

*Drag Reduct. 3rd Int Conf. Bristol, 1984. – P. D4/1-D4/5. 3. Небера В.П. Флокуляція мінеральних суспензій. – М.: Недра, 1983. – 288 с. 4. Дулеба В.П. Фільтраційне сушіння осажденного полиакриламиду: дис. ... канд. техн. наук 05.17.08. – Львів, 1997. – 175 с.*

УДК 66.084

**Л.М. Предзимірска, Л.І. Шевчук, О.З. Кондратович\***  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра технології органічних продуктів,  
\*кафедра загальної хімії

## **ДЕЗІНФІКУЮЧИЙ ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА ПРОЦЕС ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ПИВОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА**

© Предзимірска Л.М., Шевчук Л.І., Кондратович О.З., 2013

**Досліджено вплив ультразвукової кавітації в атмосфері азоту, гелію та повітря на знезараження мікроорганізмів у процесах очищення стоків бродильних виробництв. З одержаних результатів дослідження встановлено, що вищу ефективність проявляє барботування азоту в ультразвуковому полі на стоки пивоварної промисловості.**

**Ключові слова:** ультразвук (УЗ), знезараження, пивоварна промисловість, природа газу, мікроорганізми, кавітація.

**The influence of ultrasonic cavitation in the atmosphere of nitrogen, helium and air on microbial decontamination in sewage purification processes of fermentation industries has been investigated. Based on the obtained results, it was found that ultrasonic agitation of nitrogen for the drains of the brewing industry manifests higher efficiency.**

**Key words:** ultrasound (US), disinfection, brewing industry, nature of gas, microorganisms, cavitation.

**Постановка проблеми.** Основною проблемою технології та екології харчової промисловості є проблема очищення стоків. Пивоварне виробництво пов'язане з великими витратами води, основна кількість яких і утворює виробничі стоки. Знезараження стоків забезпечує використання очищеної води під час миття обладнання, пляшок як теплоносія, а якісне знезараження стоків збільшує діапазон застосування очищеної води і як компонента готової продукції під час гідротранспортування сировини, і під час змочування зерна.

Незважаючи на існування різноманітних технологій утилізації відпадків пивоварної промисловості, більшість стічних вод скидаються у відстійники, внаслідок чого утворюються невідновлювані відпадки та спостерігається низький ефект очищення від біологічних забруднень.

Постійне погіршення біологічного складу стоків і водночас закономірне підвищення вимог до якості очищеної води диктує необхідність створення нових методів обробки води.

Одним з актуальних завдань під час знезараження питної води, а також промислових і побутових стоків є застосування технології, яка не використовує хімічні реагенти, тобто технології, яка не приводить до утворення в процесі знезараження токсичних сполук (як у випадку застосування сполук хлору) за одночасного повного знищення патогенної мікрофлори. Найбезпечнішими з безреагентних способів знезараження є фізичні методи.

У цій роботі як фізичний чинник очищення забрудненої води від різних мікроорганізмів застосовується ультразвук (УЗ). Знезараження та очищення води ультразвуком вважається одним з

новітніх методів дезінфекції води як від органічних, так і від біологічних забруднень, а його висока ефективність дає змогу говорити про перспективність цього методу знезараження стічних вод не лише харчової промисловості, але і хімічної.

Оскільки сьогодні не визначені такі важливі параметри, як залежність ступеня інактивації мікроорганізмів від природи газу, яким насичене досліджуване середовище за певних потужностей УЗ-впливу та умови, за яких забезпечується ефективне знезараження УЗ-обробкою. Для практичного застосування будь-якого методу знезараження необхідно мати критерії та способи контролю ефективності процесу. Тому актуальним є дослідження впливу ультразвуку як альтернативного засобу утилізації та ефективного очищення стічних вод для пивоварної промисловості.

**Мета роботи** – дослідити закономірності застосування ультразвукової кавітації в атмосфері різних газів на процес знезараження стоків бродильних виробництв.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує багато способів утилізації стічних вод пивоварного виробництва. На першому етапі виділяють пивні дріжджі для медичних та кормових цілей. Сьогодні розпочаті дослідження з вирощування водоростей на стічних водах з метою отримання біомаси для відгодівлі худоби, але промислове виробництво їх здійснено лише на окремих підприємствах [1].

Основним традиційним методом біологічного очищення стічних вод є їх оброблення активним мулом в аеротенках. Складну для вирішення еколого-технологічну проблему створює за такої технології надлишковий мул. Його дуже багато і він містить небезпечні мікроорганізми, яйця гельмінтів, а також іони важких металів, біологічно стійкі, токсичні і навіть мутагенні сполуки тощо [2].

Поряд з біологічним методом, одним з перспективних, але мало вивчених напрямків інтенсифікації біотехнології водоочищення є використання ультразвукових коливань. Специфічність ультразвукового впливу на водні системи зумовлює можливість та доцільність його використання у процесах глибокого очищення стоків, включаючи знезараження. Простота апаратурного оформлення та технологічність ультразвукового методу – додатковий аргумент для впровадження його у практику водоочищення.

Ця технологія передбачає використання широковідомого механізму бактерицидної дії ультразвукових коливань на небезпечні мікроорганізми. Суть очищення стічних вод ультразвуковими генераторами полягає у тому, що коливання наносять механічні пошкодження живим клітинам мікроорганізмів, ведучи до їх руйнування і загибелі, а також до хімічного розкладу органічних речовин, які були наявні у воді.

Дослідження ультразвукового знезараження стічної води показали, що зменшення *E. coli* або фекальних коліформ на три порядки досягається за обробки води ультразвуком протягом 60 хв та потужності УЗ 400 Вт/л [3]. Сумісне застосування  $H_2O_2$ /УЗ приводить до 95 % знезараження *E. coli* вже через 15 хв порівняно з 13 % зниженням за дії самого  $H_2O_2$ . А за дії  $O_3$ /УЗ ефективність знезараження збільшується в 1,6 раза порівняно з дією  $O_3$  [4].

Ультразвукові коливання (УЗК) виявляють згубну дію на найрізноманітніші мікроорганізми – патогенні і непатогенні, анаеробні й аеробні, вегетативні і спорові, а також руйнують продукти їхньої життєдіяльності. Дослідження впливу газів різної природи в озвучуваному середовищі проводилися на окремих видах мікроорганізмів. Було встановлено, що ультразвук має згубний вплив на бактерії роду *Sarcina*, *Pseudomonas* [5], *Bacillus* [6] в атмосфері газів (кисень, аргон, гелій, вуглекислий газ). Ефективність бактерицидної дії УЗК залежить від багатьох обставин: параметрів цього фізичного чинника (інтенсивності, частоти коливань, потужності); деяких фізичних особливостей середовища, що озвучується (температура, в'язкість); морфологічних особливостей збудника (розмірів і форми бактеріальної клітини, наявності капсули, хімічного складу мембрани, віку культури).

**Експериментальна частина.** Об'єктом дослідження була стічна вода із приватної пивоварні “Кумпель”. Після проведення ідентифікації мікрофлори стічної води виявлено, що в найбільшій кількості в досліджуваних стоках були присутні дріжджі роду *Saccharomyces*. Згідно із попередніми проведеними дослідженнями [5] і враховуючи встановлений ряд згубної дії газів на цей тип мікроорганізмів високу ефективність проявляє гелій. Тому доцільно було дослідити вплив інертного газу, а також азоту і повітря на стоки пивоварної промисловості.

Реактор з досліджуваними стоками безперервно охолоджувався проточною водою. УЗ-коливання частотою 22 кГц від генератора УЗДН-2Т передавали за допомогою магнітострикційного випромінювача, зануреного в об'єм досліджуваної рідини (150 см<sup>3</sup>). Досліди проводили за нормальних умов протягом 2 год. Кількість мікроорганізмів визначали підрахунком колонії у чашках Петрі, в які висівали пробу води на поживне середовище та інкубували за температури 37 °С тривалістю 48 год.

Оскільки початкова концентрація мікроорганізмів у досліджуваному розчині під час оброблення в атмосфері різних газів та під дією ультразвуку була в діапазоні 100000~10000 кл/мл, то для порівняння зміни вмісту мікробного числа (МЧ) розраховували залежність зміни відносної кількості мікроорганізмів до їх початкової кількості у часі.

Під час озвучування досліджуваної води в атмосфері гелію (рис. 1) спостерігався спад мікробного числа протягом усього процесу. Вже протягом перших 30 хв настає зменшення мікробних клітин в 1,3 раза, через 60 хв – в 2,1 раза. В кінці процесу мікробне число становить 7100 кл/мл, що в 23 рази менше від початкового значення.

Щодо використання самого газу, то спостерігаємо збільшення мікробного числа протягом перших 30 хв з 10600 до 18100 кл/мл, що може свідчити про розбивання бульбашками газу колоній бактерій в поодинокі, і тому їх кількість зростає. Окрім того, досліди проводилися у відкритому реакторі, тобто, крім гелію, який барботувався, був вільний доступ повітря. А дріжджі роду *Saccharomyces* належать до аеробних, тому їх незначне зростання протягом перших 30 хв є аргументоване.

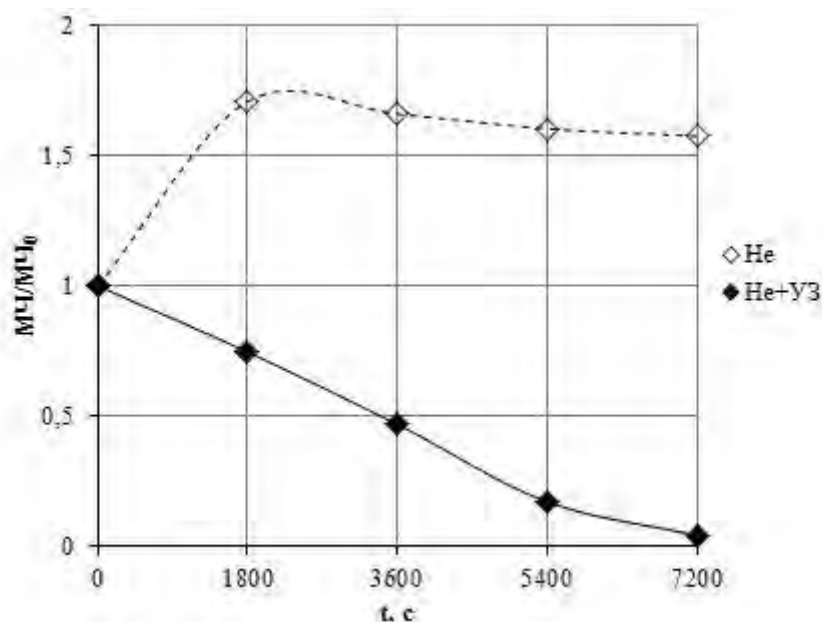


Рис. 1. Залежність відношення мікробного числа стічної води пивоварні “Кумпель” від часу в атмосфері гелію

Подальше перенасичення реакційного середовища після 30 хв досліджуваним газом призупиняє ріст мікроорганізмів, і як бачимо з рис. 1, мікробне число в атмосфері гелію знаходиться в діапазоні 18100 – 16700 кл/мл.

Ефективність дії УЗ в атмосфері гелію є беззаперечною. Зменшення мікробного числа пов'язане з інактивацією мікроорганізмів під час озвучення, що спричиняє фізичні, механічні та хімічні ефекти, які виникають за акустичної кавітації. За колапсу кавітаційної бульбашки утворюється енергія, достатня для послаблення чи руйнування клітин мікроорганізмів; хімічним ефектом кавітації є формування радикалів  $\text{H}\cdot$  і  $\cdot\text{OH}$ . Ці радикали атакують хімічну структуру стінок дріжджових клітин і послаблюють її, викликаючи деструкцію.

Під час продування самого повітря через стічну воду пивоварні спостерігається незначне зменшення мікробного числа з 18000 до 13950 кл/мл, що в 1,29 раза менше від вихідного значення (рис. 2). Як бачимо, вже протягом перших хвилин барботування повітря відбувається перенасичення реакційного середовища, що унеможливило ріст дріжджових клітин, на відміну від барботування самого гелію.

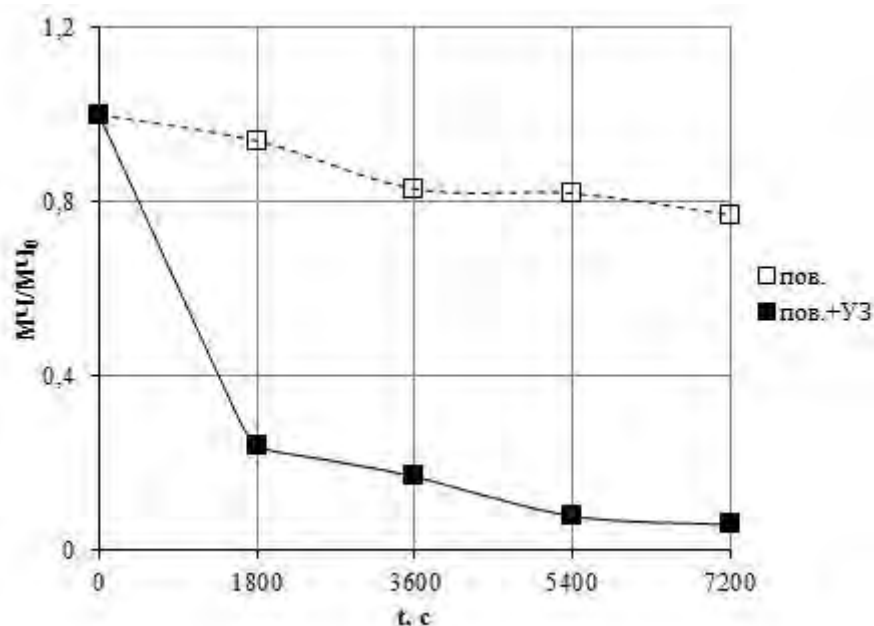


Рис. 2. Залежність відношення мікробного числа стічної води від часу в атмосфері повітря

Під час озвучування досліджуваної води в атмосфері повітря вже в перші 30 хв спостерігається різке зменшення мікробних клітин у 4 рази. В кінці процесу мікробне число становить 1100 кл/мл, що в 16,4 раза менше порівняно з початковим значенням, 18000 кл/мл.

Під час використання самого азоту відбувається зменшення мікробного числа від 15020 до 11720 кл/см<sup>3</sup>, тобто в 1,31 раза (рис. 3). При озвученні досліджуваної води в атмосфері азоту спостерігається спад мікробного числа протягом усього процесу. Протягом перших 30 хв відбувається зменшення мікробного числа в 16,8 раза. В кінці після 120 хв впливу ультразвукових хвиль та азоту МЧ становить 217 кл/см<sup>3</sup>, що в 69,2 раза менше від початкового значення 15020 кл/мл.

За насичення води тим чи іншим газом полегшується утворення кавітації, і тим самим підвищується бактерицидний ефект, залежно від присутнього газу. Отримані результати підтверджують ефективність спільного використання ультразвуку і барботування газу.

Під час дослідження впливу природи газу на процес знезараження промислових стоків пивоварні було встановлено, що дещо більший ефект досягається за використання азоту, ніж повітря чи гелію (рис. 4). Під час продування азотом стічна вода очищається в 6 разів ефективніше порівняно з повітрям, і в 4 рази – порівняно з гелієм.

За дії азоту та УЗ в перші 30 хв відбувається значне зменшення мікробного числа в 16,8 раза, а за дії повітря та УЗ – в 16,4 раза. Бактерицидний вплив ультразвуку зростає зі збільшенням тривалості обробки води.

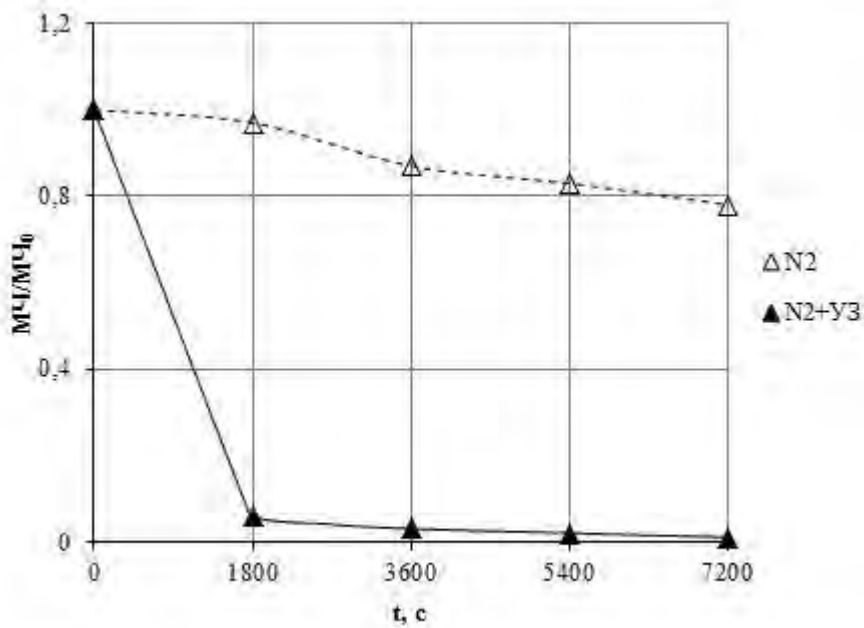


Рис. 3. Залежність відношення мікробного числа стічної води від часу в атмосфері азоту

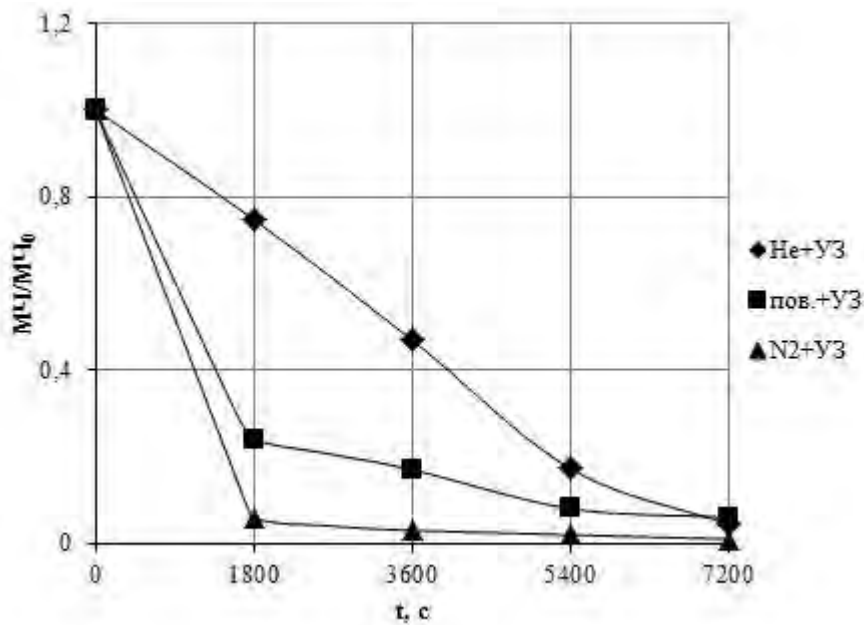


Рис.4. Звукохімічна залежність відношення мікробного числа стічної води від часу в атмосфері азоту

Процес звукохімічного водоочищення від біологічних забруднень підпорядковується реакції першого порядку, що підтверджує спрямлення (рис. 5) в координатах  $(\ln(MЧ/МЧ_0); t)$ .

Визначені ефективні константи швидкості (таблиця) підтверджують, що для знезараження стічних вод найефективнішим є використання УЗ із барботуванням крізь досліджувану воду азоту ( $k=7,4 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$ ) (таблиця).

Отже, проведені дослідження вказують на ефективність використання азоту як дезінфікуючого агента в УЗ-полі, що свідчить про доцільність його використання під час очищення виробничих стоків.

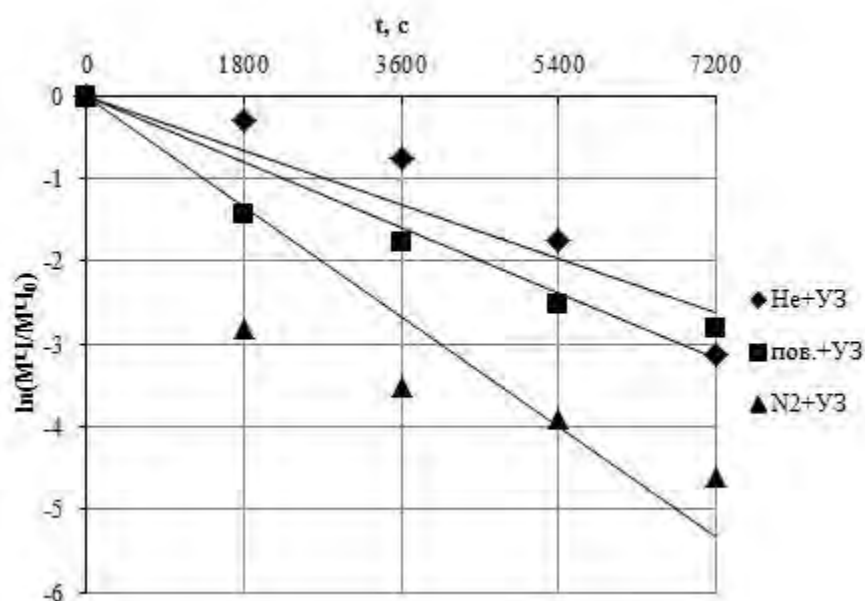


Рис. 5. Напівлогарифмічна анаморфоза звукохімічної залежності МЧ від часу в атмосфері різних газів

**Зведена таблиця ефективних констант швидкостей відмирання мікроорганізмів залежно від природи барботованого газу**

Досліджуваний газ	$k \cdot 10^4, c^{-1}$	
	з УЗ	без УЗ
Гелій	3,63	0,25
Повітря	4,41	0,38
Азот	7,40	0,34

**Висновки.** Одержані результати свідчать про ефективність застосування ультразвуку під час оброблення стічних вод пивоварної промисловості. Барботування газу в ультразвуковому полі приводить до зменшення кількості мікроорганізмів, що сприяє підвищенню якості проведення процесу очищення стічних вод. Порівняльний аналіз показав, що в процесі водоочищення найефективнішим є вплив ультразвуку і газу одночасно. Причому залежно від природи газу досягається різного ступеня знезараження. Завдяки сумісному впливу ультразвуку і азоту ступінь очищення становить 98,6 % порівняно з гелієм (95,64 %) і повітрям (93,9 %). Спільне використання ультразвуку і азоту забезпечує синергетичний ефект і в такий спосіб уможливорює інтенсифікувати процес очищення виробничих стоків.

1. Малюжко О.В., Салюк А.І., Нікітін Г.О. Одержання біогазу і кормової біомаси завдяки утилізації стічних вод пивоварного виробництва // Наукові праці УДУХТ. – 2001. – №1. – С.159.  
 2. Гвоздяк П. За принципом біоконвеєра. Біотехнологія охорони довкілля // Вісн. НАН України. – 2003. – № 3. – С. 29–36.  
 3. Василяк Л.М., Кудрявцев Н.Н., Костюченко С.В., Зайцева С.Г., Смирнов А.Д. Применение ультразвука для обеззараживания воды // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – N 8. – С.6–9.  
 4. Doosti M.R., Kargar R., Sayadi M.H. Water treatment using ultrasonic assistance: A review // Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences. – 2012. – №2(2). – P.96–110.  
 5. Шевчук Л.І., Коваль І.З., Старчевський В.Л., Никулишин І.Є. Вплив ультразвуку на бактеріальне знезараження води залежно від присутнього газу // Вісник НУ “ЛП”. – 2008. – № 609. – С.265–268.  
 6. Коваль І.З., Шевчук Л.І., Старчевський В.Л. Инактивация бактерий рода *Bacillus* в условиях акустической кавитации // Вопросы химии и химической технологии. – 2009. – № 6. – С.133–135.