

АНОТАЦІЯ

Вашикурак У.Ю. Вдосконалення кавітаційних технологій очищення промислових стічних вод. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – хімічні технології та інженерія – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вдосконаленню технології кавітаційного очищення стічних вод підприємств хімічної, харчової та переробної промисловості із застосуванням газів різної природи та створенню енергоощадного пристрою для збурення кавітації, спроможного реалізувати цю технологію.

На підставі аналізу вітчизняних та зарубіжних джерел літератури, встановлено, що існуючі технології водоочищення є вузько спеціалізованими, до того ж ефективними лише для забруднюючих речовин певної природи. Створення та практичне застосування технології, яка б дала змогу очищати стічні води різноманітного походження з вмістом забруднюючих речовин різної природи є не достатньо вивченим, що і стало напрямком досліджень.

Дослідження проводилися на реальних стічних водах п'яти підприємств, з метою одержання максимально наближених даних до промислових умов. Створені модельні розчини із підвищеним вмістом домінуючих органічних речовин, що містяться у стічних водах промислових підприємств, слугували зразками для дослідження кінетики кавітаційного процесу руйнування органічних забруднюючих речовин. Це дало змогу оцінити доцільність застосування гідродинамічної та ультразвукової кавітації в поєднанні з газами певної природи для оцінки їх впливу на відповідні органічні речовини.

Проведено дослідження впливу природи газу на очищення стічних вод від органічних та мікробіологічних забруднень. В результаті проведених експериментів, встановлено, що при барботуванні самих лише досліджуваних газів, відбувається деяке зменшення кількості як органічних, так і мікробіологічних забруднень, що пов'язано із певними фізичними явищами. Проте, одержані значення хімічного споживання кисню та ступеня очищення є

недостатніми для забезпечення санітарно-гігієнічних вимог до скидання стічних вод у міські системи водоочищення чи для повторного використання стічних вод у промисловості.

Досліджено ефективність сумісної дії газу певної природи та ультразвукової кавітації. Встановлено, що незалежно від природи газу, який барботується, та незалежно від складу стічних вод, відбувається підсилення дії ультразвукової кавітації для усіх десяти досліджуваних об'єктів, якими були певні різновиди стічних вод. Встановлено, що вибір найбільш ефективного газу для барботування в зону дії кавітації, залежить не лише від термодинамічних властивостей газу, але і від початкового складу стічних вод. На основі цього, було встановлено відносні ряди ефективності впливу барботованих газів і обрано газ, який у поєднанні з ультразвуковою кавітацією, найдоцільніше застосовувати для кожного досліджуваного об'єкту.

Підтверджено, що кавітаційне очищення стічних вод від органічних та мікробіологічних забруднень, описується кінетичним рівнянням першого порядку, незалежно від природи барботованого газу та складу стічних вод. Графічно це підтверджено спрямленням кривих у напівлогарифмічних координатах.

Встановлено, що при різній природі органічних сполук, які містяться у стічних водах різного походження, оптимальні температури проведення процесу кавітаційного очищення знаходяться в одному діапазоні.

Проведено дослідження зміни рН розчину при дії кавітації та досліджуваних газів. Встановлено, що при барботуванні азоту відбувається зменшення значення величини рН.

Аналогічні дослідження було проведено для побутових стічних вод міста Львова. До складу таких стічних вод входить широкий спектр органічних забруднюючих речовин, а також патогенні та непатогенні мікробіологічні забруднення. Було вивчено вплив сумісної дії азоту та ультразвукової кавітації на знезараження води не лише від непатогенних, але і від патогенних мікроорганізмів. Встановлено, що впродовж двогодинної обробки, вдалося досягнути повного знезараження води від патогенних мікроорганізмів групи

кишкової палички. Це наголошує на варіативності забруднюючих речовин, які здатна зруйнувати технологія кавітаційного очищення.

Створено конструктивну схему вдосконаленого низькочастотного віброрезонансного кавітаційного апарату для обробки стічних вод промислових підприємств. Його характерними особливостями є висока (до 6 м³/год.) продуктивність очисних операцій у поєднанні із значним (82-88%) ступенем очищення стічних вод від органічних забруднювачів.

Спроектовано технологічні схеми очищення низькоконцентрованих та висококонцентрованих стічних вод. Запропоновано для низькоконцентрованих стічних вод замінити стадію біологічного очищення на стадію кавітаційного очищення з передбачуваним одержанням очищеної води, яку можна буде застосовувати у подальшому для технологічних цілей. Для висококонцентрованих стічних вод рекомендується застосовувати двостадійний процес віброрезонансного кавітаційного очищення із одночасною подачею найбільш ефективних рекомендованих нами газів на кожну із стадій. Це забезпечить можливість подальшого використання очищеної стічної води для технологічних цілей. У кожному із цих випадків вдалося уникнути застосування додаткових хімічних реагентів, що зменшує кількість стадій доочищення і подальшої утилізації залишків хімічних реагентів.

Проведено апробацію результатів досліджень кавітаційного очищення стічних вод на низькочастотному віброрезонансному кавітаційному пристрої та одержано позитивні відгуки

Ключові слова: ультразвукова кавітація, стічні води, природа барботованого газу, органічні забруднення, мікробіологічні забруднення, низькочастотний віброкавітаційний пристрій.

SUMMARY

***Vashkurak U.Yu.* - The Improvement of cavitation Technologies of industrial wastewater treatment.** - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy in specialty 161 – Chemical technology and engineering – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2021.

The dissertation work is devoted to the improvement of the technology of cavitation wastewater treatment of chemical, food and processing industries with the usage of gases of different nature and the creation an energy - saving device for cavitation perturbation, which is able to implementing this technology.

Based on the analysis of domestic and foreign sources of literature, it is established that the existing water treatment technologies are narrowly specialized, moreover, thy are effective only for pollutants of a certain nature. The creation and practical application of the technology which would allow to clean wastewater of various origins with the content of pollutants of different nature is not sufficiently studied, that became the direction of the researches.

The studies were conducted on a real wastewater from five enterprises, in order to obtain the the most approximate data to industrial conditions. The created model solutions with the high content of the dominant organic substancesmixed in sewage of the industrial enterprises served as samples to study the kinetics of the cavitation process of destruction of organic pollutants This made it possible to evaluate the feasibility of using hydrodynamic and ultrasonic cavitation in combination with gases of a certain nature to assess their impact on the relevant organic substances.

A studies of the influence of the nature of gas on wastewater treatment from organic and microbiological contaminants were conducted. As a result of the conducted experiments, it was established that during bubbling only the studied gases, some reduction of the number of both organic and microbiological contaminants was observed, which is associated with certain physical phenomena. However, the obtained values of chemical oxygen demand and the degree of degree of water purification are

insufficient to ensure the sanitary and hygienic requirements for wastewater discharge in urban water treatment systems or for reuse of wastewater in industry.

The efficiency of the combined action of a gas of a certain nature and ultrasonic cavitation has been studied. It was found that regardless of the nature of the bubbling gas and regardless of the composition of the wastewater, the effect of ultrasonic cavitation is enhanced for all ten studied objects, which were certain types of wastewater. It is established that the selection of the most efficient gas for bubbling into zone of cavitation depends not only of the thermodynamic properties of the gas, but also on the initial composition of wastewater. Based on this, the relative series of gas efficiency of bubbling gases were determined and the gas that, in combination with ultrasonic cavitation, was the most appropriate to use for each object under study was selected.

It is confirmed that cavitation wastewater treatment from organic and microbiological contaminants is described by a first-order kinetic equation, regardless of the nature of the bubble gas and the composition of wastewater. Graphically, this is confirmed by the straightening of the curves in semi-logarithmic coordinates.

It is established that with the different nature of organic compounds contained in wastewater of different origin, the optimal temperatures of the cavitation treatment process are in the same range.

A study of the change in pH of the solution under the action of cavitation and test gases. It is established that during bubbling nitrogen there is a decrease in the pH value.

Similar studies were conducted for domestic wastewater of the city of Lviv. Such wastewater includes a wide range of organic pollutants and pathogenic and non-pathogenic microbiological contaminants. The influence of the combined action of nitrogen and ultrasonic cavitation on the disinfection of water not only from non-pathogenic but also from pathogenic microorganisms was studied. It was found that during the two-hour treatment, it was possible to achieve complete disinfection of water from pathogenic microorganisms of the *Escherichia coli* group. This emphasizes the variability of pollutants that can be destroyed by cavitation technology.

The constructive scheme of the improved low-frequency vibroresonance cavitation device for sewage treatment of industrial enterprises is created. Its characteristic features are high (up to 6 m³ / h) productivity of treatment operations in combination with a significant (82-88%) degree of wastewater treatment from organic pollutants.

Technological schemes of low-concentrated and high-concentrated wastewater treatment have been designed. It is proposed to replace the stage of biological treatment with low-concentration wastewater with the stage of cavitation treatment with the expected production of treated water, which can be used in the future for technological purposes. For highly concentrated wastewater, it is recommended to use a two-stage process of vibroresonance cavitation treatment with simultaneous supply of the most effective gases at each stage. This will ensure the possibility of further use of treated wastewater for technological purposes. In each of these cases, the use of additional chemical reagents were avoided, which reduces the number of stages of water purification and subsequent disposal of chemical reagent residues.

The results of cavitation wastewater treatment studies on a low-frequency vibroresonance cavitation device were tested and the positive feedback was delayed.

Key words: ultrasonic cavitation, wastewater, nature of bubbling gas, organic pollutants, microbiological pollutants, low-frequency vibroresonance cavitation device.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у виданнях України, які індексуються у міжнародних наукометричних базах даних (Scopus та Web of Science)

1. 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 / U. Vashkurak, L. Shevchuk, I. Nykulyshyn, I. Aftanaziv. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 3/10 (93). С. 51–58. (*Scopus*).
2. The effect of ultrasound on the treatment of domestic wastewater from organic and biological contamination / U. Vashkurak, L. Shevchuk, I. Aftanaziv, A. Romaniv. *French-Ukrainian Journal of Chemistry*. 2020. Vol. 8, iss. 1. P. 125–132. (*Web of Science*).

Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав

1. The influence of ultrasound cavitation on the process of degradation of organic substances in wastewater of pharmaceutical production / U. Y. Vashkurak, L. I. Shevchuk, I. S. Aftanaziv, A. S. Romaniv. *Kemija u industriji*. 2020. Vol. 69, № 11-12. С. 631–638. (*Web of Science*).

Статті у наукових фахових виданнях України

1. Вашкурак У. Ю., Шевчук Л. І. Кавітаційне очищення стічних вод жиркомбінату від органічних забруднень у присутності газів різної природи. *Chemistry, Technology and Application of Substances = Хімія, технологія речовин та їх застосування*. 2018. Vol. 1, № 1. P. 105–110. (*фахове видання, Index Copernicus*).
2. Вашкурак У. Ю., Шевчук Л. І., Афтаназів І.С. Знезараження стічних вод виробництва маргарину під впливом газів різної природи в кавітаційних умовах. *Екологічні науки*. 2019. № 1 (24), т. 2. С. 23–26. (*фахове видання*).

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЙ

1. Vashkurak U. The Influence of the Nature of the Gas into the Cavitation Destruction Organic and Biological Contamination of Wastewater from Brewing Industry / Vashkurak U., Falyk T., Shevchuk L. // 7th International Youth Science Forum «Litteris et Artibus», 23 – 25 November: збірник тез доповідей. – Lviv, 2017. – P.74 – 76.
2. Vashkurak U. The influence of ultrasound cavitation of organic contamination in wastewater of various origin // Vashkurak U., Shevchuk L. // EastWest Chemistry Confrence of Young Scientist 2018, 10 – 11 October.– Lviv, 2018
3. Vashkurak U. Investigation the kinetics of the process of destruction organic contaminations wastewater production margarine. / Vashkurak U., Shevchuk L. // 2nd International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering», 24 – 28 June: збірник тез доповідей. – Lviv, 2019. – P.207 – 209.
4. Вашкурак У.Ю. Дослідження впливу газів різної природи в кавітаційних умовах на ступінь очищення води від органічних та біологічних забруднень / Вашкурак У.Ю., Шевчук Л.І., Афтаназів І.С. // XXII міжнародна науково-технічна конференція «Технологія – 2019», 26 – 27 квітня: збірник тез доповідей. – Сєверодонецьк, 2019. – ч.1. – С.103-105.
5. Вашкурак У.Ю. Кавітаційний вплив газів різної природи на швидкість процесу очищення стічних вод жиркомбінату / Вашкурак У.Ю., Шевчук Л.І. // IX міжнародна науково-технічна конференція «Хімія та сучасні технології», 24 – 26 квітня: збірник тез доповідей. – Дніпро, 2019. – т.1. – С.53.
6. Вашкурак У.Ю. Дослідження впливу газів різної природи в ультразвуковому полі на руйнування органічних і біологічних забруднень у стічних водах ВП «Львівський жиркомбінат», виробництво маргарину / Вашкурак У.Ю., Шевчук Л.І., Афтаназів І.С. // IV міжнародна науково-практична конференція « Dynamics of the development of world science», 18 – 20 December: збірник тез доповідей. – Vancouver, 2019. – P.139.

7. Вашкурак У.Ю. Дослідження впливу ультразвуку на руйнування домішок біциліну / Вашкурак У.Ю., Шевчук Л.І. // V Міжнародна науково-практична конференція «Science, society, education: topical issues and development prospects», 12 – 14 April: збірник тез доповідей. – Kharkiv, 2020. – P.170 – 172.
8. Вашкурак У.Ю. Вплив ультразвукової кавітації в атмосфері газів різної природи на домішки циклогексанону і циклогексанолу у стічних водах. Вашкурак У.Ю., Шевчук Л.І. // I Міжнародна науково – практична конференція « Science and education: problems, prospects and innovations», 7-9 October: збірник тез доповідей.- Kyoto, 2020.-P.146-154.