

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**ФАЛИК
ТАРАС СЕРГІЙОВИЧ**

УДК66.084+541.182; 628.1; 658.265

**ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ КРАФТОВИХ ПИВОВАРЕНЬ
ТА СПОСОБИ ЇХ ВИРІШЕННЯ**

Спеціальність 21.06.01–екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрах технології органічних продуктів та загальної хімії Національного університету “Львівська політехніка” Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шевчук Лілія Іванівна,
Національний університет “Львівська політехніка”,
професор кафедри технології органічних продуктів,
м. Львів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Полутренко Мирослава Степанівна,
Лауреат Державної премії України в галузі науки і
техніки, завідувач кафедри хімії Івано-Франків-
ського Національного технічного університету
нафти і газу, м. Івано-Франківськ;

кандидат технічних наук, доцент
Леськів Галина Зіновіївна,
в.о. зав. кафедр менеджменту Львівського Держав-
ного університету внутрішніх справ, м. Львів.

Захист дисертації відбудеться **“15” березня 2019 р.** о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.22 Національного університету “Львівська політехніка” за адресою: 79013, Львів-13, вул. Генерала Чупринки 130, ауд. 105.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка”, вул. Професорська 1.

Автореферат розісланий **“8” лютого 2019 р.**

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради К 35.052.22
кандидат технічних наук, доцент

В.В.Сабадаш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За останнє десятиліття на Україні набуло значного розширення будівництво малих (крафтових) пивоварень, які практично побудовані в кожному обласному центрі та малих містах. На різних стадіях виробництва пива утворюється велика кількість вторинних продуктів, до яких належать відходи солоду (дробина, післяспиртова барда) та стічні води (СВ) із підвищеним вмістом дріжджів різних рас.

Дробина може використовуватися як сировина для подальшого отримання корисних продуктів або корму для тварин, проте залишки дріжджів так і не знайшли жодного застосування.

Значне розширення масштабів виробництва і споживання пива за останні 25 років в Україні зросло більш, ніж у 10 разів і протягом 2008-2017 р.р. складає 240-320 млн. дал. І хоча частка малих пивоварень у загальній структурі виробництва складає не більше 3%, саме вони стають основними джерелами органічних та біологічних забруднень стічних вод пивоваріння, оскільки, вони часто розташовані в малих (а то і пристосованих) приміщеннях. Необхідно зазначити, що при виробництві 1т пива утворюється близько 150-200 кг дріжджовмісних відходів, які потрапляють у стоки. Побудова локальних очисних споруд в таких випадках економічно не вигідна, а в окремих випадках і технічно неможлива. Це зумовлює необхідність посилення заходів охорони навколишнього середовища і, зокрема, водних ресурсів, куди після виробництва пива потрапляють різні забруднювачі.

Особливо актуальним є забезпечення екологічної безпеки пивоварного виробництва малих підприємств шляхом попередження забруднення стічних вод залишковими пивними дріжджами. Хоча доля крафтових пивоварень є низькою у структурі українських виробників пива, саме вони в силу своїх технологічних можливостей стають найбільшими забруднювачами гідросфери, оскільки, будівництво очисних споруд для них фінансово ускладнене, а в більшості випадків технічно неможливе.

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

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку досліджень кафедр загальної хімії та технології органічних продуктів Інституту хімії та хімічних технологій Національного університету "Львівська політехніка": "Дослідження кінетики і механізму процесів окиснення і співполімеризації органічних речовин з метою одержання нових речовин для обробки металів, волокнистих матеріалів. Застосування енергії акустичної кавітації для інтенсифікації окиснювальних процесів" (№ держреєстрації 0110U004691) та «Удосконалення технологій продуктів бродіння» (№ держ. реєстрації 0117U004474).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є мінімізація рівня екологічної небезпеки крафтових пивоварних виробництв шляхом реалізації кавітаційного очищення стоків від дріжджів та органічних забруднень на основі дослідження закономірностей та особливостей процесу загибелі мікроорганізмів за умов спільної дії кавітації та газового середовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати стан пивоварної галузі та провести оцінку ступеня екологічної небезпеки від забруднення довкілля в зоні впливу крафтового пивоваріння;
- розробити ефективний метод зменшення рівня дріжджових забруднень у стічних водах крафтових пивоварень;
- дослідити процес загибелі монокультур дріжджів (*Saccharomyces*) та органічних сполук при барботуванні газів за умов кавітації та встановити оптимальні умови обробки;
- розробити концептуальні засади застосування кавітації для створення технологічних процесів очищення стічних вод пивоваріння від органічних та біологічних забруднень;
- розробити енергоощадний пристрій для збурення кавітації та встановити оптимальні умови його роботи;
- дослідити можливості застосування отриманих результатів на інші об'єкти харчової галузі.

Об'єкт дослідження – стан екологічної безпеки в зоні впливу крафтового пивоваріння.

Предмет дослідження – кавітаційні процеси очищення стічних вод крафтового пивоваріння.

Методи досліджень включають в себе розроблені методики експериментальних досліджень, мікробіологічний аналіз кількісного (біологічне споживання кисню (БСК)) та якісного складу дріжджів, мікроскопування зразків культур дріжджів, фотозйомка, визначення рН, хімічний аналіз загального вмісту органічних забруднень (ХСК).

Наукова новизна одержаних результатів. З метою підвищення рівня екологічної безпеки в зоні впливу крафтового пивоваріння дисертантом отримані такі найбільш важливі наукові результати:

- вперше проведена оцінка ступеня екологічної небезпеки від забруднення довкілля в зоні впливу крафтового пивоваріння, що дозволило обґрунтовано вибрати стратегію очищення стічних вод з ціллю мінімізації екологічної небезпеки гідросфери;

- вперше експериментально визначено вплив аерації стоків крафтового пивоваріння киснем та азотом на кількість клітин мікроорганізмів та концентрацію окиснювальних органічних речовин у водному середовищі, що дало змогу вибрати найефективніше газове середовище;

- вперше встановлено, що для опису процесу окиснення органічних речовин та руйнування клітин дріжджів у стоках крафтового пивоваріння за їх невисокої концентрації під дією кавітації в присутності азоту можна застосувати рівняння реакції першого порядку, а у випадку високих концентрацій – рівняння реакції другого порядку, що є вихідними даними для проектування очисного обладнання;

- вперше показано, що зниження біологічного забруднення стічної води пивоваріння від дріжджів можна досягнути фільтруванням висококонцентрованих дріжджових стоків через шар дробини - твердих відходів пивоваріння, що дає змогу знизити БСК на декілька порядків;

- отримали подальший розвиток дослідження кавітаційного очищення стічних вод в кавітаційному полі.

Практичне значення одержаних результатів. Аналіз даних експериментальних досліджень дав змогу розробити та запропонувати для впровадження ефективну технологію очищення стічних вод крафтового пивоваріння в кавітаційному полі. Розроблена конструкція ефективного енергоощадного вібраційного електронасоса-кавітатора, захищеного патентом України на корисну модель. Запропонована технологія зниження екологічного навантаження на гідросферу стічних вод крафтових пивоварень, на яку отримано патент України на корисну модель. За результатами роботи продано 2 ліцензії на ТзОВ «Крафтове пиво» (с.Кваси Закарпатської обл.). Результати роботи апробовані на ТзОВ «Пивоварня «Кумпель». Наукові та практичні результати дисертаційної роботи використані у лекційних курсах та практичних роботах з дисципліни «Очищення стічних вод» Національного університету «Львівська політехніка» для студентів спеціальності 101 «Екологія».

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто опрацьовано літературні джерела за темою дисертаційної роботи, проведено лабораторні та натурні експериментальні дослідження, систематизовано й узагальнено експериментальний матеріал, сформульовано науково обґрунтовані висновки, підготовлені патенти на корисну модель України. Постановка задач, розроблення методик дослідження процесів очищення стоків, обговорення поставлених задач проводились та виконувались під керівництвом д.т.н., проф. Шевчук Л.І., конструкція електронасоса-кавітатора обговорювалась та розроблялась спільно з д.т.н., проф. Афтаназівим І.С.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертації представлялись, обговорювались та опубліковані в матеріалах міжнародних і вітчизняних конференцій та симпозіумів: V відкритій науковій конференції професорсько-викладацького складу ІМФН (м.Львів, 2006); XII науковій конференції «Львівські хімічні читання» (м.Львів, 2007); II Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Київ, 2007р.); XI науковій конференції Тернопільського державного технічного університету ім.Івана Пулюя (м.Тернопіль, 2007). 11th Meeting of the European Society of Sonochemistry (France, La Grande-Motte, 2008), II Міжнародній конференції «Актуальні проблеми хімії та технології органічних речовин «APCTOS 2» (м.Львів, 2015).

Публікації.

Основний зміст роботи викладений у 14 наукових публікаціях, в тому числі у 7 статтях (з них 2 – у фахових виданнях України, 5 – статті, що включені до міжнародних наукометричних баз даних), 2 патентах України на корисну модель та 7 тезах доповідей на вітчизняних та міжнародних конференціях.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 138 сторінках машинописного тексту, ілюстровано 55 рисунками, текст містить 6 таблиць, у бібліографії наведено 126 літературних джерел, дисертація містить 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, визначено мету дисертаційної роботи та задачі досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення роботи. Наведено відомості про апробацію роботи та публікації, а також відзначено особистий внесок автора.

У *першому розділі* на основі критичного огляду літературних джерел щодо сучасного стану розвитку крафтового пивоваріння та визначено основні типи забруднювачів, а саме СВ, які негативно впливають на довкілля. При порівнянні різних методів очищення стічних вод від органічних та біологічних забруднень визначено основні напрямки досліджень. Розглянуто механізм хімічної дії ультразвукових (УЗ) коливань та роль газів в реакційному середовищі. Обґрунтовано переваги застосування УЗ кавітації для очищення води від мікробіологічних (МО) та хімічних забруднень, порівняно з іншими сучасними методами.

У *другому розділі* наведено характеристику методів та об'єктів досліджень, обґрунтовано вибір мікрооб'єктів дослідження, описано методики експериментів, лабораторну установку та додаткове обладнання, необхідне для здійснення експериментів.

Об'єктами дослідження процесу очищення СВ були:

- модельні суміші, створені на основі деаерованої дистильованої води та культури дріжджів *Saccharomyces*
- СВ приватної «Пивоварні «Кумпель», м. Львів та Струтинського спиртзаводу Львівської обл.

Тест-мікроорганізмами слугували п'ять монокультур – представники різних родів (бактерії: *Diplococcus*, *Bacillus*, *Sarcina*, *Pseudomonas* та дріжджі *Saccharomyces*).

Для досліджень використовували гази: азот, кисень та їх суміші у різних співвідношеннях. Гази барботували у воду впродовж всього процесу кавітаційного оброблення зі швидкістю 0,2 см³/с. Витрата газу становила 0,7 дм³/год.

Джерелом УЗ хвиль слугував генератор УЗДН-2Т з частотою коливань 22 кГц, потужністю 91 Вт та інтенсивністю 1,65 Вт/см³. УЗ коливання передавали магнітострикційним випромінювачем, зануреним в об'єм досліджуваної води (V = 75 см³). Умови здійснення експериментів: T=298±1К, P=0,1МПа, тривалість процесу (τ) – до 2 год. Експерименти також проводили на віброрезонансному низькочастотному кавітаторі та створеному автором електронасосі-кавітаторі.

У *третьому розділі* на основі проведеної оцінки ступеня екологічної небезпеки від забруднення довкілля в зоні впливу крафтового пивоваріння встановлено, що стоки, які містять дріжджі, спричиняють значний негативний вплив на довкілля, приводячи до забруднень гідросфери органічними сполуками та мікроорганізмами.

Шляхом аналізу стадій виробництва крафтового пива проведена ідентифікація джерел екологічної небезпеки в зоні впливу крафтового пивоваріння. Встановлено, що найбільш небезпечним джерелом екологічної небезпеки є дріжджові стоки, яких утворюється 150-200 кг на 1 т виготовленого пива. Ці стоки створюють найбільш суттєву екологічну небезпеку в зоні впливу виробництва крафтового пива і, саме на мінімізацію цієї екологічної небезпеки направлені дисертаційні дослідження.

Проведений аналіз динаміки розвитку та локалізації крафтового пивоваріння в Україні. Встановлено, що розвиток крафтового виробництва пива в Україні за останнє десятиліття динамічно зростає. І хоча масштаби його виробництва є незначними у порівнянні з великими пивзаводами, саме вони в міру своєї обмеженості в технологічному плані стають джерелом забруднень гідросфери.

Проведена оцінка ступеня екологічної небезпеки від забруднення довкілля в зоні впливу крафтового пивоваріння, на основі якої встановлено, що перспективною є двохстадійна технологія очищення стоків: (1 стадія – фільтрування на дробині; 2 стадія – кавітаційна обробка). У випадку застосування різних способів створення кавітаційного поля досягаються наступні ступені очищення стоків від дріжджів: для ультразвуку - 90%; для віброрезонансного впливу – 80%; для застосування насоса-кавітатора – 60%.

Побудовані залежності ступеня екологічної небезпеки внаслідок впливу на гідросферу стоків крафтового пивоваріння для різних способів очищення стоків та кількості дріжджів у стоках крафтового виробництва на різних стадіях очищення.

У четвертому розділі наведена характеристика СВ пивоварні, що містять як органічні, так і біологічні забруднення. Серед органічних - це спирти, кислоти, ізоспирти, аміносполуки. Серед біологічних - дріжджі роду *Saccharomyces* та бактерії (*Micrococcus*, *Bacterium*, *Pseudomonas* та *Sarcina*). Їх можна розділити на 2 групи: висококонцентровані, які утворюються при скиданні дріжджів (вміст ХСК = 1000 – 4500 мг О₂/дм³ та МЧ = 16*10⁶ – 22*10⁶ КУО/см³) та низько концентровані, які утворюються при митті обладнання після бродіння (ХСК = 100 – 450 мг О₂/дм³ та МЧ = 0.1*10⁶ – 0.025*10⁶ КУО/см³). Такі різні характеристики СВ ускладнюють їх очищення, тому постає задача звести їхні показники хоча б до одних порядків.

Необхідно зазначити, що розміри частинок дріжджів є досить малими і для їх виділення потрібні спеціальні матеріали та низький тиск, що в умовах крафтових пивоварень є технологічно ускладнено. Нами вирішено як фільтруючий матеріал використати відходи першої стадії пивоваріння – дробину, що утворюється після розварювання ячмінного солоду. Результати фільтрації дріжджових стоків наведені в табл.1.

Із експериментальних даних слідує, що, фільтрування висококонцентрованих стоків дозволяє знизити їх МЧ майже на 2 порядки, тобто відбувається відділення крупних агломератів дріжджів від малих. Такі показники дають можливість звести МЧ і ХСК висококонцентрованих стоків до величин одного порядку із їх вмістом у промивних водах, що значно полегшує їх подальше очищення. Також усунення крупних агломератів дріжджових клітин на цьому етапі сприяє значному зменшенню біологічного забруднення води перед кавітаційною обробкою, так як на початку кавітаційної обробки відбувається диспергування агломератів дріжджів на окремі клітини, в результаті чого МЧ дисперсії різко зростає. Оскільки високі концентрації дріжджів дають певні значення органічних забруднень, зменшення МЧ після фільтрації позитивно впливає і на зменшення ХСК.

Залежність ступеня фільтрації висококонцентрованих дріжджових стоків пивоварні від висоти фільтруючого шару дробини. Час фільтрації – 60с, $P=0.001$ МПа, фільтруючий матеріал – дробина із вмістом вологи 47%, M – маса дробини, m – маса дріжджів

№	$MЧ_0 \times 10^{-6}$ КУО/см ³	$MЧ_k \times 10^{-5}$ КУО/см ³	Висота фільтр. шару, мм	M/m , г/г	$XСК_0$ мгО ₂ /дм ³	$XСК_k$ мгО ₂ /дм ³
1	22	18	10	20/10	560	420
2	24	9	20	26/10	610	315
3	23	2	30	32/10	580	256
4	24	0.5	40	48/10	630	190
5	22	0.1	50	65/10	580	160
6	22.5	0.09	60	78/10	600	175
7	23	0.09	70	100/10	610	180

Зазначимо, що вміст дріжджів у дробині не погіршує харчової цінності вторинних продуктів пивоваріння і їх можна застосовувати як корм для тварин, про що отримано позитивний висновок Інституту біології тварин НААН України (додаток А дисертації).

У роботах попередників (Прездимірської Л., Бернацької Н.) було вивчено вплив газів різної природи (повітря, аргону, гелію) на зниження рівня МЧ у дріжджових стоках, однак їхні результати мають певні недоліки. Так, барботування повітря, веде до певного зростання вмісту дріжджів, а аргон та гелій є достатньо дорогими. Тому в своїй роботі ми досліджували вплив кисню, азоту та суміші азоту і кисню на знешкодження дріжджів та сеструкцію органічних сполук в умовах кавітації. Введення цих газів у реакційне середовище веде до зниження МЧ і ХСК, причому

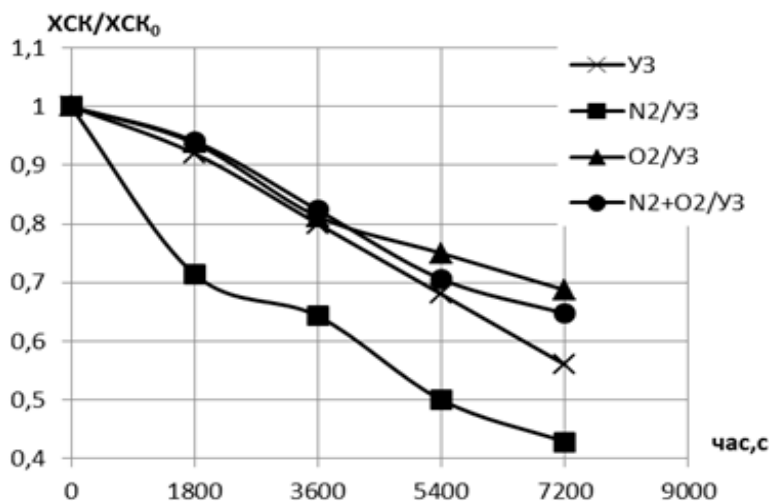


Рис.1. Залежність відношення $XСК/XСК_0$ «Пивоварні «Кумпель» від умов процесу

найефективнішим як для зменшення ХСК так і МЧ виявилось одночасне застосування кавітації та азоту: за 2 год обробки СВ ХСК зменшилось у 2.3 рази (рис.1), а МЧ зменшилось в 7.6 раз (рис.2) і обидва показники наблизились до санітарних норм при скидуванні стоків у каналізаційні мережі.

Наступні експерименти були присвячені дослідженню зміни вмісту органічних та біологічних забруднень при їх зберіганні (або транспортуванні чи перекачуванні). Як виявилось, при зберіганні частково очищених стоків їхнє ХСК спадає

протягом 25 діб як при доступі повітря, так і без нього, що, очевидно, пов'язане із пролонгованою дією кавітації на деструктивні перетворення органічних сполук (рис.3).

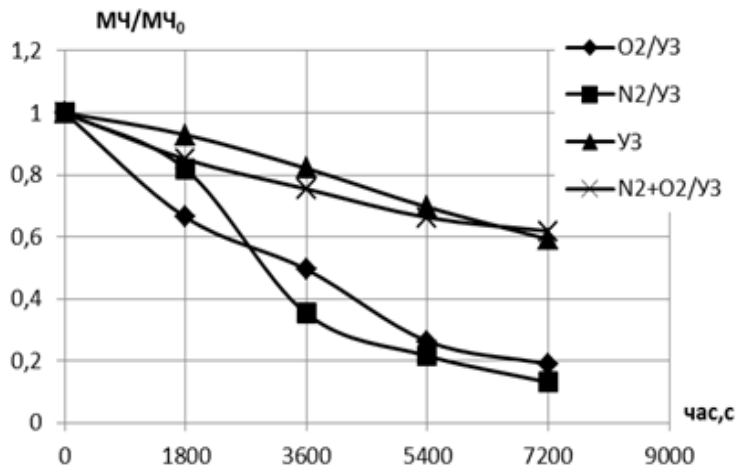


Рис.2. Залежність відношення МЧ/МЧ₀ «Пивоварні «Кумпель» від умов процесу

Стосовно МЧ встановлено, що воно зростає протягом усього періоду зберігання, однак без доступу повітря це рости є набагато повільніше (рис. 4).

Отже, двохгодинна обробка стічних вод пивоварні в умовах кавітації в атмосфері азоту дає можливість знизити ХСК на 83-87% і МЧ на 85-90%. (рис.5). Ці значення знаходяться в межах, які відповідають умовам санітарних норм для скидування стоків у каналізаційні мережі.

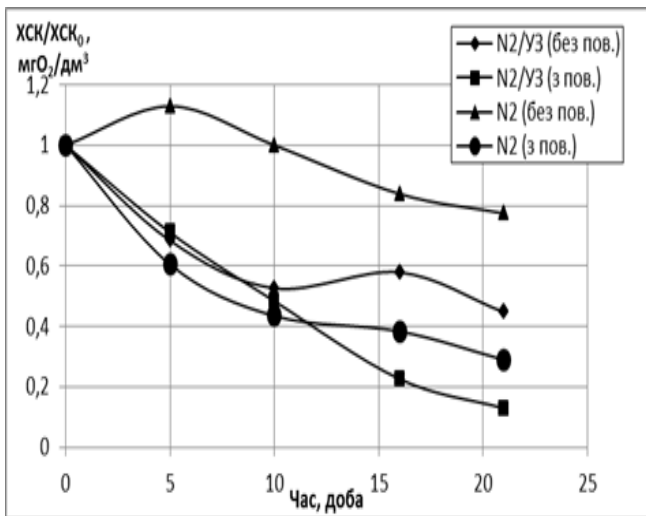


Рис.3. Залежність відношення ХСК/ХСК₀ від часу для стічних вод пивоварні при довготривалому зберіганні

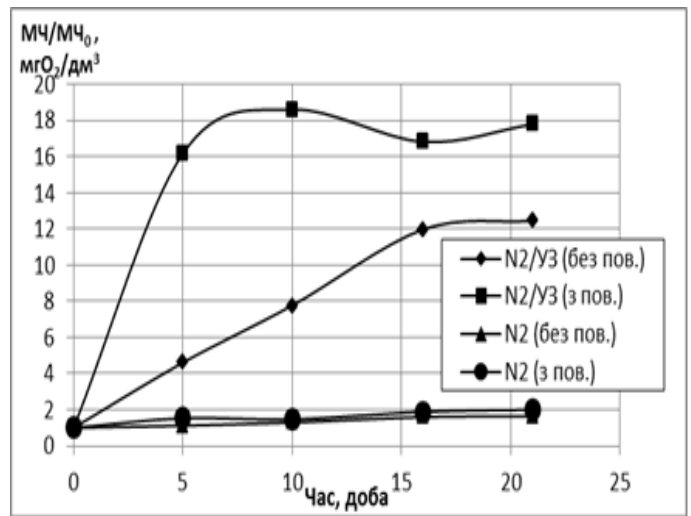
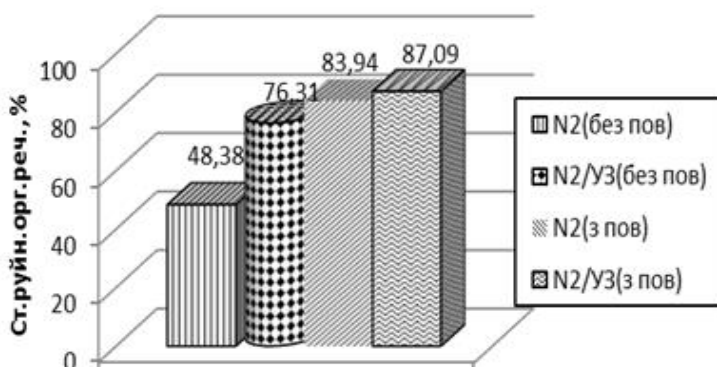


Рис.4. Залежність відношення МЧ/МЧ₀ від часу для стічних вод пивоварні при довготривалому зберіганні

Рис.5. Ступінь руйнування органічних речовин на кінець експерименту (2 год) при різних умовах



$N_2/УЗ(з\ пов.) > N_2(з\ пов.) > N_2/УЗ(без\ пов.) > N_2(без\ пов.)$

У *п'ятому розділі* наведено результати створення енергоощадних кавітаційних пристроїв для збурення кавітації та запропоновано технологічну схему процесу очищення стічних вод крафтових пивоварень.

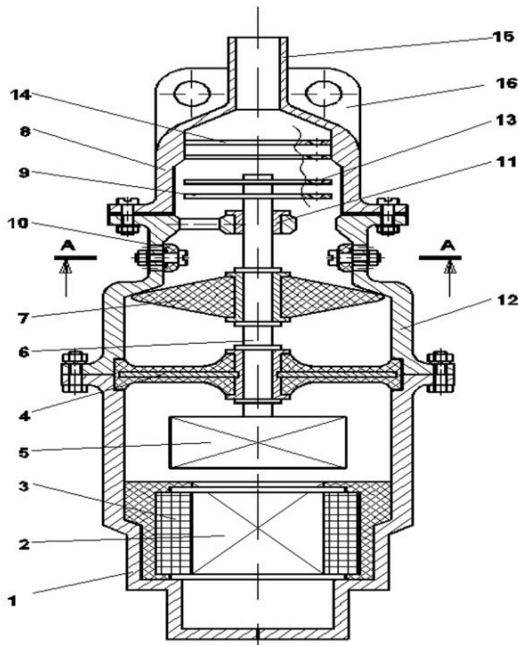


Рис.6. Принципова схема електромагнітного вібронасоса-кавітатора для очищення стічних вод пивоваріння від дріжджових забруднень

позбавленого вище означених недоліків. (рис.6).

При переміщенні якоря 5 і закріплених на ньому дек-збурювачів кавітації 9 у зворотньому напрямі від осердя 2 електромагніта кавітаційне поле над рухомими деками 9 завдяки підвищенню тиску в рідині щезає, перепомповувана рідина проштовхується поверхнями поршня 7 та рухомих дек 9 через конічні отвори у дисках нерухомих дек-збурювачів кавітації 14 і кавітаційне поле формується над їх поверхнями (рис.7).

Таким чином, під час коливного руху якоря 5 до осердя 2 електромагніта кавітаційне поле у перепомповуваній рідині формується над поверхнею рухомих дек-збурювачів кавітації 9, а при русі якоря 5 від осердя 2 – над поверхнями нерухомих дек-збурювачів кавітації 14. Таким чином кавітаційне поле формується не при

очищення стічних вод крафтових пивоварень. Однією з причин, які перешкоджають широкому впровадженню кавітаційних технологій у промисловості, є відсутність вископродуктивного кавітаційного обладнання. Хоча на сьогодні розроблені роторно-турбулізаційні, п'єзокерамічні, ультразвукові та віброрезонансні низькочастотні кавітатори, всі вони мають один недолік – при їх використанні у дріжджових стоках на їхній рухомій поверхні відкладається осад із мертвих бактерій, що веде до зниження продуктивності пристрою, а в кінцевому випадку і до його поломки. Тому нами було розроблено власну конструкцію електромагнітного вібронасоса-кавітатора,

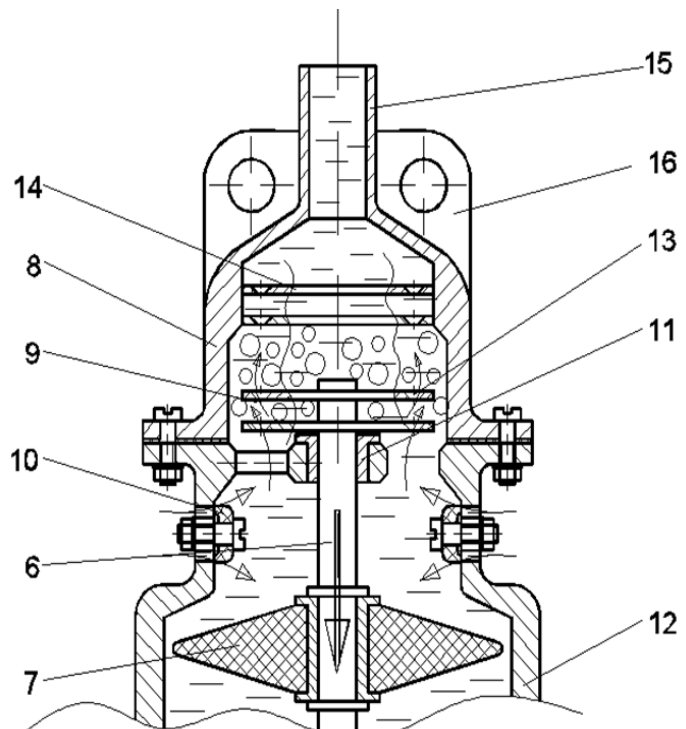


Рис.7. Формування кавітаційного поля та рух перепомповуваної рідини при переміщенні якоря до осердя електромагніта

перетіканні рідини через отвори дек-збурювачів кавітації, а після них або над ними, що унеможлиблює забивання отворів продуктами руйнування бактерій.

Як відомо, ефективність роботи вібраційних пристроїв та їх енергоспоживання залежить від частоти коливань дек-збурювачів кавітації. Проведено експерименти по встановленню оптимальної частоти коливань, коли спостерігається найвища ефективність і найменші енергозатрати (рис. 8). При цих частотах, коли частота коливань дек рівна або кратна частоті коливань мікробульбашок газів (зародків кавітації) спостерігається явище резонансу, яке веде до стрибкоподібного зростання ефективності роботи пристрою. Таким частотами виявились 37, 63 та 85 Гц.

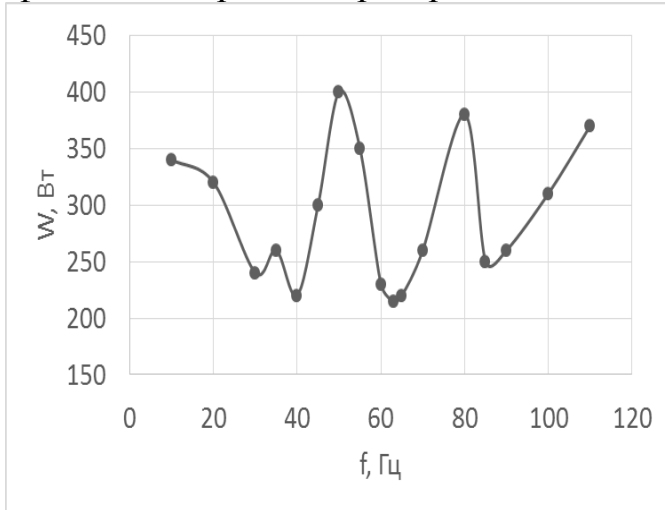


Рис.8. Залежність енергоспоживання кавітатора від частоти коливань дек-збурювачів кавітації. Амплітуда – 2мм, середовище – стічні води пивоварні, барботований газ – азот.

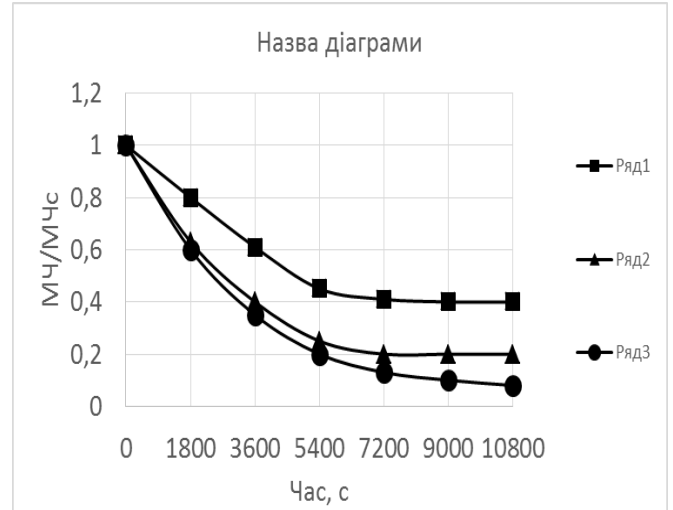


Рис.9. Порівняльні експериментальні дані по зниженню біологічних забруднень стоків при ультразвуковій (1), віброрезонансній (2) кавітації та при використанні вібраційного електро-насоса-кавітатора (3)

На рис.9 наведені результати експериментів очищення пивних стоків в кавітаційних полях, сформованих ультразвуковим генератором (1), віброрезонансним низькочастотним кавітатором (2) та вібраційним електронасосом-кавітатором (3). Як видно із результатів, очисні ефекти спостерігаються для всіх джерел кавітації, однак УЗ кавітація є економічно не вигідною (при споживанні 1400Вт електроенергії генератор випромінює тільки 100Вт акустичної), при використанні віброрезонансного кавітатора його ефективність після 2 годин роботи знижується, що пов'язано із зменшенням розмірів отворів дек-збурювачів в результаті осідання на них продуктів розкладу дріжджів. Вібраційний електронасос-кавітатор не змінював своєї продуктивності і після 3 годин роботи.

В даному розділі приведена принципова технологічна схема кавітаційного очищення СВ (рис.10).

Високонцентровані стоки дріжджів подаються через решітку 1 для вловлювання крупних агломератів дріжджів та інших завислих речовин (дробини) на фільтр 2, фільтруючим шаром якого є шар дробини висотою 50мм. Далі грубо очищені стоки подаються через відстійник 4 в ємність 5, де проходить змішування із стоками, які утворились при митті обладнання. Суміш дробини і дріжджів скида-

ється у ємність 3 і утилізується. Усереднені стоки із ємності 5 через теплообмінник 7 подаються в робочу зону вібраційного електронасоса-кавітатора 8, куди також поступає рециркулюючий азот.

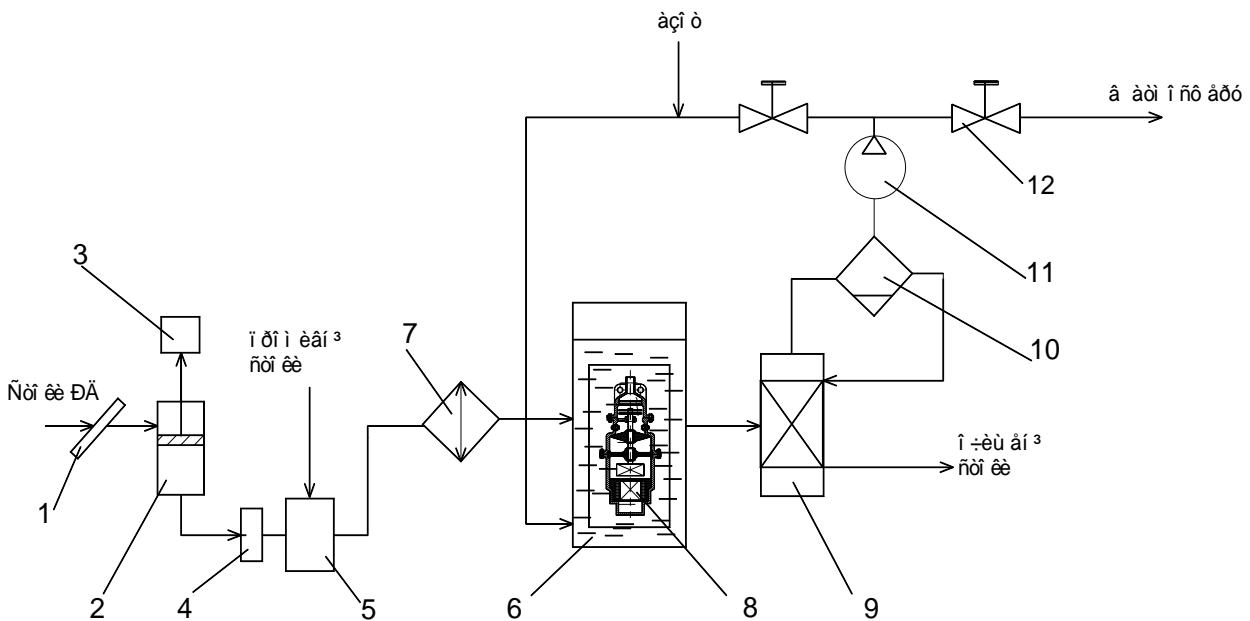


Рис.10. Принципова технологічна схема очищення дріжджових стоків пивоварних підприємств: 1 – решітка, 2 – фільтр з дробини, 3 – ємність для скидання суміші дробини і дріжджів; 4 – відстійник, 5 – ємність для усереднення стоків, 6 – ємність, 7 – теплообмінник, 8 – вібраційний електронасос-кавітатор, 9 – адсорбер, 10 – сепаратор, 11 – компресор, 12 – вентилі.

Після знезараження вода поступає в адсорбер 9, заповнений природними цеолітами (глауконітом, палигорськітом) для адсорбції неконвертованих органічних забруднень, а гази (азот із сумішшю вуглекислого газу) проходять через сепаратор 10 і компресором 11 частково повертаються в робочу зону вібраційного електронасоса-кавітатора 8, а частково скидаються в атмосферу.

У шостому розділі наведено результати досліджень, присвячені пошуку шляхів розширення отриманих раніше результатів. Одним із забруднювачів гідросфери є спиртова промисловість – найбільша галузь народного господарства за кількістю утворюваних відпадків і СВ. СВ спиртових заводів характеризуються нестабільним вмістом органічних речовин. Єдина відмінність стоків спиртових підприємств – дуже низький вміст біологічного забруднення (практично на межі визначення) в порівнянні із стоками пивних підприємств. Тому пошук нових шляхів очищення стічних вод від органічних забруднень і на сьогодні є актуальною задачею. Одним із таких способів може бути застосування енергії акустичної кавітації, про що свідчать результати наших попередніх досліджень.

Як свідчать результати експериментів (рис.11), для руйнування органічних забруднень найбільшу очисну здатність показав азот в кавітаційному полі (62% за 2

год). Кисень і суміш азоту із киснем мають приблизно однакову ефективність – близько 40%.

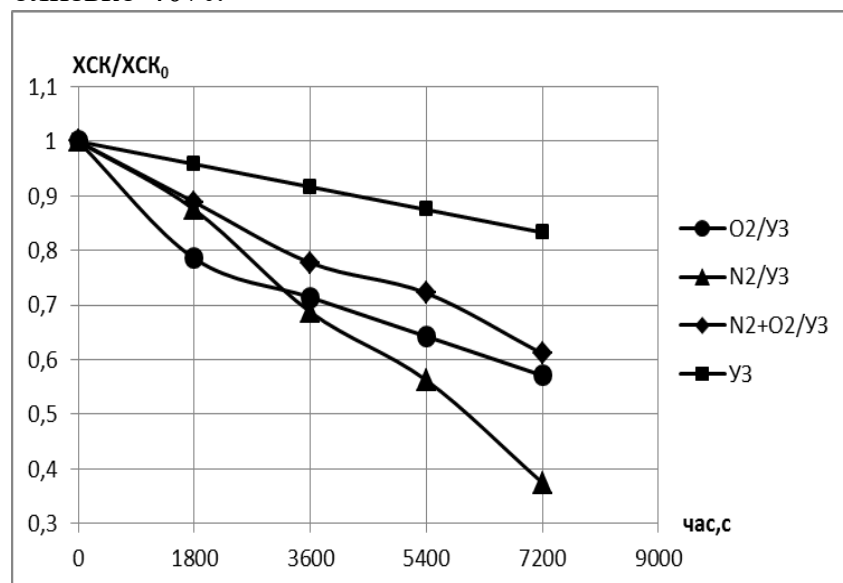


Рис.11. Залежність ХСК/ХСК₀ стічної води спиртзаводу від часу обробки в атмосфері різних газів

Аналіз кінетичних кривих деградації органічних забруднень показує, що вони спрямляються в напівлогарифмічних координатах і для опису цього процесу можна застосувати кінетичне рівняння першого порядку. Ефективні константи швидкості руйнування органі-

чних сполук k в УЗ полі наведено в таблиці 2. Тут як в інших випадках одночасного застосування кавітації і газу спостерігається синергізм дії газу та кавітації.

Таблиця 2

Зведена таблиця ефективних констант швидкостей руйнування органічних сполук в стічних водах спиртзаводу

Газ	$k \cdot 10^4, c^{-1}$	
	Без УЗ	З УЗ
N ₂	0,7	1,2
O ₂	0,5	0,8
N ₂ +O ₂	0,4	0,7
УЗ	0,2	-

$$k(N_2/УЗ) > k(УЗ) + k(N_2); (7,40 \cdot 10^{-4} c^{-1} > 1,98 \cdot 10^{-4} c^{-1} + 0,35 \cdot 10^{-4} c^{-1})$$

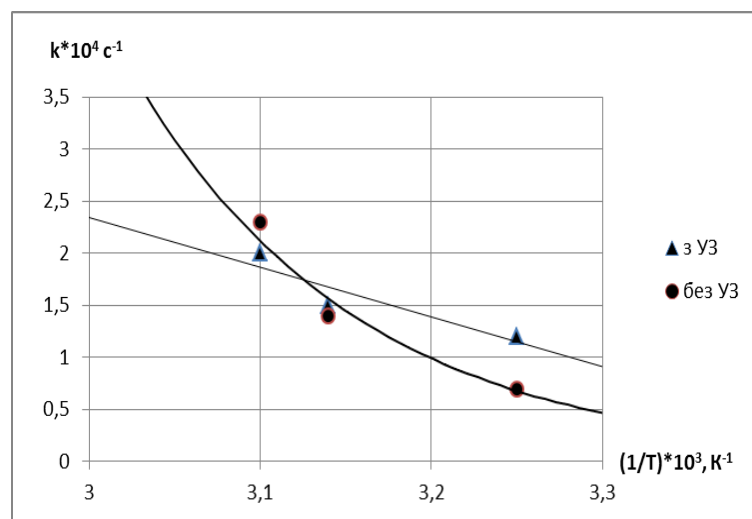


Рис.12. Залежність ефективної константи швидкості руйнування органічних речовин стічної води спиртзаводу в атмосфері азоту від температури за різних умов експерименту

Якщо проаналізувати ступінь руйнування органічних сполук при барботуванні азоту в кавітаційному полі від температури, (рис.12), можна зробити висновок, що при температурах вище 320К за атмос-

ферного тиску швидкість звукохімічних процесів стає нижчою, ніж термічної реакції. Тому даліше підвищення температури є недоцільним і кавітаційне очищення стоків можна проводити і при нижчих температурах (рис.12).

В додатках наведено акти проведення випробувань та впровадження результатів кавітаційного знезараження стічних вод крафтових пивоварень, копії ліцензійних угод, а також акт підтвердження харчової цінності дробини із вмістом дріжджів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено результати літературних даних, які підтверджують актуальність досліджень. Наведені та проаналізовані різні сучасні методи очищення промислових стоків, які поряд із позитивними сторонами характеризуються рядом недоліків. Викладені науково-технічні досягнення в області кавітаційного очищення СВ, а також вирішено наукове завдання щодо розроблення технології очищення стічних вод крафтових пивоварень, технічним рішенням якого є створення способу фільтрації дріжджових стоків через шар дробини та розроблення вібраційного електронасоса-кавітатора для очищення СВ від органічних та біологічних забруднень, що характеризується надійністю експлуатації, економічною доцільністю та простотою виконання. Проведено комплекс експериментальних досліджень для процесу кавітаційного очищення дріжджових стоків та стоків спиртових виробництв, в результаті яких:

1. Проведена оцінка ступеня екологічної небезпеки від забруднення довкілля в зоні впливу крафтового пивоваріння, на основі якої встановлено, що перспективною є двохстадійна технологія очищення стоків: (1 стадія – фільтрування на дробині; 2 стадія – кавітаційна обробка). У випадку застосування різних способів створення кавітаційного поля досягається такий ступінь очищення стоків від дріжджів: для ультразвуку - 90%; для віброрезонансного впливу – 80%; для застосування насоса-кавітатора – 60%.

2. Показано, що фільтрація висококонцентрованих дріжджових стоків через шар дробини дозволяє знизити рівень біологічного забруднення майже у 200 разів, при цьому вміст органічного забруднення зменшується на 60%.

3. Експериментально підтверджено, що в атмосфері азоту при кавітаційному очищенні стічної води з різними вихідними параметрами досягнуто високого ступеня очищення (62-77%), порівняно із киснем (43-67%), суміші цих газів (39-63%) незалежно від початкової кількості органічних речовин та встановлено відносний ряд ефективності газів (азот, кисень, суміші азоту і кисню) в кавітаційних умовах на знезараження від дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та деструкції органічних сполук.

4 Встановлено, що спільна дія барботування газів у кавітаційному полі на 25-50% ефективніша порівняно із дією УЗ і на 19-23% ефективніша дії виключно газів, що свідчить про синергічний ефект одночасного застосування газу та УЗ для руйнування наявних у рідині органічних домішок:

$$k(\text{УЗ/газ}) > k(\text{УЗ}) + k(\text{газ})$$

5. Досліджено довготривалий вплив повітря на попередньо очищену в кавітаційних умовах стічну воду пивоварні та розраховано ступені руйнування органічних речовин – 87,09 % та ступені знезараження води – 88,23 %

6. Запропоновано спосіб кавітаційного очищення стоків пивоварень і для його реалізації розроблено вібраційний електронасос-кавітатор резонансної дії, основною перевагою якого є висока продуктивність, придатність для обробки значних обсягів рідин у неперервному їх потоці у поєднанні із довготривалим терміном роботи.

7. Проведена оптимізація роботи вібраційного електронасоса - кавітатора в залежності від частоти коливань дек-збурювачів кавітації з метою виявлення резонансних частот та мінімального енергоспоживання.

8. Показано, що технологію кавітаційного очищення стічних вод можна поширити і на спиртову промисловість – в присутності азоту під дією кавітації досягається 90% ступінь руйнування органічних забруднень.

9. Запропоновано принципову технологічну схему очищення стічних вод крафтових пивоварень від хімічних та біологічних забруднень, що включає віброкавітаційну обробку стоків у вдосконаленій робочій камері, принциповою відмінністю якої є наявність не плоских дек із отворами, які можуть забиватись продуктами руйнування дріжджів, а зміщення кавітаційної зони реакції над деками, що дозволяє підвищити інтенсивність формованого кавітаційного поля та продуктивність обробки стоків.

10. Високу ефективність технології очищення стоків пивоварні підтверджено продажем 2 ліцензій та впровадженням, проведеними на ТзОВ «Крафтове пиво» (с.Кваси Закарпатської обл.), а також актом випробовувань на ТзОВ «Пивоварня «Кумпель».

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У ПУБЛІКАЦІЯХ:

Публікації у наукових фахових виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз даних:

1. Предзимірська Л.М. Ефективність кавітаційного очищення води в залежності від природи барботованого газу / Предзимірська Л.М., Фалик Т.С., Шевчук Л.І., Никулишин І.Є., Чайківський Т.В. // Вісник КрНУ – Кременчук.– №2/2016(97). – С.102-109. *Index Copernicus international. (Дисертант брав участь у проведенні експериментальних досліджень, обробці, аналізі, інтерпретації результатів).*

2. Shevchuk L. Vibrocavitation decontamination of brewing yeast containing wastewater / L. Shevchuk, I. Aftanaziv, T.Falyk. // CHEMISTRY & CHEMICAL TECHNOLOGY. – 2017. – Vol.11. No 4. – P.475-479. *Scopus*. (Дисертант брав участь у проведенні експериментальних досліджень, обробці, аналізі, узагальненні та обговоренні результатів).
3. Шевчук Л.І. Кавітаційне знезараження стоків пивоварного виробництва у присутності газів різної природи / Л.І. Шевчук, І.Є. Никулишин, Т.С. Фалик. // Науковий вісник НЛТУ України. - Вип. 26.1. – 2016. – С. 185 – 189. *Index Copernicus international*. (Дисертант брав участь у проведенні експериментальних досліджень, обробці, аналізі, інтерпретації результатів).
4. Shevchuk L. Research of the effects of various gases on cavitation-based removal of organic pollutants from distillery wastewater / Shevchuk L., Falyk T., Nykulyshyn I., Melnyk S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 3/10 (87). – P. 56 – 62. *Scopus*. (Дисертант брав участь у проведенні досліджень, обробці, аналізі, узагальненні та обговоренні результатів).
5. Фалик Т.С. Віброкавітатор для знезараження води відкритих водойм. / Фалик Т.С., Шевчук Л.І., Строган О.І., Коваль І.З // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. Розділ «Екологія довкілля». – Львів РВВ НЛТУ України. – Випуск 26.4. – 2016. - с.170-178. *Index Copernicus international*. (Дисертант брав участь у проведенні експериментальних досліджень, обробці, аналізі, узагальненні та обговоренні результатів).

Статті у наукових фахових виданнях України:

6. Максимів Н.Л. Особливості окиснювальних процесів під час кавітаційного очищення води від хімічних і біологічних забруднень / Максимів Н.Л., Старчевський В.Л., Коваль І.З., Фалик Т.С. // Вісник НУ «Львівська політехніка»: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2007. - №590. - С.270-274. (Дисертант брав участь у проведенні експериментальних досліджень з визначення органічних та біологічних забруднень, обробці та обговоренні результатів).
7. Вашкурак У.Ю. Використання кавітаційних технологій для очищення стічних вод пивоварні / У.Ю. Вашкурак, Т.С. Фалик, Л.І. Шевчук, І.З. Коваль. // Вісник НУ «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування. – № 868. – 2017. – С.267-273. (Дисертант брав участь у проведенні експериментальних досліджень з визначення впливу кавітації на зменшення забруднень в стоках пивоварні).

Опубліковані праці апробаційного характеру:

- 1.Фалик Т.С. Застосування ультразвуку для очищення води з різними типами забруднень / Фалик Т.С., Шевчук Л.І., Никулишин І.Є., Максимів Н.Л. // П'ята відкрита наукова конференція професорсько-викладацького складу Інституту прикладної математики та фундаментальних наук, Національний університет “Львівська політехніка”, 5-6 жовтня 2006 р: збірник тез доп. - Львів, 2006. – С. 112. (Дисертантом проведено визначення хімічного та біологічного забруднень)

2. Максимів Н.Л. Кавітаційне очищення води від хімічних та біологічних забруднень в атмосфері аргону / Максимів Н.Л., Старчевський В.Л., Коваль І.З., Фалик Т.С // Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених НТУУ “КПІ”, ХТФ, 26-28 квітня: збірка тез доповідей. – Київ, 2007. – С. 180. *(Дисертантом проведено визначення хімічного та біологічного забруднень та обговорення результатів)*
3. Максимів Н.Л. Особливості впливу аргону на процес очищення води від хімічних і біологічних забруднень в умовах акустичної кавітації / Максимів Н.Л., Старчевський В.Л., Коваль І.З. Фалик Т.С // Одинадцята наукова конференція Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, 16-17 травня: збірник тез доп. – Тернопіль 2007. – С. 174. *(Дисертантом проведено визначення хімічного та біологічного забруднень та обговорення результатів)*
4. Максимів Н.Л. Інтенсифікація процесів очищення води від хімічних та біологічних забруднень в умовах акустичної кавітації / Максимів Н.Л., Старчевський В.Л., Коваль І.З., Фалик Т.С. // Львівські хімічні читання – 2007: XII наукова конференція, 30 травня – 1 червня 2007 р.: тези доп. - Львів, 2007. – С. У57. *(Дисертантом проведено експериментальні дослідження з різними методами збурення кавітації)*
5. Starchevskyy V. Application of ultrasound for the sewage treatment of pharmaceutical enterprises / V.Starchevskyy, T.Falyk, I.Nykulyshyn, L.Shevchuk. // 11th meeting of the European society of sonochemistry, 01-05 june, 2008. – Le Grand-Motte, France.- 2008. – P.169. *(Дисертантом проведено визначення хімічного забруднення та обговорення результатів)*
6. Л.Шевчук. Віброкавітаційне очищення води від органічних та біологічних забруднень / Л.Шевчук, І.Коваль, Т.Фалик // II Міжнародна конференція «Актуальні проблеми хімії та технології органічних речовин «АРСТОС 2» 5-7 листопада 2015 р: збірник тез доп. - Львів, 2015. – С. 93. *(Дисертантом проведено визначення хімічного та біологічного забруднень)*
7. І Коваль. Вплив тривалості кавітаційного процесу на загибель спорогенних бактерій / І.Коваль, Л.Шевчук, Т.Фалик // II Міжнародна конференція «Актуальні проблеми хімії та технології органічних речовин «АРСТОС 2» 5-7 листопада 2015 р: збірник тез доп. - Львів, 2015. – С. 95. *(Дисертантом проведено визначення біологічного забруднення та обговорення результатів)*

Патенти:

1. Пат. України №108205. Вібраційний електронасос-кавітатор / Фалик Т.С., Шевчук Л.І., Старчевський В.Л., Строган О.І., Афтаназів І.С. // Заявл.21.12.2015, опубл. 11.07.2016, бюл.№13. *(Дисертантом проведено визначення оптимальних розмірів камери та обговорення результатів)*
2. Пат. України №126760. Спосіб віброрезонансного кавітаційного знезараження стічної води пивоваріння від дріжджів *Saccharomyces*. / Фалик Т.С., Шевчук Л.І., Старчевський В.Л., Афтаназів І.С. // Заявл.04.12.2017, опубл. 10.07.2018, бюл.№13. *(Дисертант брав участь у обґрунтуванні способу очищення та обговоренні результатів)*

АНОТАЦІЯ

Фалик Т.С. Екологічні проблеми крафтових пивоварень та способи їх вирішення. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 «екологічна безпека». – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2018.

В дисертаційному дослідженні розв'язана актуальна науково-практична задача - підвищення рівня екологічної безпеки гідросфери шляхом кавітаційного очищення стічних вод крафтових пивоварень.

Шляхом аналізу стадій виробництва крафтового пива проведена ідентифікація джерел екологічної небезпеки в зоні впливу крафтового пивоваріння. Встановлено, що найбільш небезпечним джерелом екологічної небезпеки є дріжджові стоки, яких виділяється 150-200 кг. на 1 т приготовленого пива. Саме ці стоки створюють найбільш суттєву екологічну небезпеку в зоні впливу виробництва крафтового пива. На мінімізацію цієї екологічної небезпеки направлені дисертаційні дослідження. Проведена оцінка ступеня екологічної небезпеки від забруднення довкілля в зоні впливу крафтового пивоваріння, на основі якої встановлено, що перспективною є двостадійна технологія очищення стоків: (1 стадія – фільтрування на дробині; 2 стадія – кавітаційна обробка). У випадку застосування різних способів створення кавітаційного поля досягаються такий ступінь очищення стоків від дріжджів: для ультразвуку - 90%; для віброрезонансного впливу – 80%; для застосування насоса-кавітатора – 60%. Побудовані залежності ступеня екологічної небезпеки внаслідок впливу на гідросферу стоків крафтового пивоваріння для різних способі очищення стоків та кількості дріжджів у стоках крафтового виробництва на різних стадіях очищення.

Показано, що фільтрація висококонцентрованих дріжджових стоків через шар дробини дозволяє знизити рівень біологічного забруднення майже у 200 разів, при цьому вміст органічного забруднення зменшується на 60%.

Експериментально підтверджено, що в атмосфері азоту при кавітаційному очищенні стічної води з різними вихідними параметрами досягнуто високого ступеня очищення (62-77%), порівняно з киснем (43-67%), суміші цих газів (39-63%) незалежно від початкової кількості органічних речовин. Встановлено відносний ряд ефективності газів (азот, кисень, суміш азоту і кисню) в кавітаційних умовах на знезараження від дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та деструкції органічних сполук. Встановлено, що спільна дія барботування газів у кавітаційному полі на 25-50% ефективніша порівняно із дією УЗ і на 19-23% - дії виключно газів, що свідчить про синергійний ефект одночасного застосування газу та УЗ для руйнування наявних у рідині органічних домішок:

Досліджено довготривалий вплив повітря на попередньо очищену в кавітаційних умовах стічну воду пивоварні та розраховано ступені руйнування органічних речовин – 87,09 % та ступені знезараження води – 88,23 %. Запропоновано спосіб кавітаційного очищення стоків пивоварень і для його реалізації розроблено вібраційний електронасос-кавітатор резонансної дії, основною перевагою якого є висока

продуктивність, придатність для обробки значних обсягів рідин у неперервному їх потоці у поєднанні довготривалим терміном роботи. Проведена оптимізація роботи вібраційного електронасоса- кавітатора в залежності від частоти коливань дек-збурювачів кавітації з метою виявлення резонансних частот та мінімального енергоспоживання.

Показано, що технологію кавітаційного очищення стічних вод можна поширити і на спиртову промисловість – в присутності азоту під дією кавітації досягається 90% ступінь руйнування органічних забруднень.

Запропоновано технологічну схему очищення стічних вод крафтових пивоварень від хімічних та біологічних забруднень, що включає віброкавітаційну обробку стоків у вдосконаленій робочій камері, принциповою відмінністю якої є наявність не плоских дек із отворами, які можуть забиватись продуктами розкладу дріжджів, а зміщення кавітаційної зони над деками, що дозволяє підвищити інтенсивність формованого кавітаційного поля та продуктивність обробки стоків.

Ключові слова: екологічна безпека, крафтове пивоваріння, дріжджовмісні стоки, кавітація, електромагнітний насос-кавітатор, технологія очищення стоків.

АННОТАЦИЯ

Фалик Т.С. Экологические проблемы крафтовых пивоварен и способы их решения. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.01 «экологическая безопасность». - Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2018.

В диссертационном исследовании решена актуальная научно-практическая задача: повышение уровня экологической безопасности гидросферы путем кавитационной очистки сточных вод крафтовых пивоварен.

Путем анализа стадий производства крафтового пива проведена идентификация источников опасности в зоне влияния крафтового пивоварения. Установлено, что наиболее опасным источником опасности является дрожжевые стоки, которых образуются 150-200 кг на 1 т выпущенного пива. Именно эти стоки создают наиболее существенную экологическую опасность в зоне влияния производства крафтового пива, на минимизацию этой опасности направлены диссертационные исследования. Проведена оценка степени экологической опасности от загрязнения окружающей среды в зоне влияния крафтового пивоварения, на основе которой установлено, что перспективным является двухстадийная технология очистки стоков (1 стадия – фильтрование на дробине, 2 стадия - кавитационная обработка). В случае применения различных способов создания кавитационного поля достигаются такие степени очистки стоков от дрожжей: для ультразвука - 90%; для виброрезонансного влияния – 80%; для применения насоса-кавитатора - 60%. Построенные зависимости степени экологической опасности вследствие воздействия на гидросферу стоков крафтовой пивоварения для различных способов очистки стоков и количества дрожжей в стоках крафтового производства на различных стадиях очистки.

Показано, что фильтрация высококонцентрированных дрожжевых стоков через слой дробины позволяет снизить уровень биологического загрязнения почти в 200 раз, при этом содержание органического загрязнения уменьшается на 60%.

Экспериментально подтверждено, что в атмосфере азота при кавитационной очистке сточной воды с различными исходными параметрами достигнуто высокой степени очистки (62-77%) по сравнению с кислородом (43-67%), смеси этих газов (39-63%) независимо от исходного количества органических веществ и установлено относительный ряд эффективности газов (азот, кислород, смесь азота и кислорода) в кавитационных условиях от дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и деструкции органических соединений. Установлено, что совместное действие барботирования газов в кавитационном поле на 25-50% эффективнее по сравнению с действием УЗ и на 19-23% - действия исключительно газов, что свидетельствует о синергическом эффекте одновременного применения газа и УЗ для разрушения имеющихся в жидкости органических примесей:

Исследовано долговременное влияние воздуха на предварительно очищенную в кавитационных условиях сточную воду пивоварни и рассчитаны степени разрушения органических веществ - 87,09% и степени обеззараживания воды - 88,23%. Предложен способ кавитационной очистки стоков пивоварен и для его реализации разработаны виброрезонансный электронасос-кавитатор резонансного действия, основным преимуществом которого является высокая производительность, пригодность для обработки значительных объемов жидкостей в непрерывном их потоке в сочетании с длительным сроком работы. Проведена оптимизация работы вибрационного электронасоса-кавитатора в зависимости от частоты колебаний дек-создателей кавитации с целью выявления резонансных частот и минимального энергопотребления.

Показано, что технологию кавитационной очистки сточных вод можно распространить и на спиртовую промышленность - в присутствии азота под действием кавитации достигается 90% степень разрушения органических загрязнений.

Предложена технологическая схема очистки сточных вод крафтового пивоварения от химических и биологических загрязнений, включая виброкавитационную обработку стоков в усовершенствованной рабочей камере, принципиальным отличием которой является наличие не плоских дек с отверстиями, которые могут забиваться продуктами разложения дрожжей, а смещение кавитационной зоны над деками, что позволяет повысить интенсивность формируемого кавитационного поля и производительность обработки стоков.

Ключевые слова: экологическая безопасность, крафтовое пивоварение, дрожжесодержащие стоки, кавитация, электромагнитный насос-кавитатор, технология очистки стоков.

SUMMARY

Falyk T.S. Ecological problems of craft breweries and methods of its solving.

Qualification scientific work manuscript

Dissertation work for achieving of scientific grade of candidate of technical sciences [PhD] in speciality 21.06.01 «ecological safety». – Lviv Polytechnic National University, Ministry of education and science of Ukraine, Lviv, 2018.

Dissertation is solving relevant scientific-practical task: increase of the level of ecological safety of hydrosphere by cavitation purification of craft breweries waste waters.

Through analysis of craft beer manufacturing stages was made an identification of sources of ecological threat in the zones of influence of craft breweries. It was established that main source of ecological threat are yeast waste waters, that are produced in quantities 150-200 kg from 1 t of manufactured beer. This waste waters create the biggest ecological threat in the zone of manufacturing of the craft beer and dissertation research is aimed on minimization of this threat.

The evaluation of the level of the ecological threat of environmental pollution in the zone of manufacturing of craft beer was conducted and based on this evaluation it was established that the most perspective is two-staged technology of purification of the waste waters (1 stage – mash filtration; 2 stage – cavitation treatment). In cases of use of different cavitation field creation techniques, the following yeast purification levels are reached: for ultrasound – 90%, for vibroresonance treatment – 80%, for cavitation pump – 60%. Dependencies of the ecological threat levels as a result of influence on hydrosphere of craft brewing waste waters for different purification techniques and amounts of yeasts in waste waters on different purification stages are build.

It is shown that mash filtration of highly concentrated yeast waste waters allows to decrease biological pollution in almost 200 times, while organic pollution decreases on 60%.

It was experimentally proven that in nitrogen environment at cavitation purification of waste waters with different starting parameters was reached higher level of purification (62%-77%) in comparison with oxygen environment (43%-67%) and mixture of mentioned gases (39%-63%), without dependence from starting amounts of organic compounds and was determined a relative row of efficiency of gases (nitrogen, oxygen, air) at cavitation conditions for *Saccharomyces cerevisiae* yeast disinfection and destruction of organic compounds.

It was determined that simultaneous impact of gas bubbling in cavitation field is 25-50% more effective than impact of individual ultrasound and 19-23% than impact of individual gas bubbling, and this proves existing of synergic impact of simultaneous use of gas bubbling and ultrasound on destruction of organic impurities in solution

Long-term impact of air on previously purified in cavitation conditions waste water from brewery was researched and levels of destruction of organic compounds – 87,09% and water disinfection – 88,23% were calculated.

Method of cavitation purification of the brewery waste waters is proposed and for its implementation electrical pump-cavitator of resonance action, main advantages of which is high productivity, possibility of processing large amounts of waste waters in constant flow and long service term, is created. Optimization of vibration electrical pump-

cavitator work in dependence from frequency of fluctuations of cavitation decks is conducted for determination of the resonance frequencies and minimal energy consumption.

It is shown that technology of cavitation purification of waste waters can be applied in alcohol manufacturing – in the presence of nitrogen under cavitation treatment is achieved 90% destruction of organic pollutants.

Technological scheme of craft breweries waste waters purification from chemical and biological pollutants is proposed. This scheme includes cavitation treatment of waste waters in improved working chamber, that doesn't contain flat decks with holes, that can be blocked by products of yeast decomposition, but shifting of cavitation zone above decks, that allows to intensify formed cavitation field and productivity of waste waters treatment.

Key words: ecological safety, craft brewery, yeast-containing waste waters, cavitation, electromagnet pump-cavitator, technology of waste waters purification.