

УДК 66.084+541.182;658.265

doi:10.20998/2413-4295.2025.02.11

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА КАВІТАЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ХІМІЧНИХ ТА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

**В. Р. КОВАЛИШИН, Р. А. ЯРОВИЙ, Л. І. ШЕВЧУК\***

Кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, УКРАЇНА  
\*e-mail: liliia.i.shevchuk@lpnu.ua

**АНОТАЦІЯ** Представлено результати експериментального дослідження впливу температури та природи барботованого газу на процес кавітаційного очищення стічних вод хімічних і харчових виробництв. Основну увагу зосереджено на вивченні закономірностей руйнування органічних сполук у стічних водах спиртового, фармацевтичного та лакофарбового заводів під дією ультразвукової кавітації. Для активізації процесу в реакційне середовище барботували гази різної природи: кисень, азот і повітря, які слугували додатковими центрами кавітації. Процеси кавітаційного руйнування органічних речовин аналізували за показником хімічного споживання кисню (ХСК), яке визначали до та після обробки. Встановлено, що найвища ефективність очищення досягається при поєднанні ультразвуку з барботуванням азоту в спиртових стоках та кисню – у лакофарбових і фармацевтичних стічних водах. Показано, що дифузія газу в кавітаційну порожнину залежить від коефіцієнта розчинності, що безпосередньо впливає на хід кавітаційного процесу. Досліджено вплив температури в діапазоні 298–333 К на ефективність руйнування органічних речовин. Встановлено, що зі зростанням температури швидкість звукохімічної реакції спочатку зростає, але при температурах понад 324 К кавітаційні процеси припиняються, і руйнування органічних сполук відбувається винятково за рахунок термічної дії. Оптимальним температурним режимом для процесу кавітаційного очищення лакофарбових і фармацевтичних виробництв в атмосфері кисню виявлено інтервал 322–324 К, у якому ефективні константи швидкості руйнування органічних речовин становили  $(3,8-4,0) \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$ , а для спиртових виробництв – 318 К в атмосфері азоту. Отримані результати є важливими для розробки ефективних технологій очищення стічних вод промислових підприємств, що дозволяють знизити антропогенне навантаження на довкілля та підвищити екологічну безпеку виробництва. Дані результати дозволяють обґрунтувати режими очищення стічних вод і вдосконалити технологічні процеси для різних типів виробництв. Показано доцільність вибору виду газу та температурного режиму для кожного типу стічних вод з метою підвищення ефективності їх обробки ультразвуковою кавітацією.

**Ключові слова:** кавітація; стічні води; ультразвук; хімічне споживання кисню; газ.

## RESEARCH ON THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON CAVITATIONAL TREATMENT OF WASTEWATER FROM CHEMICAL AND FOOD INDUSTRIES

**V. KOVALYSHYN, R. YAROVYI, L. SHEVCHUK**

Department of Organic Products Technology, Lviv Polytechnic National University, Lviv, UKRAINE

**ABSTRACT** The results of an experimental study of the influence of temperature and nature of the bubbled gas on the process of cavitation treatment of wastewater from chemical and food industries are presented. The main attention is focused on studying the patterns of destruction of organic compounds in wastewater from alcohol, pharmaceutical and paint and varnish plants under the influence of ultrasonic cavitation. To activate the process, gases of different nature were bubbled into the reaction medium: oxygen, nitrogen and air, which served as additional cavitation centers. The processes of cavitation destruction of organic substances were analyzed by the chemical oxygen demand (COD), which was determined before and after treatment. It was established that the highest cleaning efficiency is achieved when combining ultrasound with nitrogen bubbling in alcohol wastewater and oxygen in paint and varnish and pharmaceutical wastewater. It is shown that gas diffusion into the cavitation cavity depends on the solubility coefficient, which directly affects the course of the cavitation process. The effect of temperature in the range of 298–333 K on the efficiency of destruction of organic substances was studied. It was found that with increasing temperature, the rate of sonochemical reaction initially increases, but at temperatures above 324 K, cavitation processes stop, and the destruction of organic compounds occurs exclusively due to thermal action. The optimal temperature regime for the cavitation cleaning process of paint and varnish and pharmaceutical industries in an oxygen atmosphere was found to be the interval 322–324 K, in which the effective rate constants of destruction of organic substances were  $(3.8-4.0) \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ , and for alcohol industries – 318 K in a nitrogen atmosphere. The results obtained are important for the development of effective technologies for wastewater treatment of industrial enterprises, which allow reducing anthropogenic load on the environment and increasing the ecological safety of production. These results allow justifying wastewater treatment regimes and improving technological processes for different types of production. The feasibility of choosing the type of gas and temperature regime for each type of wastewater in order to increase the efficiency of their treatment by ultrasonic cavitation is shown.

**Keywords:** cavitation; wastewater; ultrasound; chemical oxygen demand; gas

### Вступ

Кавітація – це фізико-хімічний процес утворення, росту та розтріскування бульбашок у

рідині, які заповнені газом, паром або їх сумішшю, внаслідок локального зниження тиску [1]. У хімічній промисловості та лабораторних умовах кавітація використовується для ініціювання та прискорення

хімічних реакцій, включаючи руйнування органічних сполук. Одним з ефективних методів ініціювання кавітації є застосування хвиль різної частоти [2,3].

Кавітаційні бульбашки виникають у тих ділянках рідини, де тиск падає нижче критичного рівня ( $P_{кр}$ ), що є межовим значенням для появи порогу кавітації. На момент утворення бульбашки тиск усередині неї значно нижчий, ніж у самій рідині, тому рідина разом із розчиненими в ній газами спрямовується всередину порожнини. Під впливом зовнішнього тиску бульбашка різко стискається і врешті розтріскується. Її миттєве руйнування викликає короткочасне, але дуже сильне зростання тиску – до десятків тисяч атмосфер. Якщо бульбашка має найменший розмір, тиск у її центрі досягає максимуму, і з цього місця в усі боки через рідину розповсюджується сферична ударна хвиля [4].

Існують два основні типи кавітації: гідродинамічна та акустична. Гідродинамічна кавітація виникає тоді, коли тиск у потоці рідини знижується локально, наприклад, під час обтікання твердого об'єкта [5–8]. Акустична ж кавітація виникає в результаті дії звукових хвиль, що проходять крізь рідину [9].

Варто зауважити, що зниження тиску до рівня насиченої пари може відбуватися також під час кипіння або вакуумування рідин. Проте ці явища охоплюють увесь об'єм рідини, тоді як кавітація проявляється лише в окремих зонах.

Кавітація, спричинена ультразвуком, створює екстремальні умови, що сприяють утворенню вільних радикалів, зокрема гідроксильного радикалу ( $\bullet\text{OH}$ ) та гідропероксильного радикалу ( $\text{HO}_2\bullet$ ), які відіграють ключову роль у процесах окиснення [10,11]. Температура та тиск є ключовими параметрами, що впливають на характер кавітаційного процесу, ефективність та швидкість окиснення органічних речовин.

Стічні води хімічних та харчових підприємств являють собою водні розчини різних класів сполук та різної концентрації органічних речовин. Для їх одночасного руйнування є необхідним застосування кавітаційного чинника, який дозволяє досягнути високого показника ефективності процесу очищення та мінімального впливу на навколишнє середовище. Для виникнення кавітації часто достатньо наявності, навіть, одного мікроскопічного зародка в досліджуваній рідині. Через це кавітаційна стійкість рідини залежить від її фізичних характеристик, складу розчинених речовин, кількості розчиненого газу [12], а також від об'єму рідини, в якому утворюються ультразвукові хвилі. Отже, вивчення структури реальних рідин і їхніх водних розчинів із використанням кавітаційних процесів має важливе наукове та прикладне значення.

## Мета роботи

Метою роботи було встановлення закономірностей впливу температури в присутності різних газів на кавітаційне руйнування органічних сполук у стічних водах.

## Виклад основного матеріалу

Було досліджено кавітаційний вплив на руйнування органічних сполук у стічних водах лакофарбового, спиртового, фармацевтичного заводів, які містили підвищений вміст ацетону, толуену, бензену, етанолу, бутанолу та біциліну у присутності різних газів в діапазоні температур 298 К–333 К, при атмосферному тиску та частоті УЗ коливань – 22 кГц.

Основним показником якості стічних вод було хімічне споживання кисню (ХСК), яке визначали як до кавітаційного впливу, так і після. В реакційне середовище барботували газу різної природи (кисень, азот, повітря), які по різному впливали на процес очищення. Оскільки вихідні значення  $\text{ХСК}_0$  для стічних вод різного походження знаходились в достатньо широкому діапазоні 600–3125  $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$ , тому для корекції вихідних даних було прийнято представлення  $\text{ХСК}/\text{ХСК}_0$ .

Ступінь руйнування ( $D$ ) органічних речовин у воді визначали за формулою:

$$D = 100 - \frac{\text{ХСК} \cdot 100}{\text{ХСК}_0}, \quad (1)$$

де  $\text{ХСК}_0$  – початкове значення хімічного споживання кисню у вихідній воді,  $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$ ;  $\text{ХСК}$  – поточне значення хімічного споживання кисню у воді,  $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$ .

Визначення ефективної константи швидкості окиснення органічних речовин проводили за кінетичними рівняннями шляхом інтегрування:

$$C_A = C_{A,0} e^{-k\tau}, \quad \text{при } n = 1 \quad (2)$$

або

$$\ln \frac{C_A}{C_{A,0}} = -k\tau, \quad (3)$$

$$\frac{C_A^{1-n} - C_{A,0}^{1-n}}{1-n} = -k\tau, \quad \text{при } n \neq 1. \quad (4)$$

У рівняннях (1–4)  $C_{A,0}$  – початкова концентрація забруднень ( $t=0$ ),  $n$  – цілі або дробові числа. За середньостатистичним відхиленням трьох експериментів (кожен з них включав 6 точок) відносна їх похибка коливалась в межах  $5 \pm 0,5$  % від середнього.

## Обговорення результатів

Результати досліджень впливу ультразвукової кавітації на процес очищення стічних вод спиртзаводу в атмосфері кисню представлено на рис. 1.

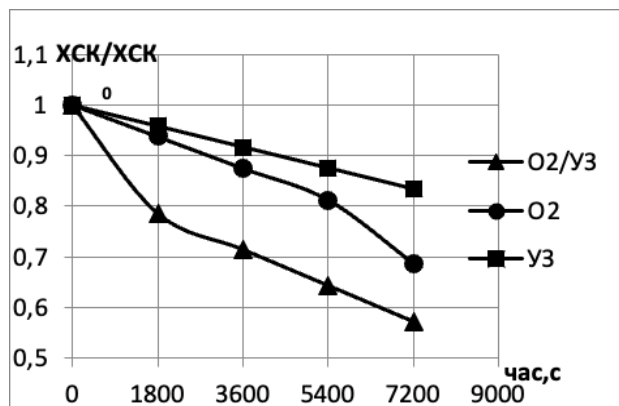


Рис. 1 – Залежність  $XCK/XCK_0$  стічної води спиртзаводу від часу обробки при різних умовах експерименту

Згідно з результатами досліджень (рис. 1), було встановлено, що найефективнішого очищення від органічних домішок досягається при одночасному використанні ультразвуку (УЗ) і кисню. Використання лише одного з цих факторів – або УЗ, або кисню – забезпечує дещо нижчий результат очищення води. Вже через першу годину впливу УЗ у присутності кисню спостерігається значне підвищення ефективності очищення порівняно з дією самого лише УЗ. Сумісна дія УЗ і кисню на 32% вище, порівняно із дією самого УЗ.

При обробці спиртовмісних стічних вод в атмосферах кисню, азоту та повітря найвищу ефективність очищення демонструє барботування азоту в умовах кавітації. У цьому випадку ефективна константа швидкості окиснення органічних речовин досягає  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ , а ступінь руйнування становить 62,5%. Найменша ефективність спостерігається при застосуванні самого лише ультразвуку: ХСК знижується до  $665 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ , що лише в 1,2 рази менше за початкове значення  $XCK_0 = 798 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ .

На рис. 2 представлено залежність зміни  $XCK/XCK_0$  для стічних вод фармацевтичного заводу в атмосфері різних газів. Дія самого УЗ сприяє незначному зменшенню ХСК впродовж усього процесу. Однак, при барботуванні кисню, азоту та повітря в кавітаційну зону спостерігається різке зменшення ХСК. Найнижчі значення  $XCK_{\text{кінц.}}$  становлять  $785 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$  в атмосфері кисню, проти  $890 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$  в атмосфері азоту та  $950 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$  в атмосфері повітря.

Різні гази мають різну здатність розчинятися у воді. Швидкість дифузії газу в порожнину і, відповідно, його вміст у ній тісно пов'язані з коефіцієнтом розчинності цього газу. Від коефіцієнта

розчинності газу значною мірою залежить швидкість його проникнення в кавітаційну порожнину та кількість газу, що там накопичується. У роботах [13, 14] було встановлено, що чим вищий коефіцієнт розчинності, тим швидше газ дифундує з рідини до бульбашки, що в результаті знижує ефективність процесу кавітаційного руйнування. Тобто термодинамічні властивості газу мають безпосередній вплив на швидкість протікання кавітаційних процесів.

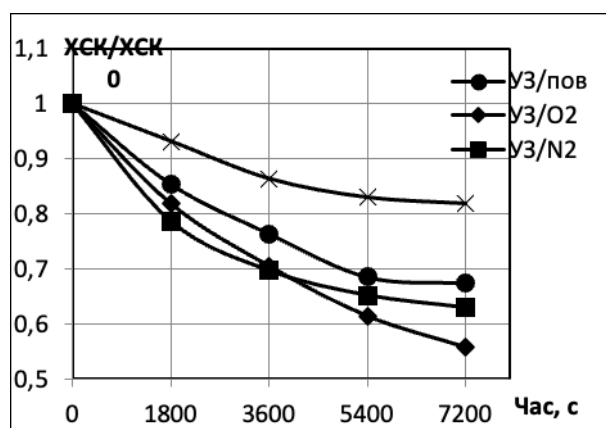


Рис. 2 – Залежність  $XCK/XCK_0$  стічної води фармацевтичного заводу від часу обробки при різних умовах експерименту

Розрахунок ефективних констант швидкості руйнування органічних сполук шляхом спрямлення у напівлогарифмічних координатах  $\ln XCK/XCK_0$  від часу підтверджує протікання реакції першого порядку незалежно від природи барботованого газу в кавітаційних умовах (рис. 3). Тобто, для усіх досліджуваних газів в умовах кавітації підтверджено, що процес руйнування органічних сполук описується кінетичним рівнянням першого порядку, а швидкість реакції залежить від умов перебігу реакції.

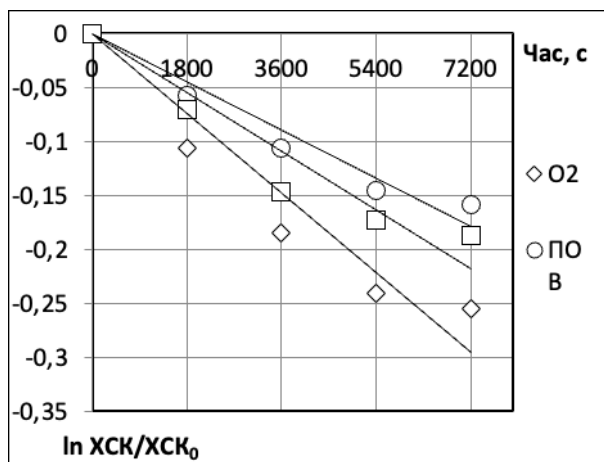


Рис. 3 – Напівлогарифмічна залежність  $\ln XCK/XCK_0$  від часу для стічних вод фармацевтичного заводу в умовах кавітації в атмосфері різних газів

Підтвердивши доцільність барботування різних газів в кавітаційне середовище доречним було встановити оптимальну температуру з метою інтенсифікації процесів очищення стічних вод різних виробництв та підвищення ефективності процесу. Так для стічних вод спиртзаводу оптимальною виявилась дія азоту в кавітаційному полі, тому доцільно було дослідити вплив температури на швидкість руйнування органічних сполук за даних умов.

З ростом температури ефективна константа швидкості звукохімічної реакції зростає у 1,7 рази. Як видно з табл. 1 при  $T=323$  К ефективна константа швидкості реакції без УЗ у 1,15 раз вища, порівняно із аналогічним показником в кавітаційних умовах. Загалом, для всіх процесів, які відбуваються під дією ультразвуку, характерне зменшення швидкості звукохімічних реакцій при підвищенні температури. Наприклад, із зростанням температури знижується інтенсивність окиснення фенолу, розкладу води (сонолізу) в присутності різних газів, а також окиснення органічних речовин [15]. Це явище пояснюється тим, що хімічна активність ультразвуку обумовлена кавітаційними процесами, які виникають у рідині під дією потужних коливань.

Таблиця 1 – Залежність ефективної константи швидкості руйнування органічних сполук у стоках спиртзаводу при дії азоту від температури

| №п/п | Т, К | $k \cdot 10^4, c^{-1}$ |      |
|------|------|------------------------|------|
|      |      | без УЗ                 | з УЗ |
| 1    | 308  | 0,7                    | 1,2  |
| 2    | 318  | 1,4                    | 1,5  |
| 3    | 323  | 2,3                    | 2,0  |

Підвищення температури сприяє швидшому випаровуванню рідини і збільшенню парціального тиску в середині кавітаційної бульбашки, що полегшує її ріст і підвищує ефективність кавітації. Проте подальше зростання температури, хоча й сприяє формуванню та росту бульбашок, однак ускладнює їх заплескування через надмірне зростання тиску пари всередині, що, своєю чергою, знижує загальну ефективність процесу кавітації.

Як видно з екстраполяції кривих (з УЗ та без УЗ) до точки їх перетину, при температурі понад 324 К та атмосферному тиску кавітаційний процес повністю пригнічується. Відповідно, звукохімічна реакція не відбувається, і руйнування органічних речовин здійснюється виключно за рахунок термічного впливу (рис. 4). Тому, оптимальний температурний діапазон проведення процесу кавітаційного очищення стоків лакофарбового заводу було обрано (322–324) К, при якому ефективні константи швидкості руйнування органічних сполук знаходяться в діапазоні  $(3,8-4,0) \cdot 10^{-4} c^{-1}$ .

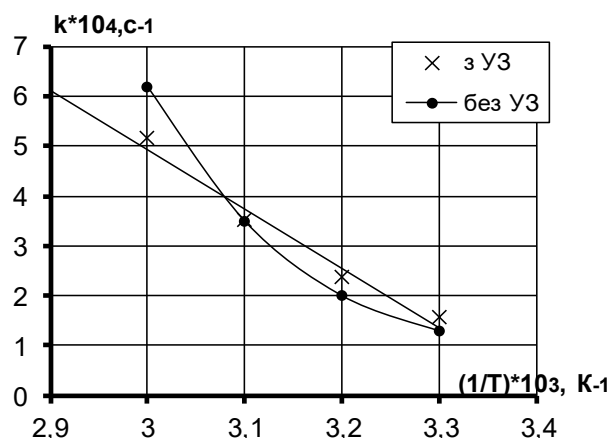


Рис. 4 – Залежність ефективної константи швидкості руйнування органічних сполук у стічних водах лакофарбового заводу в атмосфері кисню при різних умовах експерименту.

Отже, залежність швидкості звукохімічного окиснення від температури не відповідає класичному рівнянню Арреніуса. Вона залежить від фізичних характеристик рідини, таких як в'язкість і температура кипіння, а також від умов проведення процесу — природи та тиску газу. Тому подальше підвищення температури в умовах ультразвукового окиснення недоцільне, адже температура термічних реакцій зростає швидше, ніж звукохімічних.

## Висновки

При дослідженні впливу кавітації на руйнування органічних сполук у стічних водах різних виробництв, встановлено, що на ефективність кавітації впливає природа барботованого газу та температура реакції. Барботування газів створює додаткові центри кавітації, що посилює ефективність очищення стічних вод від органічних домішок.

Температура відіграє ключову роль у звукохімічних процесах. З підвищенням температури ефективність кавітаційної реакції зростає до певного оптимального діапазону, після чого кавітаційний ефект послаблюється через надмірне зростання тиску пари в бульбашках. Встановлено оптимальну температуру 318 К для очищення стічних вод спиртових стоків в атмосфері азоту та для фармацевтичних і лакофарбових — діапазон температур 322–324 К в атмосфері кисню, вище якого кавітація припиняється, і протікають лише термічні реакції.

## Список літератури

- Gagol M., Przyjazny A., Boczkaj G. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes based on cavitation. *J. Chemical Engineering*. 2018. № 338. P. 599–627. doi:10.1016/J.CEJ.2018.01.049.

2. Khraibed A., Abdul-Raheem L., Imran N., Alwan A., Abdul-Sadah A., & Murtadah, J. Reducing organic pollutant concentrations from wastewater power plants using hydrodynamic cavitation technology. *Association of Arab Universities J. Engineering Sciences*. 2022. № 29 (4). P. 59–64. doi: 10.33261/jaaru.2022.29.4.006.
3. Sukhatskiy Y., Znak Z., Zin O., Chupinskiy D. Ultrasonic cavitation in wastewater treatment from azo dye methyl orange. *J. Chemical Technology and Biotechnology*. 2021. № 15 (2). P. 284–290. doi: 10.23939/chcht15.02.284.
4. Rayaroth M. P., Aravind U. K., Aravindakumar C. T. Ultrasound based AOP for emerging pollutants: from degradation to mechanism. *J. Environmental Science and Pollution Research*. 2017. 24(7). P. 6261–6269. doi: 10.1007/s11356-016-6606-4.
5. Mohod A., Teixeira A., Bagal M., Gogate P., Giudici R. Degradation of organic pollutants from wastewater using hydrodynamic cavitation: A review. *J. Environmental Chemical Engineering*. 2023. № 11 (3). P. 109773. doi: 10.1016/j.jece.2023.109773.
6. Dong Z., Zhang K., Yao R. Degradation of refractory pollutants by hydrodynamic cavitation: key parameters to degradation rates. *J. Hydrodynamics*. 2018. № 31 (4). P. 848–856. doi:10.1007/s42241-018-0131-5.
7. Thanekar P., Garg S., Gogate P. Hybrid treatment strategies based on hydrodynamic cavitation, advanced oxidation processes, and aerobic oxidation for efficient removal of naproxen. *J. Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2019. № 59 (9). P. 4058–4070. doi: 10.1021/acs.iecr.9b01395.
8. Sun X., Park J., Kim H., Lee S., Seong S., Om A., Yoon J. Experimental investigation of the thermal and disinfection performances of a novel hydrodynamic cavitation reactor. *J. Ultrasonics Sonochemistry*. 2018. № 49. P. 13–23. doi:10.1016/j.ultrsonch.2018.02.039.
9. Ashokkumar M. The characterization of acoustic cavitation bubbles. *J. Ultrasonics Sonochemistry*. 2011. № 18 (4). P. 864–872. doi:10.1016/j.ultrsonch.2010.11.016.
10. Jawale R. H., Gogate P. R. Combined treatment approaches based on ultrasound for removal of triazophos from wastewater. *J. Ultrasonics Sonochemistry*. 2018. № 40. P. 89–96. doi:10.1016/j.ultrsonch.2017.02.019.
11. Renita A. A review on analytical methods and treatment techniques of pharmaceutical wastewater. *J. Desalination and Water Treatment*. 2017. № 87. P. 160–178. doi:10.5004/dwt.2017.21311.
12. Koval I., Starchevskyy V. Gas nature effect on the destruction of various microorganisms under cavitation action. *J. Chemistry & Chemical Technology*. 2020. № 14 (2). P. 264–270. doi:10.23939/chcht14.02.264.
13. Vashkurak U., Shevchuk L., Nykulyshyn I., Aftanaziv I. Research into effectiveness of cavitation cleaning of wastewater of a fat-and-oil plant from organic and biological contamination in the presence of various gases. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 3/10 (93). P. 51–58. doi:10.15587/1729-4061.2018.131953.
14. Koval I., Starchevskyy V., Shevchuk L. An influence of microbial morphology and gas nature on the cavitation destruction of the cell. *16th Meeting of the European society of sonochemistry : program and book of abstracts (April 15–19, 2018, Besançon, France)*. Besançon. 2018. P. 39–40.
15. Vashkurak U., Shevchuk L., Aftanaziv I., Romaniv A. The influence of ultrasound cavitation on the process of

degradation of organic substances in wastewater of pharmaceutical production. *J. Chemists and Chemical Engineers of Croatia*. 2020. № 69 (11–12). P. 631–638. doi: 10.15255/KUI.2020.009.

#### References (transliterated)

1. Gagol M., Przyjazny A., Boczkaj G. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes based on cavitation. *J. Chemical Engineering*, 2018, Vol. 338, pp. 599–627, doi:10.1016/J.CEJ.2018.01.049.
2. Khraibed A., Abdul-Raheem L., Imran N., Alwan A., Abdul-Sadah A., & Murtadah J. Reducing organic pollutant concentrations from wastewater power plants using hydrodynamic cavitation technology. *Association of Arab Universities J. Engineering Sciences*, 2022, Vol. 29, no. 4, pp. 59–64, doi: 10.33261/jaaru.2022.29.4.006.
3. Sukhatskiy Y., Znak Z., Zin O., Chupinskiy D. Ultrasonic cavitation in wastewater treatment from azo dye methyl orange. *J. Chemical Technology and Biotechnology*, 2021, Vol. 15, no. 2, pp. 284–290, doi: 10.23939/chcht15.02.284.
4. Rayaroth M. P., Aravind U. K., Aravindakumar C. T. Ultrasound based AOP for emerging pollutants: from degradation to mechanism. *J. Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(7), pp. 6261–6269, doi: 10.1007/s11356-016-6606-4.
5. Mohod A., Teixeira A., Bagal M., Gogate P., Giudici R. Degradation of organic pollutants from wastewater using hydrodynamic cavitation: A review. *J. Environmental Chemical Engineering*, 2023, Vol. 11, no. 3, pp. 109773, doi:10.1016/j.jece.2023.109773.
6. Dong Z., Zhang K., Yao R. Degradation of refractory pollutants by hydrodynamic cavitation: key parameters to degradation rates. *J. Hydrodynamics*, 2018, Vol. 31, no. 4, pp. 848–856, doi:10.1007/s42241-018-0131-5.
7. Thanekar P., Garg S., Gogate P. Hybrid treatment strategies based on hydrodynamic cavitation, advanced oxidation processes, and aerobic oxidation for efficient removal of naproxen. *J. Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2019, Vol. 59, no. 9, pp. 4058–4070, doi: 10.1021/acs.iecr.9b01395.
8. Sun X., Park J., Kim H., Lee S., Seong S., Om A., Yoon J. Experimental investigation of the thermal and disinfection performances of a novel hydrodynamic cavitation reactor. *J. Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, Vol. 49, pp. 13–23, doi:10.1016/j.ultrsonch.2018.02.039.
9. Ashokkumar M. The characterization of acoustic cavitation bubbles. *J. Ultrasonics Sonochemistry*, 2011, Vol. 18, no. 4, pp. 864–872, doi:10.1016/j.ultrsonch.2010.11.016.
10. Jawale R. H., Gogate P. R. Combined treatment approaches based on ultrasound for removal of triazophos from wastewater. *J. Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, Vol. 40, pp. 89–96, doi:10.1016/j.ultrsonch.2017.02.019.
11. Renita A. A review on analytical methods and treatment techniques of pharmaceutical wastewater. *J. Desalination and Water Treatment*, 2017, Vol. 87, pp. 160–178, doi:10.5004/dwt.2017.21311.
12. Koval I., Starchevskyy V. Gas nature effect on the destruction of various microorganisms under cavitation action. *J. Chemistry & Chemical Technology*, 2020, Vol. 14, no. 2, pp. 264–270, doi:10.23939/chcht14.02.264.
13. Vashkurak U., Shevchuk L., Nykulyshyn I., Aftanaziv I. Research into effectiveness of cavitation cleaning of wastewater of a fat-and-oil plant from organic and biological contamination in the presence of various gases. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, Vol.

- 3/10, no. 93, pp. 51–58, doi:10.15587/1729-4061.2018.131953.
14. Koval I., Starchevskyy V., Shevchuk L. An influence of microbial morphology and gas nature on the cavitation destruction of the cell. *Tezy dopovidey 16th Meeting of the European society of sonochemistry : program and book of abstracts (April 15–19, 2018r., Besançon, France)*. [16th Meeting of the European society of sonochemistry : program and book of abstracts (April 15–19, 2018, Besançon, France)]. Besançon, 2018, pp. 39–40.
15. Vashkurak U., Shevchuk L., Aftanaziv I., Romaniv A. The influence of ultrasound cavitation on the process of degradation of organic substances in wastewater of pharmaceutical production. *J. Chemists and Chemical Engineers of Croatia*, 2020, Vol. 69, no. 11–12, pp. 631–638, doi: 10.15255/KUI.2020.009.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Ковалишин Віталій Романович** – аспірант, кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна; ORCID: ID: 0009-0004-5320-5488; E-mail: vitalii.r.kovalyshyn@lpnu.ua

**Kovalyshyn Vitalii** – postgraduate student, Department of Organic Products Technology, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; ORCID: ID: 0009-0004-5320-5488; E-mail: vitalii.r.kovalyshyn@lpnu.ua

**Яровий Роман Андрійович** – аспірант, кафедра технології органічних продуктів, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна; ORCID: ID: 0009-0007-2166-7890, E-mail: roman.a.yarovyi@lpnu.ua

**Yarovyi Roman** – postgraduate student of the Department of Organic Products Technology, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; ORCID: ID: 0009-0007-2166-7890; E-mail: roman.a.yarovyi@lpnu.ua

**Шевчук Лілія Іванівна** – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри технології органічних продуктів, м. Львів, Україна; ORCID: ID: 0000-0001-6274-0256; E-mail: liliia.i.shevchuk@lpnu.ua

**Shevchuk Liliya** – DSc., Professor, Professor of the Department of Organic Products Technology, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine; ORCID ID: 0000-0001-6274-0256; E-mail: liliia.i.shevchuk@lpnu.ua

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

Ковалишин В. Р., Яровий Р. А., Шевчук Л. І. Дослідження впливу температури на кавітаційне очищення стічних вод хімічних та харчових виробництв. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2025. № 4 (22). С. 78-83. doi:10.20998/2413-4295.2025.02.11.

*Please cite this article as:*

Kovalyshyn V., Yarovyi R., Shevchuk L. Research on the influence of temperature on cavitation treatment of wastewater from chemical and food industries. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2025, no. 4(22), pp. 78-83, doi:10.20998/2413-4295.2025.02.11.

*Надійшла (received) 01.05.2025*

*Прийнята (accepted) 03.06.2025*