

Л.І. Шевчук, І.З. Коваль*, В.Л. Старчевський*, І.Є. Никулишин*

Національний університет "Львівська політехніка"

кафедра загальної хімії

*кафедра технології органічних продуктів

ВПЛИВ УЛЬТРАЗВУКУ НА БАКТЕРІАЛЬНЕ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ЗАЛЕЖНО ВІД ПРИСУТНЬОГО ГАЗУ

© Шевчук Л.І., Коваль І.З., Старчевський В.Л., Никулишин І.Є., 2008

Досліджено дію газів різної природи за одночасного застосування ультразвуку на очищення досліджуваної води від сторонньої мікрофлори. Порівнянням констант швидкості відмирання бактеріальних клітин визначено ефективність впливу газів в умовах кавітації, що приводить до знезараження води.

The action of nature of different gases at the simultaneous usage of ultrasound on the purification of investigated water from outside mikroflori has been investigated. The efficiency of gas influence under cavitation conditions that brings to disinfection of water has been determined by the way of comparing of velocity constants of bacterial cells disappearance.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими завданнями. Застосовувані сьогодні в промисловості методи хімічного знезараження забруднених вод не відповідають сучасним вимогам щодо забезпечення певної глибини її оброблення. Тому широко використовуються фізичні методи знезараження стічних і природних вод. У цій роботі як фізичний чинник очищення забрудненої води від різних мікроорганізмів використовується ультразвук (УЗ). Його дія спричиняє руйнування мікробних клітин. Розпад бактеріальних та інших клітин спостерігається тоді, коли інтенсивність акустичних коливань є достатньою для утворення кавітаційних бульбашок в середовищі, що озвучується. Ефективність процесу знезараження води залежить як від інтенсивності і тривалості озвучування, так і від природи досліджуваного газу. Тому було запропоновано такий ряд газів: кисень, аргон, гелій, вуглекислий газ, які барботували через забруднену воду, причому частота і тривалість дії УЗ були однаковими. Саме при використанні цих газів визначалась ефективність озвучування на процес очищення води, що й є завданням цієї роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] досліджено, що УЗ-оброблення внаслідок інтенсивного утворення мікропотоків рідини підвищує ефект знезараження води під час хлорування. Вивчення дії ультразвуку на дріжджові клітини в присутності кисню, аргону, вуглекислого газу та повітря наведено у [2]. Внаслідок озвучування досліджуваної суспензії спостерігалось відмирання дріжджів. За двохвилинної дії ультразвуку на суспензію, яку насичували повітрям, кількість загиблених клітин становить 77 %, а вже за 10-хвилинної – 85–90 %.

Мета роботи – дослідити дію кавітації на процес знезараження води в присутності газів різної природи.

Експериментальна частина. У воді, яку використовували в експериментах, попередньо були виявлені аеробні, анаеробні і факультативні бактерії, тому об'єктами дослідження у цій роботі були штучно створені модельні середовища, які одержали при внесенні до досліджуваної води бактерії роду *Sarcina* (роду *Coccaceae*) та *Pseudomonas fluorescens*, а також дріжджів роду *Saccharomycetes*. Досліди проводились за $P = 1 \cdot 10^5$ Па, частоти УЗ-коливань – 22 кГц та $T = 298$ К. Кількість мікроорганізмів визначали, підраховуючи колонії у чашках Петрі, в які висівали озвучену суспензію на м'ясопептонний агар.

Вода, насичена тим чи іншим газом, сприяє підвищенню бактерицидного ефекту та легшому утворенню кавітації. Відомо, що інертні або благородні гази (Ar, Ne), не володіючи реакційною

здатністю, мають вплив на знищення мікроорганізмів в полі УЗ-хвиль [3]. Але для різних газів ця дія неоднакова. Значною мірою швидкість мікробної загибелі залежить від природи газу, яким насичують досліджувану воду і піддають дії ультразвуку.

На рис. 1 показано найвищий ефект дії кисню в УЗ-полі на дріжджі роду *Saccharomyces*, хоча протягом перших 30 хв кисень проявляє найменшу ефективність порівняно з іншими газами. Найвища швидкість відмирання через цей самий час відповідає бактеріям роду *Pseudomonas fluorescens*. Тривала дія ультразвуку в атмосфері кисню дає змогу покращати і прискорити процес очищення води від сторонньої мікрофлори, проте для різних мікроорганізмів по-своєму. Так, через дві години озвучування ступінь знезараження в атмосфері кисню для дріжджів зростає з 53,8 до 99,7 %, тобто збільшується в 1,9 раза, проти 1,2 раза для процесу знешкодження бактерій роду *Sarcina* і лише 1,06 раза – від бактерій *Pseudomonas fluorescens* за цей самий проміжок часу.

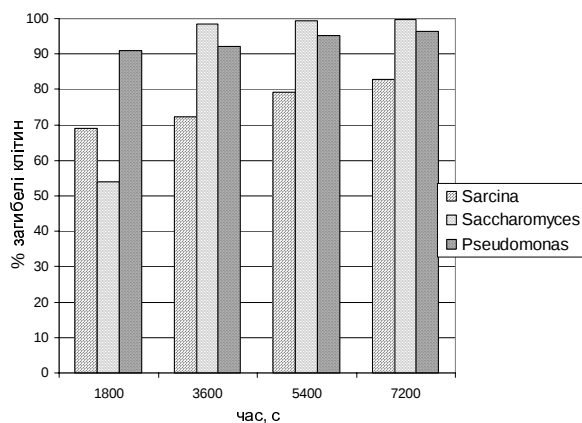


Рис. 1. Залежність ступеня знезараження води в модельних середовищах від часу озвучування за $T = 298\text{ K}$, $P = 1 \cdot 10^{-5}\text{ Па}$, УЗ – 22 кГц в атмосфері кисню

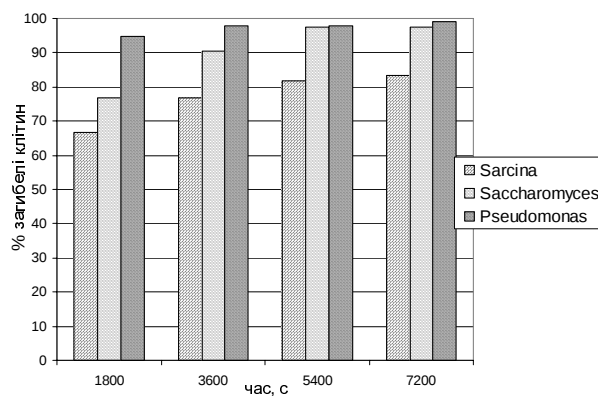


Рис. 2. Залежність ступеня знезараження води в модельних середовищах від часу озвучування за $T = 298\text{ K}$, $P = 1 \cdot 10^{-5}\text{ Па}$, УЗ – 22 кГц в атмосфері вуглекислого газу

Процес знезараження води підпорядковується реакції першого порядку. Чим вище значення константи швидкості інактивації клітин, тим більше відмирає бактерій. Руйнування дріжджів під впливом УЗ і кисню характеризується найвищим числом константи відмирання – $8,7 \cdot 10^{-4}\text{ с}^{-1}$ (таблиця), що й підтверджує їхню ефективну бактерицидну дію на водні розчини насиченими дріжджовими клітинами, порівняно з дією кисню і УЗ на бактерії роду *Sarcina* – $2,0 \cdot 10^{-4}\text{ с}^{-1}$ і $4,1 \cdot 10^{-4}\text{ с}^{-1}$ – для *Pseudomonas fluorescens*. Дріжджі, як виявилось, легко піддаються руйнуванню в присутності кисню і в кінцевому підсумку через дві години дії ультразвукових хвиль досягається найвищий ступінь очищення води.

Вплив вуглекислого газу (рис. 2) проявляє найкращу знезаражувальну дію протягом усього процесу при озвучуванні модельного середовища, до якого штучно внесли бактерії роду *Pseudomonas fluorescens*. Особливо чітко це видно на 30-й хвилині озвучування. Відсоток загибелі бактеріальних клітин впродовж двогодинного озвучування становить 99,0 %. Внаслідок проведених досліджень досягнуто практично повне знищення внесених мікроорганізмів. Проте спостерігається повільний перебіг процесу руйнування бактерій роду *Sarcina*. Його ступінь знезараження збільшується лише до 83,3 % порівняно з одночасною дією УЗ і вуглекислого газу на бактерії роду *Pseudomonas fluorescens*, для яких відсоток загибелі після двогодинного озвучування становить 99,0 %. Про вищу бактерицидну дію вуглекислого газу на факультативні анаероби знову ж таки свідчить константа швидкості інактивації клітин (таблиця) і вона становить $6,0 \cdot 10^{-4}\text{ с}^{-1}$. Найменша величина константи швидкості загибелі клітин встановлена для бактерій роду *Sarcina* – $2,4 \cdot 10^{-4}\text{ с}^{-1}$.

Згідно з рис. 3 найвища ефективність досягається у разі подачі аргону в полі УЗ-хвиль при використанні дріжджової суспензії. Кінцевий результат процесу знезараження становить 99,5 %. Якщо розглядати константу інактивації клітин дріжджів в атмосфері аргону, то вона становить

$7,5 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$ (таблиця) і є майже вдвічі більшою від величини константи загибелі факультативних анаеробів – $3,9 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$. Отже, дія аргону характеризується майже вдвічі більшим бактерицидним ефектом на дріжджові клітини (на 48 %) порівняно з дією на *Pseudomonas*.

Проте, якщо порівнювати вплив різних газів на конкретно взяті мікроорганізми, то слід зазначити, що аргон проявляє найвищу бактерицидну дію на бактерії роду *Sarcina* порівняно з киснем, вуглекислим газом та гелієм. Ступінь руйнування клітин в його присутності вже через 90 хв становить 97,0 %, тоді як в присутності кисню за цей відлік часу – 79,3 %, для вуглекислого газу – 81,3 % і для гелію – 84,4 %. Тому подальша дія аргону не досліджувалась на відміну від інших газів, оскільки його впливу достатньо 90 хв, щоб досягнути найвищого ступеня очищення води, яка вже через цей час відповідає вимогам ДЕСТу.

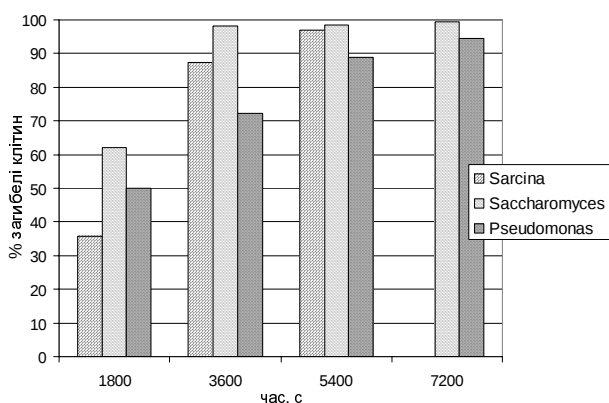


Рис. 3. Залежність ступеня знезараження води в модельних середовищах від часу озвучування за $T = 298 \text{ K}$, $P = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$, $UЗ = 22 \text{ кГц}$ в атмосфері аргону

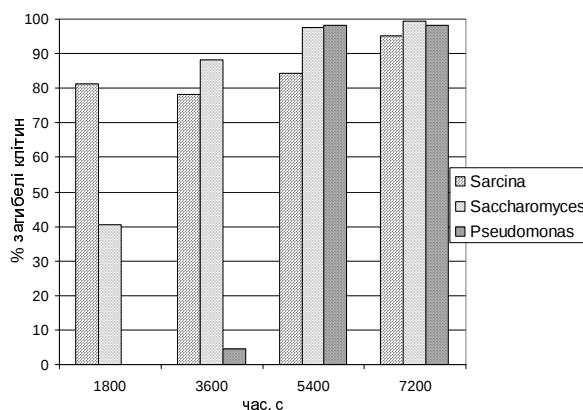


Рис. 4. Залежність ступеня знезараження води в модельних середовищах від часу озвучування за $T = 298 \text{ K}$, $P = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$, $UЗ = 22 \text{ кГц}$ в атмосфері гелію

На рис. 4 спостерігається найбільша ефективність загибелі дріжджів роду *Saccharomyces* за дії УЗ і гелію. Через 30 хв відмирає 40,5 % від їхньої кількості, а через 2 год – 99,3 %. Для *Pseudomonas fluorescens* на 30-й хвилині не спостерігається бактерицидного ефекту, на 60-й хвилині ступінь знезараження становить лише 4,6 %, а внаслідок двогодинного озвучування – 98,1%. Це пов'язано з тим, що протягом перших 30 хв контакту мікроорганізмів з ультразвуком і гелієм досліджуваний газ затримує вияв антимікробного ефекту озвучування. Спричинені тонкі біохімічні пошкодження не зумовлювали загибелі клітин, тому відбувалось нагромадження факультативних анаеробів. Лише тривалий вплив УЗ-хвиль і постійна подача гелію привели до досягнення високої бактерицидної дії.

Зведена таблиця констант швидкостей відмирання клітин популяції протягом двох годин дії УЗ за $T = 298 \text{ K}$, $P = 1 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$, $UЗ = 22 \text{ кГц}$

Досліджуваний газ	$k \cdot 10^4, \text{ c}^{-1} \text{ з УЗ}$		
	Sarcina	Pseudomonas	Saccharomyces
Кисень	2,0	4,1	8,7
Вуглекислий газ	2,4	6,0	5,6
Гелій	3,5	4,8	6,3
Аргон	6,7	3,9	7,5

Константа швидкості загибелі дріжджів в УЗ-полі і барботуванні модельного середовища гелієм протягом двох годин становить $6,3 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$ (таблиця), а найменша бактерицидна дія виникає за впливу гелію на бактерії роду *Sarcina* ($k = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$). Отже, гелій в результаті досліджень

виявився найслабшим антимікробним агентом під час озвучування суспензії з підвищеним вмістом аеробних бактерій (рід *Sarcina*), але його варто використовувати для процесу знезараження води від *Pseudomonas fluorescens*, про що й говорилося вище. Це знову ж таки вказує на те, що руйнування мікробних клітин значною мірою залежить від того, в атмосфері якого газу проводилося озвучування.

Отже, використання УЗ-оброблення природної води в присутності різних газів дає змогу одержати високий антимікробний ефект, що приводить до покращання санітарно-епідеміологічних показників якості води.

1. Кульский Л.А., Строкач П.П. *Технология очистки природных вод.* – К.: Вища шк., 1986. – 352 с.
2. Комолова Г.С., Левинсон М.С. Действие ультразвука на дрожжевые клетки в зависимости от характера присутствующего газа // *Известия Сибирского отд.* – 1960. – 11. – С. 130–134.
3. Финкельштейн Д.Н. *Инертные газы.* – 2-е изд. – М.: Наука, 1979. – 200 с.

УДК 66.684

Н.Л. Максимів, В.Л. Старчевський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра загальної хімії

ВПЛИВ КОНЦЕНТРАЦІЇ БАКТЕРІАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ НА ВЕЛИЧИНУ ХІМІЧНОГО СПОЖИВАННЯ КИСНЮ

© Максимів Н.Л., Старчевський В.Л., 2008

Досліджено вплив концентрації біологічного забруднення у воді на зміну величини хімічного споживання кисню (ХСК) води. Результати показують, що збільшення концентрації бактерій у воді не має значного впливу на величину ХСК стічної води. Величина хімічного споживання кисню визначається концентрацією живих клітин бактерій, водорозчинних продуктів їх руйнування та концентрацією органічного забруднення. Протягом 60 хв озвучування бактеріальної суспензії значення ХСК знижується на 7 %, а мікробне число (МЧ) – на 79 %.

The influence of concentrations of biological impurities in water on the change of chemical oxygen demand (COD) of water has been investigated. Our results show that the increases of the concentrations of bacteria in water have no significant influence on COD of wastewater. The COD of water is determined by the concentrations of microorganisms, water soluble products of their destruction and concentration of organic impurities. 79 % inactivation of the microorganisms and the COD decrease percentage 7 % were achieved during ultrasonic irradiation for 60 min.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими завданнями. Зростання вимог до якості води вимагає впровадження в практику водопідготовки нових методів очищення, знезараження та кондиціювання води. Очищення води за допомогою ультразвуку (УЗ) характеризується простотою системи очищення та відсутністю токсичних побічних продуктів. Для проведення ефективного процесу очищення води за допомогою ультразвуку доцільним є встановлення залежності величини хімічного споживання кисню (ХСК) від концентрації бактеріального забруднення води.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ступінь забруднення стічних вод визначається за показниками хімічного та біологічного споживання кисню (БСК₅) (1). У зв'язку з тривалістю визначення БСК₅ найчастіше в дослідженнях використовують показник ХСК, особливо якщо вода