

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНОЇ ВОДИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИМИ СПОСОБАМИ

**В. М. ІСАЄНКО**, доктор біологічних наук

**А. В. ПОШТАРЕНКО**, асистент

**Національний авіаційний університет**

*У роботі представлено результати дослідження щодо визначення складу стічної води дріжджового виробництва. Запропоновано результати проведення дослідження щодо її очищення та знезараження фізико-хімічними способами (електродіалізом, ультразвуком, магнітним полем, низькочастотним і надвисокочастотним випромінюванням). Представлено інформацію щодо діагностики показників стічної води після очищення й знезараження цими способами.*

**Ключові слова:** *стічна вода, електродіаліз, ультразвук, магнітне поле, надвисокочастотне випромінювання, низькочастотне випромінювання.*

**Постановка проблеми.** Підприємства з виробництва хлібопекарських дріжджів функціонують практично в кожній області України. Технологічний цикл цих підприємств спричиняє накопичення значної кількості стічної води, яка характеризується наявністю органічних забруднень високої концентрації; сполук азоту, сульфатів, хлоридів. У ній також наявна значна кількість стійких до біологічного розкладу речовин та сильно забарвлених речовин (меланоїдів тощо). Небезпека стічних вод дріжджових підприємств полягає ще й в тому, що вони, окрім забруднювальних речовин, містять також контамінувальні мікроорганізми, зокрема й дріжджі, які мають здатність до продовження своєї

життєдіяльності при надходженні в природне навколишнє середовище. Збільшення кількості мікроорганізмів у природних водоймах призводить до зменшення кількості розчиненого кисню у воді, що, своєю чергою, в подальшому спричиняє загибель водних організмів. З огляду на зазначене, особливої актуальності нині набувають результати прикладних досліджень зі зниження рівня негативного впливу стічних вод на навколишнє середовище удосконаленням існуючих і впровадження нових перспективних технологій водоочищення. Саме їх застосування сприяє знезараженню та очищенню води, незалежно від ступеня її хімічного чи біологічного забруднення. Найперспективнішим напрямом удосконалення очисних технологій є використання для знезараження від мікроорганізмів та очищення від органічних забруднень водного середовища фізико-хімічних способів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результати обґрунтування наукових засад використання фізико-хімічних способів очищення стічних вод представлені в працях вітчизняних і закордонних учених [1–5].

Фізико-хімічна обробка води є найбільш безпечною та високоефективною технологією з безреагентних способів її очищення. Висока адаптивність до існуючих технологій, гнучкість та ефективність сприяє застосуванню фізичних технологій в якості як основних, так і допоміжних, що дозволить інтенсифікувати процес очищення стоків і суттєво зменшити техногенне забруднення гідросфери. Добір параметрів фізико-хімічних способів очистки стічної води з метою зменшення впливу дріжджового виробництва на навколишнє середовище з огляду на попередньо зазначене є актуальною проблемою.

**Методика досліджень.** Для реалізації мети дослідження та виконання наукових завдань використовувались фізико-хімічні та мікробіологічні методи (для визначення складу стічної води), а також методи статистичної обробки даних (для доведення наукової достовірності отриманих результатів).

**Результати досліджень.** Здійснимо характеристику стічних вод, які утворюються в процесі сепарації дріжджів. Вони кислі, мають коричневе

забарвлення, містять сполуки меляси, продукти метаболізму дріжджів, значну кількість колоїдних сполук. У результаті проведення дослідження було визначено фізико-хімічні та мікробіологічні показники складу стічної води (табл. 1).

**Табл. 1. Склад стічної води дріжджового виробництва**

Показник	Фактичне значення	Норма для скиду в КОС*
pH	4,7	6,5-9,0
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	1351	350
Азот (загальний), мг/дм <sup>3</sup>	11,8	50
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	3200	300
Прокалений залишок, мг/дм <sup>3</sup>	1600	не визначається
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	3457	400
ХСК, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	18240	500
БСК, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3900	350
ЗМЧ, КУО/см <sup>3</sup>	12·10 <sup>6</sup>	не допускається

*Примітка: \*КОС – комплекс очисних споруд*

Дані табл. 1 свідчать, що на основі проведеного аналізу було встановлено, що стічна вода має високі значення за показниками БСК (3900 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) та ХСК (18240 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), низький рівень рН (4,7), їй властивий високий рівень забарвлення, значною є кількість завислих речовин (3200 мг/дм<sup>3</sup>).

Виявлено, що показники досліджуваної води перевищують по більшості параметрів норми, і їх скид можливий за умови очищення до нормативних значень. Для вирішення цієї проблеми пропонується здійснювати очищення стічної води фізико-хімічними способами: електродіалізом (ЕД), ультразвуком (УЗ), магнітним полем (МП), надвисокочастотним (НВЧ) і низькочастотним випромінюванням (НЧ).

Процес очищення стічної води електродіалізом базується на роз'єднанні іонізованих речовин під дією електрорухомої сили, створюваної в розчині по обидві сторони мембран. У нашому дослідженні процес електродіалізу стічної

води проводили при  $T = 293 \text{ K}$ , силі струму  $0,4 \text{ A}$  та напрузі  $19 \text{ V}$ . Тривалість процесу – до  $20 \text{ хв}$ . Результати дослідження стічної води після дії електродіалізу подано в табл. 2.

**Табл. 2. Ефективність очищення стічної води після дії електродіалізу**

Показник	Ступінь очищення, %	
	Анодна зона	Катодна зона
pH	—	—
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	зростання на 31	зростання на 424
Азот (заг.), мг/дм <sup>3</sup>	86	89
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	63	56
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	43	38
ХСК, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	50	47
ЗМЧ, КУО/см <sup>3</sup>	93	27

Дані таблиці є підставою для такої констатації: у результаті електродіалізу в стічній воді збільшилося рН, знизилась кольоровість та окислюваність. Збільшення рН води відбулось у результаті утворення в прикатодному просторі лугу; зниження кольоровості є наслідком окислюваності – при взаємодії органічних речовин з окислювачами, зокрема, з електролітичним гіпохлорит-іоном. Отримані дані свідчать про ефективність проведення очищення стічної води електродіалізом. Порівнявши фізико-хімічні показники вихідної води і води після очищення, можна стверджувати, що процес був більш ефективним в анодній зоні.

Після дії електродіалізом на стічну воду значно зменшилась загальна кількість мікроорганізмів порівняно з початковими величинами. Найбільше знезараження стічної води відбулось в анодній зоні при дії електродіалізу впродовж  $20 \text{ хв}$ . Це можна пояснити тим, що в процесі електродіалізу в анодній зоні відбувається виділення молекул кисню, які сприяють окисненню органічних речовин та знезараженню води.

Процес кавітації у воді призводить до зміни її фізико-хімічних властивостей: збільшення рН, електропровідності води, збільшення числа

вільних іонів та активних радикалів, структуризації та активації молекул [1]. Основну бактерицидну дію на мікрофлору у воді виконують пероксид водню і радикали  $\text{OH}^\circ$ , які утворюються при дисоціації молекул води у кавітаційних утвореннях [2].

Процес очищення стічної води у процесі дослідження проводився також ультразвуковими коливаннями з частотою 840 кГц ( $\lambda = 1,8$  мм), потужністю 91 Вт та інтенсивністю 0,3 Вт/см<sup>2</sup>, 0,5 Вт/см<sup>2</sup> та 0,7 Вт/см<sup>2</sup>, тривалістю до 12 хвилин за температури 293 К. Кількість мікроорганізмів визначали підрахунком колоній у чашках Петрі, в які висівали оброблену суспензію на мясопептонний агар.

Дані щодо ступеня очищення стічної води за допомогою ультразвукових коливань подано в табл. 3.

**Табл. 3. Ефективність очищення стічної води дією ультразвуку**

Показник	Ступінь очищення, %
pH	—
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	78
Азот, мг/дм <sup>3</sup>	74
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	70
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	79
ХСК, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	55
ЗМЧ, КУО/см <sup>3</sup>	98

Установлено, що склад стічної води до та після очищення ультразвуковими коливаннями за фізико-хімічними показниками змінився на 55–79 %, що свідчить про ефективність використання цього методу (ультразвуку). Зафіксовано, що найбільшого ступеня (98 %) очищення стічної води від мікроорганізмів було досягнуто під дією ультразвукових коливань при робочій частоті 840 кГц, потужності 91 Вт, інтенсивності 0,7 Вт/см<sup>2</sup> та часу обробки – 12 хвилин.

Відомо, що під час очищення стічної води *магнітним полем*, в ній збільшується швидкість хімічних процесів і кристалізація розчинених речовин, інтенсифікуються процеси адсорбції, покращується коагуляція домішок і випадання їх в осад [3]. У воді після магнітної обробки збільшується концентрація розчиненого кисню, що поліпшує бактерицидну дію магнітної обробки стічної води.

У процесі дослідження на стічну воду діяли магнітним полем з частотою магнітних імпульсів 50 Гц, інтенсивністю магнітної індукції 50 мТл та 75 мТл, тривалістю до 13 хвилин за температури води 293 К (табл. 4).

**Табл. 4. Ефективність очищення стічної води дією магнітного поля**

Показник	Ступінь очищення, %
рН	—
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	30
Азот, мг/дм <sup>3</sup>	34
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	50
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	33
ХСК, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	72
ЗМЧ, КУО/см <sup>3</sup>	98

Дані табл. 4 свідчать про те, що за фізико-хімічними показниками дія магнітного поля найкраще проявилася на зниженні показника ХСК (до 72 %), який характеризує органічне забруднення стічної води. Ступінь очищення за іншими показниками знаходився в межах 30–50 %. Установлено, що при дії магнітного поля при інтенсивності магнітної індукції 75 мТл протягом 10 хв. досягнуто найвищого ступеня руйнування мікроорганізмів 87 %. При низькочастотному випромінюванні в структурі води відбуваються зміни іонних зв'язків, які призводять до укрупнення шкідливих домішок, які потім випадають в осад [4].

Добираючи параметри низькочастотного випромінювання, яким обробляють стічну воду, можна досягти максимального очищення від будь-

якого одного компонента, однак водночас при цьому знижується концентрація й інших забруднювальних речовин.

На стічну воду в процесі здійснення дослідження діяли також низькочастотним випромінюванням з частотою 100 кГц, амплітудою напруги 3 В та 5 В тривалістю до 17 хвилин за температури води 293 К (табл. 5).

**Табл. 5. Ефективність очищення стічної води дією низькочастотного випромінювання**

Показник	Ступінь очищення, %
pH	—
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	75
Азот, мг/дм <sup>3</sup>	70
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	78
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	73
ХСК, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	60
ЗМЧ, КУО/см <sup>3</sup>	76

Дані табл. 5 дозволяють зробити узагальнення про те, що результат очищення стічної води дією низькочастотного випромінювання за фізико-хімічними показниками характеризуються значним зменшенням рівня органічних (до 60 %) та мінеральних речовин (до 73 %). При низькочастотному опроміненні найвищий ступінь знезараження (76 %) від мікроорганізмів спостерігався при частоті 100 кГц, амплітуді напруги 5 В упродовж 17 хвилин.

Досі не існує достатніх доказів безпосереднього впливу НВЧ-поля на мікробну клітину. Проте дослідження за інтегральним ефектом дії НВЧ-поля на харчові об'єкти вказують, що можливою є пастеризація і стерилізація стічної води [5]. У деяких випадках бактерицидний ефект пояснюють безпосередньою взаємодією електромагнітного поля з життєво важливими елементами клітини. Результатом цього є загибель або пригнічення її життєдіяльності.

Метод надвисокочастотного широкосмугового шумового сигналу впливу на стічні води заключається в обробленні її за спектральною щільністю

шуму  $10^{18}$  Вт/Гц, частотному діапазоні 60 Гц, інтегральній потужності випромінення  $10^{10}$  Вт/см<sup>2</sup>, часі опромінення – до 30 хв.

Очищення стічної води надвисокочастотним вузькосмуговим випромінюванням проводились при довжині хвиль 5,0–7,0 мм, частотою модуляції 90 Гц, щільністю потоку потужності 10 мВт/см<sup>2</sup>. Досліди проводили за T= 293 К і часі опромінення – до 30 хв (табл. 6).

**Табл. 6. Ефективність очищення стічної води дією надвисокочастотного випромінювання**

Показник	Ступінь очищення, %
pH	—
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	79
Азот, мг/дм <sup>3</sup>	40
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	80
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	72
ХСК, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	65
ЗМЧ, КУО/см <sup>3</sup>	64

Результати очищення стічної води дією НВЧ за фізико-хімічними показниками свідчать про значне зниження вмісту завислих речовин, хлоридів і сульфатів – на 72–80 %. При цьому ступінь руйнування мікроорганізмів у стічній воді був найбільшим (64 %) при обробці надвисокочастотним випромінюванням з частотою 60 ГГц, довжиною хвилі 270 мм і часом дії 24 хвилини.

**Висновки.** Для очищення стічної води запропоновано використання електродіалізу, ультразвуку, магнітного поля, низькочастотних та надвисокочастотних випромінювань. Досліджено, що найбільш ефективним способом очищення стічної води виявився ультразвук, при якому відбулося знезараження її від мікроорганізмів на 98 % і зниження значень фізико-хімічних показників у середньому до 71 %.



Використання фізико-хімічних способів очищення стічної води дає змогу одержати високий антимікробний ефект та значне зниження забруднювальних речовин, що призводить до покращення санітарноепідеміологічних показників якості стічної води. Результати дослідження можуть бути використані для добору очисного обладнання на дріжджових підприємствах.

### Література

1. Витенько Т. Н., Гумницький Я. М. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду. *Химия и технология воды*. 2007. Т. 29. № 5. С. 422–432.

2. Petkovšek M., Zupanc M., Dular M., Kosjek T., Heath E., Kompare B., Širok B. Rotation Generator of Hydrodynamic Cavitation for Water Treatment. *Separation and Purification Technology*. 2013. Vol. 118. P. 415–423.

3. Баран Б. А. Фізико-хімічне обґрунтування дії магнітного поля на водні розчини для розробки систем техногенно-екологічної безпеки. Дис. д. хім. наук: 21.06.01. Хмельницький, 2006. 326 с.

4. Способ очистки и обеззараживания жидких сред: пат. 93040655/25 Росія. МПК C02F 1/48; публ. 27.03.1996.

5. Сабадаш В. В. Очищення стічних вод у полі дії надвисокочастотного випромінювання. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського*. Київ. 2018. Т. 29. № 1. С. 133–139.

### References

1. Vitenko, T. N. (2007). The mechanism of activating action of hydrodynamic cavitation on water. *Chemistry and technology of water*, 29, no. 5, 422–432. (in Ukrainian).

2. Petkovšek M., Zupanc M., Dular M., Kosjek T., Heath E., Kompare B., Širok B. (2013). Rotation Generator of Hydrodynamic Cavitation for Water Treatment, *Separation and Purification Technology*, vol. 118, pp. 415–423. (in Slovenia).

3. Baran B. A. (2006). Physico-chemical substantiation of the action of the magnetic field on aqueous solutions for the development of technogenic and ecological safety systems. Dis. Dr. of Chem. Sciences. Khmelnytsky. (in Ukrainian).

4. Method of cleaning and disinfecting liquid media: Pat. RU93040655/25.(1996). (in Russia)

5. Sabadash V. V. (2018). Wastewater treatment in the field of ultrahigh-frequency radiation. Science letters of TNU named after V. I. Vernadskyi, vol. 29, no. 1, pp. 133–139. (in Ukrainian).

### *Аннотация*

*Исаенко В. Н., Поштаренко А. В.*

#### *Интенсификация процесса очистки сточной воды физико-химическими способами*

*Одним из перспективных путей совершенствования очистных технологий является использование физико-химических способов (электродиализа, ультразвука, магнитного поля, низкочастотного и сверхвысокочастотного излучения). Целью исследования является определение степени очистки и обеззараживания сточных вод дрожжевого производства при различных параметрах использования физико-химических способов.*

*При использовании электродиализа в сточной воде увеличилась рН, концентрация свободного хлора, снизилась цветность и окисляемость. Лучшее всего обеззараживание сточной воды произошло в анодной зоне продолжительностью действия электродиализа 20 мин.*

*После очистки ультразвуком при рабочей частоте 840 кГц, мощности 91 Вт, интенсивности 0,7 Вт/см<sup>2</sup> и времени обработки 12 мин. степень очистки воды по физико-химическим показателям находилась в пределах 55–79 %, а степень обеззараживания была равна 98 %.*

*По физико-химическим показателям при действии магнитного поля интенсивностью магнитной индукции 75 мТл в течении 10 мин. произошло*

снижение показателя ХПК до 72 %. Степень по другим показателям находилась в пределах 30–50 %, а степень разрушения микроорганизмов составляла 87 %.

Результат низкочастотной очистки при частоте 100 кГц, амплитуде напряжения 5 В в течение 17 мин. выявлен в уменьшении уровня органических веществ до 60 %, минеральных веществ – до 73 %, степень обеззараживания составила 76 %.

Результаты очистки сверхвысокочастотным излучением с частотой 60 ГГц, длиной волны 270 мм продолжительностью 24 мин. свидетельствуют о снижении взвешенных веществ, хлоридов и сульфатов в пределах 70–80 %, степень обеззараживания составляла 64 %.

Использование физико-химических способов очистки сточной воды позволяет получить высокий антимикробный эффект и значительное снижение загрязняющих веществ, что способствует улучшению санитарно-эпидемиологических показателей качества сточных вод.

**Ключевые слова:** сточная вода, электродиализ, ультразвук, магнитное поле, сверхвысокочастотное излучение, низкочастотное излучение.

### **Annotation**

**Isaenko V. M., Poshtarenko A. V.**

#### ***Intensification of the process of wastewater treatment by physico-chemical methods***

*One of the promising ways to improve wastewater treatment technologies is the use of physico-chemical methods: electro dialysis, ultrasound, magnetic field, low-frequency and ultrahigh frequency radiation. The purpose of the study is to determine the degree of purification and disinfection of wastewater from yeast production using different physico-chemical methods.*

*When using electro dialysis, the pH of the treated wastewater increased as well as the concentration of free chlorine, whereas the color and oxidizability decreased.*

*Best of all, wastewater disinfection occurred in the anode zone with an electro dialysis duration of 20 minutes.*

*After ultrasonic wastewater treatment at an operating frequency of 840 kHz, power of 91 W and intensity of 0.7 W/cm<sup>2</sup> for 12 minutes the degree of water purification according to physico-chemical indicators is in the range of 55–79%, and the degree of disinfection is 98 %.*

*Changes in physicochemical parameters after treatment of wastewater by magnetic field with a magnetic induction intensity of 75 mT for 10 minutes consisted in 72 % COD reduction. The reduction of other related indicators is in the range of 30–50 %, and the degree of destruction of microorganisms is 87 %.*

*The treatment by low-frequency radiation at a frequency of 100 kHz and voltage amplitude of 5 V for 17 minutes resulted in the decrease of organic substances content to 60 %, minerals to 73 % and the degree of disinfection of 76 %.*

*The treatment by ultrahigh frequency radiation with a frequency of 60 GHz and wavelength of 270 mm for 24 minutes resulted in the decrease of suspended solids content, chlorides and sulfate in the range of 72–80 % as well as the degree of disinfection of 64 %.*

*Thus, the use of physico-chemical methods for wastewater treatment allows to obtain a high antimicrobial effect and a significant reduction in pollutants, which leads to an improvement in sanitary and epidemiological indicators of wastewater quality.*

**Keywords:** *wastewater, electro dialysis, ultrasound, magnetic field, ultrahigh frequency radiation, low-frequency radiation.*