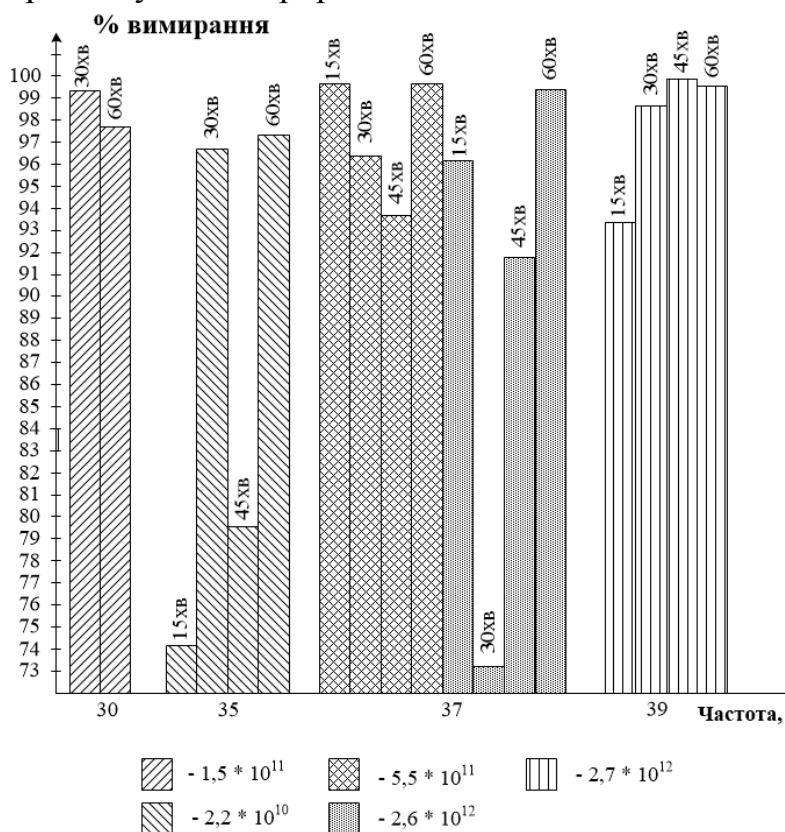
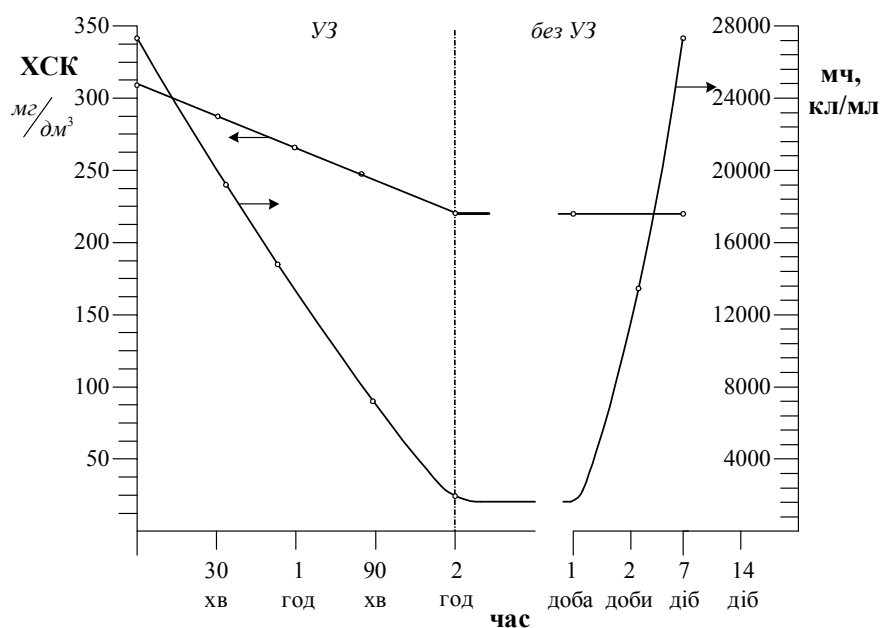


Рис. 13. Залежність ступеня відмирання клітин дріжджів від частоти коливань дек-збурювачів кавітації та початкової концентрації клітин мікроорганізмів.

збурювачів кавітації і видно, що найбільшого ефекту досягнуто за частоти 37 Гц. Ця частота є резонансною, за якої досягається максимальний результат за мінімальної витрати енергії, що потрібна для збурення кавітації, тобто частота коливань дек кратна або рівна частоті коливань зародків кавітації.

Кавітаційна обробка води з природної водойми, що містить органічні та біологічні забруднення, показала, що після двох годин обробки ультразвуком ступінь перетворення органічної складової становила 32%, а біологічної – майже 90%. Після припинення дії ультразвуку воду залишали у відкритій системі і спостерігали за значеннями ХСК і МЧ протягом двох тижнів (рис. 14).

Ефективність кавітаційної обробки рідин суттєво залежить не тільки від фізичних характеристик середовища (температури, тиску, в'язкості, густини, природи барботованого газу), але й від частоти коливання дек віброка-вітатора, яка є визна-чальною. Оскільки всі вище перелічені характеристики стічних вод пивоварні, дріжджового виробництва (ЗАТ «Ензим»), дріжджових лізатів знаходяться в одних межах і відрізняються тільки вмістом живих клітин і органічних речовин, то для встановлення оптимальних умов обробки оцінено тільки вплив частоти. На рис. 13 наведено залежність ступеня відмирання клітин дріжджів від частоти коливань дек-



Як видно з рис. 14, впродовж двотижневого зберігання значення ХСК води практично не змінюється, а мікробне число починає зростати, починаючи з другої доби зберігання і досягає початкового значення на кінець 7 дня, тобто спостерігається пост-ефект дії акустичної кавітації.

Рис. 14. Залежність зміни ХСК та МЧ стічної води пивоварні підчас обробки ультразвуком та її зберіганні.

У **п'ятому** розділі на основі отриманих у попередніх розділах результатів застосування кавітаційних технологій в процесах очищення дріжджовмісних стічних вод запропоновано метод очищення стічних вод харчових підприємств, в основі якого лежить віброкавітаційна обробка води (рис. 15).

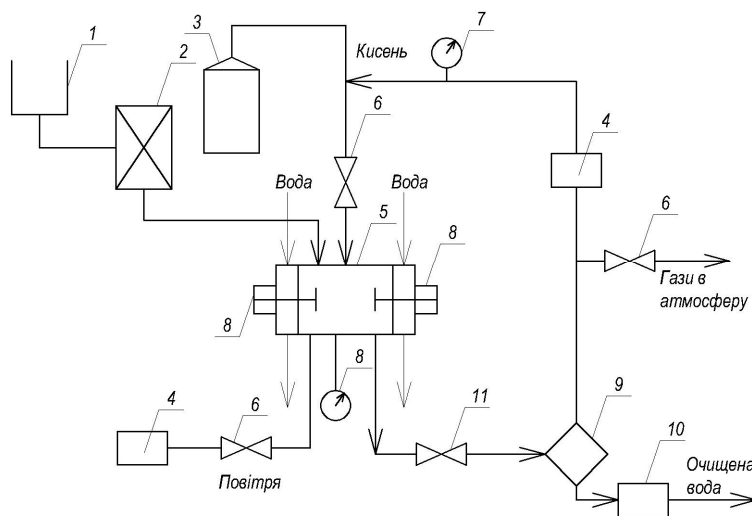


Рис. 15. Принципова технологічна схема дезактивації дріжджових стоків: 1 – ємність для води, 2 – адсорбер, 3 – кисневий балон, 4 – компресор, 5 – вібраційний електромагнітний кавітатор, 6 – регулювальний вентиль, 7 – манометр, 8 – електродвигун, 9 – сепаратор, 10 – ємність для очищеної води, 11 – дросель.

сформованого кавітаційного поля.

Для підвищення повноти видалення органічних сполук додатково вводяться гази – кисень або повітря, які у даному випадку відіграють роль додаткових центрів кавітації, що сприяють утворенню нових бульбашок, понижуючи міцність міжмолекулярних (водневих) зв'язків води, що стає причиною появи мікронадривів та порушення її суцільності. При цьому зменшуються затрати енергії на формування в рідині парогазової фази, яка передусе самозародженню кавітації. Витрата газу підбирається так, щоб компенсувати дегазацію оброблюваної рідини, забезпечити стабільну інтенсивність

Першим етапом є механічне очищення від крупних агломератів дріжджових клітин (якщо це необхідно), яке передбачає очищення на сорбентах, що відбувається в адсорбері 2, в який вода подається з ємності 1. Другим етапом є фізико-хімічне очищення. На лінії подачі стічної води після адсорбційного очищення розміщено штуцер подачі газів (кисню або повітря) які подаються з балона 3 або компресором 4 відповідно, після якого вода надходить у вібраційний електромагнітний кавітатор резонансної дії 5, де очищення відбувається в неперервному режимі під час інтенсивної подачі в нього газу для інтенсифікації кавітаційної обробки. Продуктивність кавітаційної обробки становить $5 \text{ м}^3/\text{год.}$ за питомих енергозатрат $0,8 \text{ кВт/м}^3$. У залежності від виду стоків, для регулювання тиску системи в апараті 5 вмонтовано регулювальні вентилі 6 і манометри 7. Для запобігання перегріву електродвигунів 8 в кожух реактора передбачено можливість подачі води.

Воду після віброкавітаційного очищення подають в сепаратор 9 через дросель 11, де відбувається розділення очищеної води від розчинених газів. Рециркуляцію газу виконують компресором 4, або скидають в атмосферу. Очищену воду подають у ємність очищеної води 10 для подальшого її цільового використання або скиду в каналізацію.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи розв'язано актуальне науково-практичне завдання зниження рівня забруднення дріжджовмісних стічних вод підприємств харчової промисловості з допомогою кавітаційних технологій, що підвищує рівень екологічної безпеки підприємства.

1. Виконано аналіз сучасного стану і проблем техногенного забруднення довкілля стічними водами, що містять дріжджі та запропоновано основи технології кавітаційного знезараження біологічних та окиснення органічних забруднень стічних вод з метою зменшення викидів у навколишнє середовище.

2. Експериментально доведено, що на першому етапі обробки дисперсії мікроорганізмів ультразвуком відбувається дезагрегація колоній дріжджів і зростання кількості клітин в одиниці об'єму суміші, яку можна описати рівнянням першого порядку. На другому етапі обробки дисперсії мікроорганізмів ультразвуком відбувається руйнування клітин, що описується рівнянням першого порядку, з виділенням органічних речовин, концентрація яких зростає пропорційно ступеню декструкції клітин в системі. Визначено константи швидкості дезагрегації дріжджових клітин та розраховано константи руйнування клітин мікроорганізмів у даній системі.

3. Визначено константи швидкості інактивації мікроорганізмів та константи швидкості окиснення органічних речовин в умовах кавітації і показано, що застосування ультразвуку збільшує швидкості інактивації та окиснення на 15-40% в залежності від умов проведення процесу, причому спостерігається синергічний ефект дії ультразвуку та газу.

4. Експериментально встановлено, що глюкоза, як один з продуктів руйнування дріжджів, інгібує радикально-ланцюгове окиснення органічних сполук, які

виділяються під час руйнування мікроорганізмів, та визначено ефективні константи інгібування цього процесу.

5. Кінетичні закономірності та особливості дії ультразвуку на модельні суміші (порядки реакції, синергичний ефект) спостерігаються і на промислових стічних водах, що містять дріжджі.

6. Вперше показано, що після ультразвукової обробки забрудненої води спостерігається пост-ефект дії акустичної кавітації, який полягає в зменшенні кількості мікроорганізмів в одиниці об'єму та ХСК. В обробленій ультразвуком воді ріст мікроорганізмів починається тільки через 24 години, тоді як під час фотохімічного знезараження ріст мікроорганізмів спостерігався уже через 2 год.

7. Досліджено застосування вібраційного електромагнітного кавітатора для очищення дріжджовмісних стічних вод з різною концентрацією біологічного забруднення. Встановлено оптимальну частоту (37 Гц) проведення процесу. Виконано техніко-економічне обґрунтування та розраховано еколого-економічну ефективність від впровадження технології віброкавітаційного очищення виробничих стоків підприємств харчової промисловості.

8. Запропоновано технологічну схему для очищення виробничих стоків підприємств харчової промисловості, що містить вібраційний електромагнітний кавітатор. Результати роботи апробовано в лабораторії ПАТ «Завод тонкого органічного синтезу «Барва» (м. Івано-Франківськ) та впроваджено в Інституті біології тварин НАН України (м. Львів), що підтверджується актами випробувань та впровадження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, які входять до наукометричної бази даних Scopus

1. Старчевский В.Л. Кинетика изменения химических и бактериальных загрязнений воды, содержащей клетки дрожжей / В.Л. Старчевский, В.М. Кисленко, Н.Л. Максимив, И.З. Коваль // Химия и технология воды. – 2009. – Т.31. №4. – С. 469-477.
2. Kondratovych O. Whey disinfection and its properties changed under ultrasonic treatment / O. Kondratovych, I. Koval, V. Kislenko, L. Shevchyk, L. Predzumirska, N. Maksymiv // Chemistry and Chemical Technology. – 2013 –Vol. 7. – №2. – | С. 185-190.
3. Бернацька Н.Л. Встановлення оптимальних умов проведення процесу очищення води за допомогою ультразвуку / Н.Л. Бернацька // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2015. – 4 – (10) – 76 – С. 8-13

Статті у наукових фахових виданнях України:

4. Максимів Н.Л. Особливості окислювальних процесів при кавітаційному очищенні води від хімічних та біологічних забруднень / Н.Л. Максимів, В.Л. Старчевський, І.З. Коваль, Т.С. Фалик // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Хімія, технологія речовин та їх застосування”. – 2007. – С. 270-274.
5. Кисленко В.М. Математична модель залежності біомаси та величини хімічного споживання кисню від кількості мікроорганізмів / В.М. Кисленко, Н.Л. Максимів

- // Вісник Національного лісотехнічного університету. – 2007. – вип. 17.7. – С. 284-289.
6. Старчевський В.Л. Вплив співвідношення концентрацій органічного і бактеріального забруднення води на зміну величини хімічного споживання кисню / В.Л. Старчевський, Н.Л. Максимів // Вопросы химии и химической технологии. – 2008. – №6. – С. 177-179
 7. Максимів Н.Л. Ефективність застосування ультразвуку для очищення води від органічних і бактеріальних забруднень / Н.Л. Максимів, В.Л. Старчевський // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2008. – Вип. 32. – Харків. – С.102-108.
 8. Старчевський В.Л. Зміна величини хімічного споживання кисню в процесі очищення води від бактеріального забруднення / В.Л. Старчевський, Н.Л. Максимів // Вісник Національного лісотехнічного університету. – 2008. – вип. 18.2. – С. 91-95.
 9. Максимів Н.Л. Руйнування бактеріальних клітин у водній дисперсії під час ультразвукової обробки / Н.Л. Максимів, В.Л. Старчевський // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2009. – Вип. 21. – Харків. – С.64-68
 10. Максимів Н.Л. Вплив концентрації бактеріального забруднення води на величину хімічного споживання кисню / Н.Л. Максимів, В.Л. Старчевський // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Хімія, технологія речовин та їх застосування”. – 2008. – №609. – С. 267-271
 11. Старчевський В.Л. Руйнування бактеріальних агломератів і водорозчинних продуктів їх розпаду за допомогою ультразвуку / В.Л. Старчевський, В.М. Кисленко, Н.Л. Максимів // Вопросы химии и химической технологии. – 2009. - №5. – С.125-129
 12. Максимів Н.Л. Руйнування та окиснення дріжджів у водному розчині глюкози з допомогою ультразвуку в присутності пероксиду водню / Н.Л. Максимів, С.І. Іванишин // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Хімія, технологія речовин та їх застосування”. – 2011.- №700. – С. 231-235.
 13. Максимів Н.Л. Кінетичні закономірності впливу акустичної кавітації на процес розпаду клітинних агломератів мікроорганізмів / Н.Л. Максимів, О.З. Кондратович, Л.П. Олійник // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Хімія, технологія речовин та їх застосування”. – 2012. – №726. – С. 220-224.
 14. Старчевский В.Л. Изучение кинетики распада клеточных агломератов микроорганизмов в условиях акустической кавитации / В.Л. Старчевский, В.М. Кисленко, Н.Л. Максимив, Л.П. Олейнык // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – 1/10. – 67 – С. 8-11.
 15. Бернацкая Н.Л. Кинетика окисления органических продуктов разрушения дрожжей в условиях кавитации / Н.Л. Бернацкая, В.Л. Старчевский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2014. – 4 – (10) – 70 – С. 63-66.

Тези доповідей:

16. Максимів Н.Л. Інтенсифікація процесів очищення води від хімічних та біологічних забруднень в умовах акустичної кавітації / Н.Л. Максимів, В.Л. Старчевський, І.З. Коваль, Т.С. Фалик // XI наукова конференція «Львівські хімічні читання-2007». Львів 30 травня – 1 червня 2007./ Львівський Національний університет ім. І. Франка. – Львів. – 2007. – С. У57.
17. Starchevskyy V.L. The influence of ultrasound on the processes of inactivation and oxidation of biological impurities of water / V.L. Starchevskyy, N.L. Maksymiv, A.M. Ludyn, I.Z. Koval // The 11th European Society Sonochemistry Meeting. La Grande-Motte, France. 1-5 June. – 2008 / La Grande-Motte, France. – P. 161.
18. Starchevskyy V.L. The effect of gas nature on the cavitation water disinfection from *Sarcina* and *Pseudomonas fluorescens* bacterium type / V.L. Starchevskyy, I.Z. Koval, L.I. Shevchyk, N.L. Maksymiv, I.E. Nykulyshyn // The 11th European Society Sonochemistry Meeting. La Grande-Motte, France. 1-5 June. – 2008 / La Grande-Motte, France. – P. 159.
19. Максимів Н.Л. Закономірності інтенсифікації процесів руйнування бактеріальних агломератів в умовах акустичної кавітації / Н.Л. Максимів, В.Л. Старчевський // XII наукова конференція «Львівські хімічні читання-2009». Львів 1 – 4 червня 2009. / Львівський Національний університет ім. І. Франка. – Львів. – С. Ф46.
20. Старчевский В.Л. Кинетические закономерности дезагрегации и разрушения микроорганизмов при очистке воды в условиях акустической кавитации. / В.Л. Старчевский, Н.Л. Максимив // VI Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». Варна, Болгария 4 – 11 июня 2010. / Варна, Болгария. – С. 398.
21. Starchevskyy V.L. Kinetic of oxidation of yeast under acoustic cavitation in water solution of glucose / V.L. Starchevskyy, V.M. Kislenko, N.L. Maksymiv // 12th Meeting of the European Society of Sonochemistry. Chania, Crete, Greece 30 May – 03 June 2010 / Chania, Crete, Greece. – P.87.
22. Starchevskyy V.L. Kinetics of desaggregation of microorganism colonies and microorganism destruction under acoustic cavitation / V.L. Starchevskyy, V.M. Kislenko, N.L. Maksymiv, I.Z. Koval // 12th Meeting of the European Society of Sonochemistry. Chania, Crete, Greece 30 May – 03 June 2010 / Chania, Crete, Greece. – P. 107.
23. Starchevskyy V.L. Destruction of bacteria under ultrasound action and dissolved gases / V.L. Starchevskyy, I.Z. Koval, L.I. Shevchyk, N.L. Maksymiv // 12th Meeting of the European Society of Sonochemistry Chania, Crete, Greece 30 May – 03 June 2010 / Chania, Crete, Greece. – P. 88.
24. Максимів Н.Л. Кінетика окиснення дріжджів у водному розчині глюкози при акустичній кавітації / Н.Л. Максимів, В.Л. Старчевський, З.Я. Хлібишин, С.І. Іванишин // IV Всеукраїнська конференція «Домбровські читання». Львів 17 – 20 травня. 2010 / Львівський Національний університет ім. І. Франка.– Львів. – С. 94.
25. Максимів Н.Л. Кінетичні закономірності процесу окиснення продуктів руйнування мікроорганізмів під час кавітаційного очищення води від хімічного

- та бактеріального забруднення / Н.Л. Максимів, В.Л. Старчевський, С.І. Іванишин, З.М. Коваль, Г.В. Романюк // XIII наукова конференція «Львівські хімічні читання 2011». 28 травня – 1 червня 2011 / Львівський Національний університет ім. І. Франка. – Львів. – С. Д14.
26. Старчевський В.Л., Максимів Н.Л. Ультразвукова очистка води от химических и бактериальных загрязнений / В.Л. Старчевский, Н.Л. Максимив // VII Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». 3-10 июня. 2011 Варна, Болгария. / Варна, Болгария – С. 281.
27. Maksymiv N. Kinetic Regularities and Features of Ultrasound Cavitation in Water Systems Containing Organic and Biological Wastle / N. Maksymiv, L. Shevchuk, V. Starchevskyy // 13th Meeting of the European Society of Sonochemistry. 01th-05th July 2012 Lviv, Ukraine./ Lviv National Polytechnic University. – Lviv, Ukraine – P. 163.
28. Maksymiv N. Synergism and Post-effect of Ultrasound Cavitation in Water Dispersions of Microorganisms. / N. Maksymiv, O. Kondratovych, L. Shevchuk, V. Starchevskyy, A. Ludyn. // 13th Meeting of the European Society of Sonochemistry. 01th-05th July 2012 Lviv, Ukraine./ Lviv National Polytechnic University. – Lviv, Ukraine – P. 164.
29. Старчевський В.Л. Кінетика зміни концентрації органічного та біологічного забруднення води під впливом ультразвуку / В.Л. Старчевський, Н.Л. Максимів, Л.П. Олійник // VIII-ая Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». 08-15 июня 2012 Варна, Болгария. / Варна, Болгария. – С. 170.
30. Максимів Н.Л. Синергізм та пост ефект застосування ультразвукової кавітації для зменшення показника біологічного забруднення води / Н.Л. Максимів // XIV Наукова конференція «Львівські хімічні читання». 26 – 29 травня. 2013 Львів / Львівський Національний університет ім. І. Франка. – Львів. – С. Д9.
31. Максимів Н.Л. Звукохімічне очищення води від хімічного та біологічного забруднення. / Н.Л. Максимів, Л.П. Олійник // XI Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании» 31 мая – 07 июня 2013 Варна, Болгария / Варна, Болгария. – С. 120.
32. Maksymiv N.L. Oxidation and Destruction of Yeast in Water Dispersion at Ultrasonic Treatment / N.L. Maksymiv // Asia-Oceania Sonochemical Society (AOSS) meeting. 10-12 July 2013 Melbourne, Australia / Melbourne, Australia. – P. 103.
33. Максимів Н.Л. Залежність ефективності ультразвукової обробки від умов процесу. / Н.Л. Максимів. // XI Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». 1 – 5 июня 2015 Варна, Болгария. / Варна, Болгария. – С. 100– 103.

АНОТАЦІЯ

Бернацька Н.Л. Зниження рівня забруднень дріжджовмісних стічних вод в умовах кавітації. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти та науки України. Львів, 2017.

Проведено аналіз сучасного стану та проблем техногенного забруднення навколишнього середовища стічними водами, що містять дріжджі. Запропоновано основи технології кавітаційного знезараження стічних вод з метою зменшення викидів в навколишнє середовище. Визначено константи швидкості дезагрегації дріжджових клітин та швидкості руйнування клітин мікроорганізмів у даній системі. Запропоновано технологічну схему процесу кавітації очищення стічних вод з використанням вібраційного електромагнітного кавітатора. Виконано техніко-економічне обґрунтування і оцінено еколого-економічну ефективність від впровадження технології віброкавітаційного очищення виробничих стоків підприємств харчової промисловості.

Ключові слова: екологічна безпека, стічні води підприємств харчової промисловості, акустична кавітація, вібраційний електромагнітний кавітатор, хімічне та біологічне забруднення води.

АННОТАЦИЯ

Бернацкая Н.Л. Снижение уровня загрязнений дрожжевместимых сточных вод в условиях кавитации. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – Экологическая безопасность. – Национальный университет «Львовська политехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2017.

Проведен анализ современного состояния и проблем техногенного загрязнения окружающей среды сточными водами, содержащие дрожжи и предложены основы технологии кавитационного обеззараживания сточных вод с целью уменьшения выбросов в окружающую среду. Определены константы скорости дезагрегации дрожжевых клеток и скорости разрушения клеток микроорганизмов в данной системе. Предложена технологическая схема процесса кавитационной очистки сточных вод с использованием вибрационного электромагнитного кавитатора. Выполнено технико-экономическое обоснование и рассчитана эколого-экономическая эффективность от внедрения технологии виброкавитационной очистки производственных стоков предприятий пищевой промышленности.

Ключевые слова: экологическая безопасность, сточные воды предприятий пищевой промышленности, акустическая кавитация, вибрационный электромагнитный кавитатор, химическое и биологическое загрязнение воды.

ABSTRACT

Bernatska N.L. The reduction of yeast contamination of wastewater under cavitation conditions. – On the rights of manuscript.

The thesis for the degree obtaining of candidate of technical sciences on specialty 21.06.01 – Ecological safety. – Lviv Polytechnic National University. Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2017

The current state and problems of technogenic pollution of the environment by waste waters containing yeast has been analyzed. Fundamentals of cavitation technology have been proposed to disinfect wastewaters with the purpose to reduce discharges into the environment. It has been experimentally proved that at the first stage of processing the dispersion of microorganisms under cavitation conditions, disaggregation of cell colonies

and growing number of individual cells per unit volume of the mixture is observed, which can be described by the equation of the first order. At the second stage of the treatment, destruction of cells takes place, which is described by the equation of the first order, with the release of organic substances, whose concentration grows with the degree of the destruction of cells in the system. Constants of disaggregation and destruction rates of cells of microorganisms in the system have been determined. It has been shown that cavitation increases the rate of inactivation and oxidation by 15-40% depending on the conditions of the process behavior, and here a synergistic effect of cavitation and gas action is observed. The concentration of microorganisms in time for ultrasound treatment is changed according to the equation of the first order, and the process rate constant grows during the aeration of the suspensions with oxygen in the presence of hydrogen peroxide.

The process of oxidation of organic substances in the acoustic field takes place as a reaction of the of the first order, and the process of oxidation of organic compounds that are released during the destruction of microorganisms is described by the equation of the second order, which is due to the heterogeneity of the system.

It has been experimentally found out that glucose, as one of the products of yeast destruction, inhibits radical-chain oxidation of organic compounds that are released during the destruction of microorganisms; effective constants of inhibition of the process have been established. Maximal oxidation efficiency is achieved during 1-1.5 hours of the ultrasound treatment of the system that contains water-soluble organic compounds and microorganisms. At the same time, cells of microorganisms are practically completely destroyed, and organic compounds, resistant to oxidation, remain in the environment. The kinetic patterns and peculiarities of the US effect on model mixes (reaction orders, synergistic effect) are observed in industrial wastewaters containing yeast. The effect of the cavitation treatment during wastewater treatment with various concentrations of biological pollution at different vibration frequencies of soundboard disturbers of cavitation has been studied. The greatest effect has been achieved at the frequency of 37Hz, which increases the environmental safety of the enterprise. It has been found out that the effectiveness of the vibrating cavitation devices is higher than of ultrasound generators at lower power consumption. Chemical and biological effects during the application of vibration cavitation are similar to US.

After the cavitation treatment of contaminated waters, a post-cavitation effect is observed, which lies in the reduction of the number of microorganisms per unit volume and COD. The microbial growth in the treated water starts only in 24 hours, whereas in the event of the photochemical decontamination, the microbial growth was observed already in 2 hours. A flow chart of the cavitation process of wastewater treatment with the use of an electromagnetic vibration cavitator is proposed. A feasibility study has been performed and environmental and economic efficiency of the introduction of the technology of the vibration cavitation treatment of industrial wastewaters of food industry enterprises has been assessed.

Keywords: ecological safety, wastewater of food industry, acoustic cavitation, vibration electromagnetic cavitator, chemical water pollution, biological pollution of water.