

УДК 602

doi:10.20998/2413-4295.2021.01.13

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ПЕРІОДИЧНОЇ АЕРАЦІЇ СТІЧНИХ ВОД

М. Г. МІЦЬ, А. І. БОЖКОВ, К. С. БІЛОШЕНКО

кафедра молекулярної біології та біотехнології, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
м. Харків, УКРАЇНА  
e-mail: nmits@karazin.ua

**АНОТАЦІЯ** Процес аерації – це ключова ланка технології біологічної очистки стічних вод. Але, як це не парадоксально, за весь час існування цієї технології, вона істотно не змінилася. Процес аерації стічних вод залишається найбільшим споживачем електроенергії всього комплексу очисних споруд. Встановлено можливості регулювання тривалості циклу аерації в залежності від «вибухової» зміни кількості забруднень. В цьому випадку система повинна відреагувати на це «обурення» і скорегувати тривалість циклу аерації, щоб забезпечити необхідний кисневий режим біологічного окислення забруднень. Наведено дані досліджень способу періодичної аерації, заснованого на порівнянні концентрації кисню в рідині, яка очищується, та в газах, які відходять після аерації. Основний принцип полягає в тому, що система аерації продовжує подавати кисень, який вже не в змозі дифундувати в рідину, куди подається, і виходить на поверхню без участі в процесі масообміну. Експериментально встановлений спосіб регулювання тривалості періодів аерації для реалізації в одному аеротенку може бути застосований для цілої групи аеротенків. Використання способу в оптимальному режимі для кожного з визначеної кількості аеротенків неможливо без застосування мікропроцесора. Тому було розроблено спосіб контролю, який дозволяє застосувати принципово новий алгоритм періодичної аерації. Даний алгоритм дозволяє збільшити приріст активного мулу і домогтися підвищення ефективності очистки стічних вод. Для оцінки можливості стабілізації роботи певних аеротенків при реалізації періодичної аерації за концентрацією кисню в рідині був розглянутий модельний приклад, з якого випливає диференціальне рівняння балансу кисню в рідині. Вивчення цього рівняння на стабільність та поведінку у фазовій площині дає змогу вибрати умови, за яких алгоритм періодичної аерації буде найбільш ефективним з точки зору очищення та енергоспоживання. Теоретичний розрахунок дав математичне обґрунтування експериментальним даним. На основі чисельних розрахунків виведено умову оптимальної роботи аераційної системи для групи аеротенків. Таким чином було встановлено, що оптимальна концентрація кисню в рідині, при якій треба починати аерацію, це 0,06-0,12 мг/дм<sup>3</sup>. Періодична аерація з періодом приблизно у 30-40 хв. дає можливість підтримувати стабільний градієнт концентрації кисню в рідині. Робота очисних споруд за розробленим алгоритмом керованої аерації, відповідно до концентрації кисню в рідині, що очищується, підвищує продуктивність процесу та забезпечує раціональне використання електроенергії.

**Ключові слова:** періодична аерація; алгоритм подачі кисню при аерації; окислювальна здатність; коефіцієнт використання кисню (КВК); автоматичне регулювання; мікропроцесор; дрібнопухирцева аерація; кисень; повітря; стічні води; інтенсифікація

## RESEARCH ON IMPROVEMENT OF THE METHOD OF PERIODIC AERATION OF WASTEWATER

N. MITS, K. BELOSHENKO, A. BOZHKO

Department of molecular biology and biotechnology V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

**ABSTRACT** The aeration process is a key part of biological wastewater treatment technology. But, paradoxically, during the existence of this technology, it has not changed significantly. The process of aeration of wastewater remains the largest consumer of electricity in the entire complex of treatment facilities. The possibility of adjusting the duration of the aeration cycle depending on the "explosive" change in the amount of contaminants was stated. In this case, the system must respond to this "perturbation" and adjust the duration of the aeration cycle to provide the necessary oxygen regime of biological oxidation of contaminants. The research data on the method of periodic aeration based on a comparison of the concentration of oxygen in the liquid to be cleaned and in the gases leaving after aeration are presented. The basic principle is that the aeration system continues to supply oxygen, which is no longer able to diffuse into the aerated liquid, and comes to the surface, bypassing the process of mass transfer. The experimentally established method of adjusting the duration of aeration periods for implementation in one aeration tank can be applied to a whole group of aeration tanks. Using the method in the optimal mode for each of the specified number of aeration tanks is impossible without the use of a microprocessor. Therefore, a control method was developed that allows the application of a fundamentally new algorithm for periodic aeration. This algorithm allows to increase the growth of activated sludge and to increase the efficiency of wastewater treatment. To assess the possibility of stabilizing the operation of certain aeration tanks, in the implementation of intermittent aeration by the concentration of oxygen in the liquid, a model example was considered, from which follows the differential equation of oxygen balance in the liquid. The study of this system for stability and behavior in the phase plane makes it possible to choose the conditions under which the periodic aeration algorithm will be the most efficient in terms of purification and energy consumption. Theoretical calculation gave a mathematical justification for the experimental data. Based on numerical calculations, the condition of optimal operation of the aeration system for a group of aeration tanks is derived. Thus, it

*was found that the optimal concentration of oxygen in the liquid at which to start aeration is 0.06-0.12 mg / dm<sup>3</sup>. Periodic aeration with a period of 30 minutes makes it possible to maintain a stable gradient of oxygen concentrations in the liquid. The productivity of treatment plants according to the developed algorithm of controlled aeration, in accordance with the concentration of oxygen in the liquid to be cleaned, ensures the rational use of electricity.*

**Keywords:** *periodic aeration; algorithm for oxygen supply during aeration; oxidizable capacity; oxygen utilization factor (KVN); automatic adjustment; microprocessor; fine-bubble aeration; oxygen; air; sewage; intensification*

## Вступ

В статті наведені дані досліджень способу періодичної аерації заснованого на порівнянні концентрації кисню в рідині, що аерується, і в газах, що виходять на поверхню після аерації. Показано, що такий спосіб контролю дозволяє застосувати принципово новий алгоритм періодичної аерації. Даний алгоритм дозволяє збільшити приріст активного мулу і домогтися підвищення ефективності очищення стічних вод. Теоретичний розрахунок дав математичне обґрунтування експериментальним даним. На основі чисельних розрахунків виведено умову оптимальної роботи аераційної системи для декількох аеротенків.

Спосіб періодичної аерації, який описаний в авторському свідоцтві [1] використовується для аерації міських комунальних стічних вод, які мають відносно стабільний хімічний склад на протязі всього періоду експлуатації. Відносно незмінний склад комунальних стічних вод [2-5] забезпечує стабільний склад, кількість та активність мікроорганізмів активного мулу, що дозволяє встановити тривалість аераційного циклу, яка найкраще відповідає очищенню конкретно цих стічних вод

Промислові стічні води, особливо фенольні води [6-8] коксохімічної промисловості, відрізняються нестабільним складом забруднень, який пов'язаний з технологічною циклічністю виробництва. Тому використання способу періодичної аерації з наперед заданою тривалістю циклів аерації неминуче приведе до розладу окислювальних процесів водомулової суміші та до непродуктивних витрат енергоресурсів.

Щоб усунути цей недолік, ми провели цикл досліджень та експериментів. Важливо було встановити можливість регулювання тривалості циклу аерації в залежності від зміни кисневого режиму біологічного окислення забруднень, які, в свою чергу, визначаються умовами життєдіяльності біоценозу активного мулу.

## Мета роботи

Мета роботи – розробка методики вдосконалення способу періодичної аерації стічних вод із застосуванням керованого режиму подачі повітря до рідини, що очищається. На цей час абсолютна більшість очисних споруд використовує застарілу технологію аерації стічних вод, основний принцип якої – це безперервна подача повітря в рідину, що очищується. На нашу думку, сучасні вимірювальні прилади, розподільча арматура та

комп'ютерне забезпечення дають можливість організувати процес аерації на станціях очисних споруд стічних вод на технологічному рівні, який відповідає нинішньому розвитку науки та технології.

## Виклад основного матеріалу

При проведенні досліджень було встановлено, що концентрація кисню, який розчинений у водномулової суміші, в процесі очистки стічних вод постійно змінюється. Тільки в тому випадку, коли надходження кисню до рідини, що очищується, значно перевищує її потребу [9], яка необхідна для окислювання забруднень, які надходять, тоді концентрація кисню стабілізується на рівні значення концентрації насичення, яка відповідає рівню забруднення суміші на цей час. Очевидно, що така ситуація неможлива при використанні періодичної аерації, що ми дійсно і спостерігали.

Також нами було встановлено, що концентрація кисню в повітрі, що вийшло на поверхню (тобто «відпрацьоване»), періодично змінювалася. В кінці періоду аерації вміст кисню в «відпрацьованому» повітрі був значно більше ніж величина, яка розрахована по коефіцієнту використання кисню (КВК) для цієї аераційної системи. Ці факти можна пояснити наступним: на початку кожного періоду аерації, коли в водномулової суміші вміст кисню мінімальний (оскільки в період відключення аерації розчинений в суміші кисень постійно споживається мікроорганізмами), насичення рідини киснем відбувається з максимальним КВК для даної аераційної системи. Тому і в «відпрацьованому» повітрі вміст кисню в цей період – мінімальний.

В процесі аерації концентрація його в рідині збільшується, ступінь використання кисню відповідно – знижується, а його вміст в «відпрацьованому» повітрі – збільшується.

Коли ми спостерігали на протязі багатьох випробувань таку закономірність, то прийшли до висновку, що можна керувати початком та кінцем періоду аерації в конкретному аеротенку, якщо безперервно контролювати зміни концентрації кисню в рідині та «відпрацьованому» повітрі. Зрозуміло, що практична реалізація такої можливості дозволила б стабілізувати не тільки процес біологічного окислення забруднень, під час періодичної аерації, а ще й оптимізувати його енергоспоживання. Важлива особливість цього способу регулювання тривалості періоду аерації – це використання принципу «зворотнього зв'язку» між процесами споживання кисню, при біологічному окисленні мікроорганізмами

та масообміну кисню з газоподібної фази в рідину. При цьому «зворотній зв'язок» дозволяє максимально використовувати можливості обох процесів.

Дослідження по визначенню можливості регулювання тривалості циклів при періодичній аерації стічних вод проводилися в лабораторному аеротенку ємністю 30 дм<sup>3</sup> з пневматичною аерацією. Аеротенк заповнили рідиною яка містить в собі 250-650 мг/дм<sup>3</sup> фенолів. Очистка фенольної рідини здійснювалася за допомогою активного мулу, який був адаптований до високої концентрації фенолів. Сигнали про початок та закінчення періоду аерації надходили від датчиків які вимірюють концентрацію кисню в рідині (прилад AR8010) та «відпрацьованому» повітрі (прилад AR8010). Виміри концентрації активного мулу пороводились за спектрометричною методикою [11] на спектрофотометрі UV-2600.

### Результати експерименту

В табл. 1 внесені результати експериментів, які проводилися на протязі 10 діб кожний. Для порівняння ми проводили очистку фенольної води трьома способами:

- безперервним (класичним) способом [10];
- періодична аерація з регульованим циклом в залежності від показань датчиків;
- періодична аерація з задалегідь заданою тривалістю циклу (10 хвилин) [2].

Таблиця 1 – Порівняльні результати очистки стічних вод безперервною та періодичною аерацією

N	Показники процесу очистки	Безперервна аерація	Періодична коротко циклова аерація	Регульований цикл
1	Час аерації віднесений до часу очистки %	100	50	40
2	Вміст активного мулу після 10 діб. Приріст об'єму %	12	26	50

Данні з табл. 1 свідчать, що спосіб аерації, який пропонується (з регульованою тривалістю циклу), дозволяє досягти стабільного процесу очистки та більше, ніж в 2 рази скоротити витрати на аерацію (якщо рівняти з безперервною аерацією).

Для визначення кількісного значення вмісту кисню в рідині та «відпрацьованому» газі, при досягненні яких треба надавати сигнали про початок або кінець періоду аерації, були розроблені та проведені наступні дослідження. А саме, ми продовжили роботу з фенольною водою

(лабораторний аеротенк 30 дм<sup>3</sup>, вміст фенолу в рідині 250-650 мг/дм<sup>3</sup>) в режимі періодичної аерації. В цій серії експериментів закінчення періоду аерації було при значенні концентрації кисню в «відпрацьованому» газі 19% (КВК аераційної системи дорівнює 10%).

Аналіз даних, наведених в табл. 2, свідчить про наступне:

- в експериментах 1 і 2, було використано мінімальний час аерації, і ми одержали низький ступінь очистки рідини.

- в експериментах 8, 9, 10 ми досягли високого ступеня очистки, але при цьому було витрачено багато часу на аерацію,

- в експериментах 3, 4, 5, 6, та 7 був досягнутий необхідний рівень очищення рідини, і при цьому час, витрачений на аерацію, був найменший.

Таблиця 2 – Результати досліджень по визначенню оптимального значення концентрації кисню в рідині, що обробляється, яке відповідає початку періоду аерації

N	Вміст кисню в рідині, при якому починали аерацію (мг/дм <sup>3</sup> )	Загальний час аерації (години)	Залишкова концентрація фенолів в рідині яку очистили (мг/дм <sup>3</sup> )
1	0	2,0	60
2	0,02	2,0	38
3	0,04	2,2	1,0
4	0,06	2,2	0,5
5	0,08	2,2	0,6
6	0,10	2,2	0,4
7	0,12	2,5	0,3
8	0,14	2,7	0,5
9	0,20	3,0	0,2
10	1,00	4,0	0,6

### Обговорення результатів

Експериментально встановлений спосіб регулювання тривалості періодів аерації для реалізації в одиничному аеротенку може бути застосований для цілої групи аеротенків. Використання способу в оптимальному режимі для кожного з визначеної кількості аеротенків (за наявності спільного колектора або повітряної магістралі від компресорів) практично неможливо без застосування мікропроцесора. Крім того, флуктуації метаболічної активності мікроорганізмів, коли на них впливають об'єктивні та суб'єктивні фактори (вік, агрегатне становище активного мулу, коливання температури і рН, «вибухові» навантаження забрудненнями та інше), неминуче будуть приводити до невідповідності окислювальних процесів в одиничних аеротенках з періодами включення-виключення аераційних систем в групі аеротенків.

Тому для оцінки можливості стабілізації роботи одиничних аеротенків при реалізації

переривчастої аерації відповідно до концентрації кисню в рідині був розглянутий наступний модельний приклад.

Концентрація кисню в будь-якому аеротенку змінюється відповідно до рівняння:

$$\frac{dC_i}{dt} = D_i(C_{ip} - C_i) - v_m \frac{C_i}{C_i + K_m}, \quad (1)$$

де  $D_i$  – коефіцієнт, що характеризує час масопередачі кисню;  $v_m$  – швидкість, з якою мікроорганізми вживають кисень;  $i$  – номер аеротенка.

Величина  $D_i$  дорівнює 0 в момент вимикання аераційної системи, а в момент включення аерації залежить від загальної кількості аеротенків, що аеруються

$$D_i = \begin{cases} 0 & \text{система вимкнена} \\ \frac{D_0}{n} & \text{система включена} \end{cases} \quad (2)$$

де  $n$  – кількість включених на цей час аеротенків.

Спосіб керування періодичною аерацією визначається таким алгоритмом, яким задається момент включення або виключення аераційної системи в випадково визначеному аеротенку.

Розрахунки, які були виконані в середовищі Matlab по кількісному рішенню [12] рівняння (1) для  $I=6$  виявили, що надзвичайно висока ступінь стабілізації процесу повинна бути досягнута, якщо в якості критерію включення-виключення використовувати наступну вимогу:

$$C_i > \bar{C} = \bar{C} + K\sqrt{\partial^2 C}, \quad (3)$$

де  $\bar{C}$  – середня по аеротенках концентрація кисню

$$\bar{C} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I C_i \quad (4)$$

$\partial^2 C$  – дисперсія відхилення концентрації від середньої

$$\partial^2 C = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I (C_i - \bar{C})^2 \quad (5)$$

Величина  $K$  може мати любий знак або бути рівною нулю і визначає середню долю часу, в який аераційна система включена (по відношенню до певної заданої тривалості часу експлуатації). Можна також говорити і про середню кількість аеротенків, що працюють в даний момент часу. В цьому випадку величина  $K$  визначається в залежності від особливостей рідини, що очищається, видів мікроорганізмів і зовнішніх умов.

Нульове значення  $K$  практично приводить до того, що в кожний момент часу включена рівно половина аераційних систем, позитивне значення  $K$  означає, що включені менше половини систем, а негативне значення  $K$  – що більше половини. Чим більше абсолютне значення  $K$ , тим більша частка включених систем відрізняється від 0.5.

На практиці, крім того, величина  $K$  може задаватися в залежності від необхідної при цьому якості очищення або ж від сумарної кількості забруднень, що надходять в аеротенк.

Поєднання описаного способу стабілізації роботи одиничних аеротенків з розробленим способом управління періодами аерації у відповідності з концентрацією кисню в рідині, що очищується, є теоретичним результатом, який підтверджено в експериментальному розділі статті.

## Висновки

Оптимальна концентрація кисню в рідині при якій треба починати аерацію, це 0,06-0,12 мг/дм<sup>3</sup>.

Періодична аерація з періодом у 30-40 хв. дає можливість підтримувати стабільний градієнт концентрацій кисню в рідині

Продуктивність роботи очисних споруд за розробленим алгоритмом керованої аерації, відповідно з концентрацією кисню в рідині, що очищується, забезпечує раціональне використання електроенергії та підвищує продуктивність очисних споруд.

## Список літератури

1. Патент України на корисну модель №143323, публ. від 27.07.2020, бюл. № 14.
2. Sophonsiri C., Morgenroth E. Chemical composition associated with different particle size fractions in municipal, industrial, and agricultural wastewaters. *Chemosphere*. 2004. 55. 5. P. 691-703. doi: 10.1016/j.chemosphere.2003.11.032.
3. Huang Man-hong, Li Yong-mei, Gu Guo-wei. Chemical composition of organic matters in domestic wastewater. *Desalination*. 2010. 262. 1-3. P. 36-42. doi: 10.1016/j.desal.2010.05.037.
4. Clevenger T. E., et al. Chemical composition and possible mutagenicity of municipal sludges. *Journal (Water Pollution Control Federation)*. 1983. 55. 12. P. 1470-1475.
5. Barber L. B., Brown G. K., Zaugg S. D. Potential endocrine disrupting organic chemicals in treated municipal wastewater and river water. *ACS Symposium Series*. 2000. 747. P. 97-123. doi: 10.1021/bk-2000-0747.ch007.

6. Alshabib M., Onaizi S. A. A review on phenolic wastewater remediation using homogeneous and heterogeneous enzymatic processes: Current status and potential challenges. *Separation and Purification Technology*. 2019. 219. P. 186-207. doi: 10.1016/j.seppur.2019.03.028.
7. Dec J., Bollag J.-M. Use of plant material for the decontamination of water polluted with phenols. *Biotechnology and Bioengineering*. 1994. 44. 9. P. 1132-1139. doi: 10.1002/bit.260440915.
8. Annachhatre A. P., Gheewala S. H. Biodegradation of chlorinated phenolic compounds. *Biotechnology Advances*. 1996. 14. 1. P. 35-56. doi: 10.1016/0734-9750(96)00002-X.
9. Sander R. Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent. *Atmos. Chem. Phys.* 2015. Vol. 15. № 8. P. 4399-4981. doi: 10.5194/acp-15-4399-2015.
10. Rosso D., Larson L. E., Stenstrom M. K. Aeration of large-scale municipal wastewater treatment plants: state of the art. *Water Science and Technology*. 2008. 57. 7. P. 973-8. doi: 10.2166/wst.2008.218.
11. Рошаль А. Д. *Фотоника. Электронная абсорбционная спектроскопия*. Х: ХНУ им. В. Н. Каразіна, 2019. 240 с.
12. Gilsing H., Shardlow T. SDELab: A package for solving stochastic differential equations in MATLAB. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2007. 205. 2. P. 1002-1018. doi: 10.1016/j.cam.2006.05.037.
3. Huang Man-hong, Li Yong-mei, Gu Guo-wei. Chemical composition of organic matters in domestic wastewater. *Desalination*, 2010, 262, 1-3, pp. 36-42, doi: 10.1016/j.desal.2010.05.037.
4. Clevenger T. E., et al. Chemical composition and possible mutagenicity of municipal sludges. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 1983, 55, 12, pp. 1470-1475.
5. Barber L. B., Brown G. K., Zaugg S. D. Potential endocrine disrupting organic chemicals in treated municipal wastewater and river water. *ACS Symposium Series*, 2000, 747, pp. 97-123, doi: 10.1021/bk-2000-0747.ch007.
6. Alshabib M., Onaizi S. A. A review on phenolic wastewater remediation using homogeneous and heterogeneous enzymatic processes: Current status and potential challenges. *Separation and Purification Technology*, 2019, 219, pp. 186-207, doi: 10.1016/j.seppur.2019.03.028.
7. Dec J., Bollag J.-M. Use of plant material for the decontamination of water polluted with phenols. *Biotechnology and Bioengineering*, 1994, 44, 9, pp. 1132-1139, doi: 10.1002/bit.260440915.
8. Annachhatre A. P., Gheewala S. H. Biodegradation of chlorinated phenolic compounds. *Biotechnology Advances*, 1996, 14, 1, pp. 35-56, doi: 10.1016/0734-9750(96)00002-X.
9. Sander R. Compilation of Henry's law constants (version 4.0) for water as solvent. *Atmos. Chem. Phys.*, 2015, 15, 8, pp. 4399-4981, doi: 10.5194/acp-15-4399-2015.
10. Rosso D., Larson L. E., Stenstrom M. K. Aeration of large-scale municipal wastewater treatment plants: state of the art. *Water Science and Technology*, 2008, 57, 7, pp. 973-8, doi: 10.2166/wst.2008.218.
11. Roshal' A. D. *Фотоника. Электронная абсорбционная спектроскопия*. Kh. KhNU im. V. N. Karazina, 2019. 240 p.
12. Gilsing H., Shardlow T. SDELab: A package for solving stochastic differential equations in MATLAB. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2007, 205, 2, pp. 1002-1018. doi: 10.1016/j.cam.2006.05.037.

#### References (transliterated)

1. Patent Ukraini na korisnu model' #143323, publ. vi'd 27.07.2020, byul. #14.
2. Sophonsiri C., Morgenroth E. Chemical composition associated with different particle size fractions in municipal, industrial, and agricultural wastewaters. *Chemosphere*, 2004, 55, 5, pp. 691-703, doi: 10.1016/j.chemosphere.2003.11.032.
3. Roshal' A. D. *Фотоника. Электронная абсорбционная спектроскопия*. Kh. KhNU im. V. N. Karazina, 2019. 240 p.
4. Gilsing H., Shardlow T. SDELab: A package for solving stochastic differential equations in MATLAB. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2007, 205, 2, pp. 1002-1018. doi: 10.1016/j.cam.2006.05.037.

#### Відомості про авторів

**Миць Микола Георгійович** – науковий співробітник, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна, e-mail: nmits@karazin.ua.

**Mykola Mits** - Scientist, Kharkiv National University of V.N. Karazina, Kharkiv, Ukraine; e-mail: nmits@karazin.ua.

**Білошенко Костянтин Сергійович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри молекулярної біології та біотехнології, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-9387-3147; e-mail: kbeloshenko@karazin.ua.

**Kostyantyn Beloshenko** - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor of the Department of Molecular Biology and Biotechnology, Kharkiv National University of Name V.N. Karazina, M. Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-9387-3147; e-mail: kbeloshenko@karazin.ua.

**Божков Анатолій Іванович** – доктор біологічних наук, професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-8418-5716; e-mail: bozhkov@univer.kharkov.ua.

**Anatoly Bozhkov** - Doctor of Biological Sciences, Professor, Kharkiv National University of V.N. Karazina, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-8418-5716; e-mail: bozhkov@univer.kharkov.ua.

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

Миць М. Г., Білошенко К. С., Божков А. І. Дослідження щодо вдосконалення способу періодичної аерації стічних вод. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 1 (7). С. 90-95. doi:10.20998/2413-4295.2021.01.13.

*Please cite this article as:*

Mits N., Beloshenko K., Bozhkov A. Research on improvement of the method of periodic aeration of wastewater. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 1 (7), pp. 90-95, doi:10.20998/2413-4295.2021.01.13.

*Пожалуйста, ссылаетесь на эту статью следующим образом:*

Миц Н. Г., Билошенко К. С., Божков А. И. Исследования по совершенствованию способа периодической аэрации сточных вод. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 1 (7). С. 90-95. doi:10.20998/2413-4295.2021.01.13.

**АННОТАЦИЯ** Процесс аэрации – это ключевое звено технологии биологической очистки сточных вод. Но, как это ни парадоксально, за все время существования этой технологии, она существенно не изменилась. Процесс аэрации сточных вод остается крупнейшим потребителем электроэнергии всего комплекса очистных сооружений. Установлена возможность регулирования продолжительности цикла аэрации в зависимости от «взрывного» изменения количества загрязнений. В этом случае система должна отреагировать на это «возмущение» и скорректировать продолжительность цикла аэрации, чтобы обеспечить необходимый кислородный режим биологического окисления загрязнений. Приведены данные исследований способа периодической аэрации основанного на сравнении концентрации кислорода в жидкости, которая очищается, и в отходящих газах после аэрации. Основной принцип заключается в том, что система аэрации продолжает подавать кислород, который уже не в состоянии диффундировать в жидкость, которая аэрируется, и выходит на поверхность, минуя процесс массообмена. Экспериментально установленный способ регулирования продолжительности периодов аэрации для реализации в одном аэротенке может быть применен для целой группы аэротенков. Использование способа в оптимальном режиме для каждого из группы аэротенков невозможно без применения микропроцессора. Поэтому был разработан способ контроля, который позволяет применить принципиально новый алгоритм периодической аэрации. Данный алгоритм позволяет увеличить прирост активного ила и добиться повышения эффективности очистки сточных вод. Для оценки возможности стабилизации работы единичных аэротенков при реализации прерывистой аэрации по концентрации кислорода в жидкости был рассмотрен модельный пример, из которого следует дифференциальное уравнение баланса кислорода в жидкости. Изучение этого уравнения на стабильность и поведение в фазовой плоскости позволяет выбрать условия, при которых алгоритм периодической аэрации будет наиболее эффективным с точки зрения очистки и энергопотребления. Теоретический расчет дал математическое обоснование экспериментальным данным. На основе численных расчетов выведено условие оптимальной работы аэрационной системы для группы аэротенков. Таким образом было установлено, что оптимальная концентрация кислорода в жидкости, при которой надо начинать аэрацию, это 0,06–0,12 мг/дм<sup>3</sup>. Периодическая аэрация с периодом в 30 мин. дает возможность поддерживать стабильный градиент концентраций кислорода в жидкости. Производительность работы очистных сооружений по разработанному алгоритму управляемой аэрации в соответствии с концентрацией кислорода в жидкости, которая очищается, обеспечивает рациональное использование электроэнергии и повышает производительность процесса.

**Ключевые слова:** периодическая аэрация; алгоритм подачи кислорода при аэрации; окислительная способность; коэффициент использования кислорода (КИК), автоматическое регулирование; микропроцессор; мелкопузырчатая аэрация; кислород воздуха; сточные воды; интенсификация

Надійшла (received) 10.11.2020